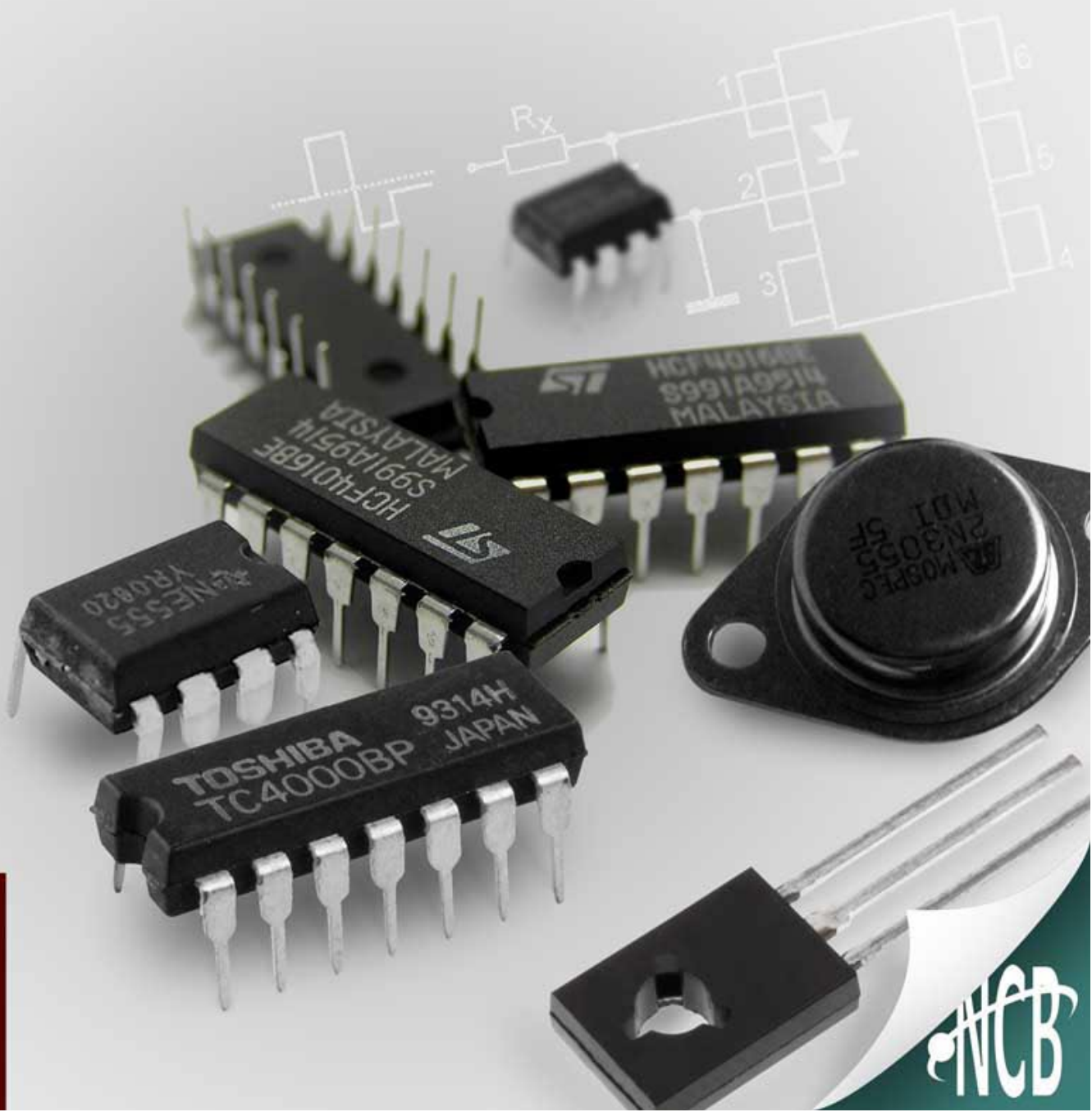


CURSO DE ELETRÔNICA

ELETRÔNICA ANALÓGICA

Newton C. Braga



VOLUME

2

NCB

**CURSO DE ELETRÔNICA
ELETRÔNICA ANALÓGICA**

NEWTON C. BRAGA



Instituto NCB

www.newtoncbraga.com.br

contato@newtoncbraga.com.br

CURSO DE ELETRÔNICA -

Eletrônica Analógica

Autor: Newton C. Braga

São Paulo - Brasil - 2012

Palavras-chave: Eletrônica - Engenharia Eletrônica
- Componentes - Educação Tecnológica

Diretor responsável: Newton C. Braga

Diagramação e Coordenação: Renato Paiotti

MAIS INFORMAÇÕES

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA

<http://www.newtoncbraga.com.br>

NOTA IMPORTANTE

Esta série de livros fornece conhecimentos básicos de eletrônica para cursos regulares, cursos a distância e para autodidatas consistindo, portanto numa literatura cuja finalidade é apoio, iniciação ou complementação de conhecimentos. Sua aquisição não implica no direito a obtenção de certificados ou diplomas os quais devem ser emitidos pelas instituições que adotam o livro ou ainda ministram cursos de outras formas. Da mesma forma o autor ou a editora não se responsabilizam por eventuais problemas que possam ser causados pelo uso indevido das informações nele contidas como o não funcionamento de projetos, ferimentos ou danos causados a terceiros de forma acidental ou proposital, ou ainda prejuízos de ordem moral ou financeira. Os eventuais experimentos citados quando realizados por menores devem ter sempre a supervisão de um adulto. Todo cuidado foi tomado para que o material utilizado seja encontrado com facilidade na época da edição do livro, mas as mudanças tecnológicas são muito rápidas o que nos leva a não nos responsabilizarmos pela eventual dificuldade em se obter componentes para os experimentos quando indicados em outros livros desta série.

Copyright by
INSTITUTO NEWTON C. BRAGA
1ª edição

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfilmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos, atualmente existentes ou que venham a ser inventados. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial em qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético atualmente em uso ou que venha a ser desenvolvido ou implantado no futuro. Estas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, cf. Lei nº 6.895, de 17/12/80) com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenização diversas (artigos 122, 123, 124, 126 da Lei nº 5.988, de 14/12/73, Lei dos Direitos Autorais).

ÍNDICE

1 - Semicondutores, Diodos 11

1.1 – Estrutura e propriedades de materiais semicondutores.....	11
1.2 – Junções PN	15
1.3 – O diodo semiconductor	17
1.4 – Tipos de diodos	21
1.4.1 - Diodos de Germânio	21
1.4.2 - Código Pro-electron	22
1.4.3 - Diodos de Silício de Uso Geral	23
1.4.4 - Diodos Retificadores de Silício	23
1.5 – O diodo zener	24
1.5.1 - Nomenclatura dos diodos zener	26
1.6 – O LED (Diodo Emissor de Luz)	27
1.6.1 – TV de LEDs	29
1.6.2 – Usando LEDs	30
1.7 – Os foto-diodos	31
1.7.1 - Uso dos Foto-Diodos	33
1.8 – Outros tipos de diodo: Schottky, tunel, varicap, etc.	33

2 - Fontes de Alimentação,

Circuitos com Diodo 41

2.1 -A Fonte de alimentação	41
2.2 – O transformador e sua função	43
2.3 – Retificação	46
2.4 – Filtragem	50
2.4.1-Fator de Ripple	53
2.5 – Regulagem	54
2.5.1 – Calculando um Circuito de Regulagem com Diodo Zener	55
2.5.2 – Outros Componentes Reguladores	58
2.5.3 – Fontes sem transformador	58
2.6 - Circuitos com diodos	63
2.7 – Multiplicadores de tensão	67
2.7.1 – Dobradores de tensão	67
2.7.2 – Triplicadores de tensão	67
2.7.3 – Quadruplicadores de tensão	68
2.7.4 – Multiplicador de tensão por n	68

3 - Transistores Bipolares73

3.1- A estrutura do transistor	74
3.2 – Polarização	75
3.3 – Configurações	81
3.4 - O transistor na prática.....	84
3.4.1 – Transistores de Uso Geral	85
3.4.2 – Transistores de Potência	86
3.4.3 –Transistores de RF	87
3.4.4 - Aplicações de Alta Velocidade	89
3.5 - Tipos e identificação de terminais.	90
3.6 – Especificações	91

4 - Circuitos com transistores 95

4.1 - O Transistor como chave	96
4.1.2 - Chaves Eletrônicas na Prática	97
4.1.3 - No Computador e circuitos lógicos	100
4.2 – Polarização do transistor como amplificador	101
4.2.1 – Famílias de curvas	102
4.2.2 – Os circuitos de polarização	103
4.3 – Ganhos Alfa e Beta	106
4.4 - Reguladores de Tensão	107
4.5 - Acoplamentos	110
4.5.1 - Acoplamento direto	111
4.5.2 - Acoplamento Darlington	112
4.5.3 - Acoplamento RC	113
4.5.4 - Acoplamento LC	114
4.5.5 - Acoplamento a transformador	115
4.6 – Desacoplamentos	117

5 - Transistor Unijunção e de Efeito de Campo 123

5.1 - A Estrutura do Transistor Unijunção	124
5.1.1 – O Transistor Programável Unijunção ou PUT.....	127
5.2 – Outras Aplicações Para os Transistores Unijunção	128
5.3 – Os Transistores de Efeito de Campo de Junção (JFET)	129

5.4 – Transistores de efeito de campo MOS	134	7 - Osciladores	181
5.5 – Cuidados com a ESD	138	7.1 - O QUE SÃO OSCILADORES	182
5.5.1 - Prevenção	140	7.2 – Oscilador Hartley	185
5.5 – Polarização e circuitos com transistores de efeito de campo MOS	142	7.2.1 – Fórmula Para a Frequência do Oscilador Hartley	186
5.7 – Os Transistores de potência, Power MOS ou Power-MOSFETS.....	145	7.3 - OSCILADOR COLPITTS	187
5.7.1 - Na Prática	148	7.3.1 - Oscilador de Colpitts	188
6 - SCRS, TRIACs	153	7.4 - OSCILADOR DE BLOQUEIO	189
6.1 – Estrutura e funcionamento do SCR	154	7.5 - OSCILADOR DE DUPLO T	190
6.2 – Especificações dos SCRs	158	7.6 – Oscilador por Deslocamento de Fase	193
6.2.1 - Tensão máxima entre o anodo e o catodo (VD e VR)	158	7.7 - MULTIVIBRADOR ASTÁVEL	196
6.2.2 - Corrente máxima no sentido direto (ID)	159	7.7.1 – Ciclo Ativo	198
6.2.3 - Potência de dissipação	159	7.7.2 – Cálculo da Frequência do Multivibrador Astável	199
6.2.4 - Corrente de disparo (IGT)	160	7.8 - Harmônicas	201
6.2.5 - Velocidade de operação (dV/dt).....	160	7.9 - OSCILADOR DE RELAXAÇÃO	203
6.2.6 – Os LASCR	161	7.9.1- Oscilador de Relaxação com Lâmpada Neon	204
6.3 - CIRCUITOS PRÁTICOS	162	7.10 - OUTROS OSCILADORES	206
6.3.1 - Circuitos de corrente contínua	162	7.11 – Controle de frequência	207
6.3.2 - Circuitos de corrente alternada	165	7.12 – Base comum	208
6.3.3 - Problemas de interferências (RFI)	167	8 - Amplificadores	213
6.4 – Estrutura do TRIAC	168	8.1 - OS AMPLIFICADORES DE ÁUDIO	214
6.5 – Especificações do TRIAC	169	8.1.1 - Impedância de entrada	214
6.5.1 - Tensão máxima de trabalho (VDRM)	170	8.1.2 - Sensibilidade	215
6.5.2 - Corrente máxima IT(RMS)	170	8.1.3 - Impedância de saída	215
6.5.3 - Corrente de disparo IGT	170	8.1.4 - Potência ou amplitude de sinal	215
6.6 - Circuitos práticos	170	8.1.5 – Amplificadores Analógicos e Digitais ...	219
6.7 – Outros componentes da família dos tiristores	173	8.1.6 – Pré-amplificadores de áudio	220
6.7.1 - SUS	173	8.1.7 – Como Eliminar Roncos de 60 Hz	221
6.7.2 - SBS	174	8.1.8 – Drivers ou Impulsores	227
6.7.3 - Diac	175	8.1.9 – Amplificadores de potência	227
6.7.4-Quadrac	177	8.2 - CLASSES DE AMPLIFICADORES	228
6.7.5 – SIDAC	177	8.3 - AMPLIFICADORES EM CONTRAFASE	230
6.7.6 - Outros	178	8.4 – AMPLIFICADORES EM SIMETRIA COMPLEMENTAR	232
		8.5 - AMPLIFICADORES DE RF	236
		8.6 - AMPLIFICADORES SINTONIZADOS	239
		8.7 – AMPLIFICADORES EM CONTRAFASE	241
		8.8 – AMPLIFICADORES INTEGRADOS	243

ÍNDICE

9 - Outros componentes importantes 247

- 9.1 - Os Varistores 247
 - 9.1.1 - A “Sujeira” Da Rede de Energia 250
 - 9.1.2 - Como a sujeira afeta os equipamentos eletrônicos 254
 - 9.1.3 - As Proteções que já existem 255
- 9.2 - Transdutores de Efeito Hall 257
- 9.3 - VÁLVULA GEIGER-MULLER 259
- 9.4 - PILHAS SOLARES 262
- 9.5 - MOSTRADORES DE CRISTAL LÍQUIDO 265
- 9.6 - Outros dispositivos 269
 - 9.6.1 - Cristais 269
 - 9.6.2 - Lâmpadas de xenônio 270
 - 9.6.3 - ACOPLADORES ÓPTICOS 271
 - 9.6.4 - Chaves ópticas 273
 - 9.6.5 - O Tubo de raios catódicos 274
 - 9.6.6 - Diodos Laser 278
 - 9.6.7 - Motores de Passo 280

10 - Os circuitos integrados 285

- 10.1 - Integrando componentes 285
- 10.2 - O Circuito integrado 292
- 10.3 - Tipos de Circuitos Integrados 294
 - 10.3.1- O Invólucro DIL 297
 - 10.3.2 - Outros invólucros 298
- 10.6 - Tecnologia SMD 300
 - 10.6.1 - Códigos Para Resistores SMD 301
- 10.7 - Como usar os integrados 308
- 10.8 - Como testar circuitos integrados 309
- 10.9 - Circuitos integrados na prática 309

11 - Amplificadores operacionais, 555 313

- 11.1 - O Amplificador Operacional 313
 - 11.1.1- Invólucros 318
 - 11.1.2 - Na Prática 319
 - 11.1.3 - O que significa Rail-to-Rail (RRO) 320
- 11.2 - CMRR - Rejeição em Modo Comum 322
- 11.3 - Fontes para amplificadores operacionais 323
- 11.4 - Aplicações Práticas 326
- 11.5 - Osciladores e filtros 333
 - 11.5.1 - Cálculos para o oscilador com Amplificador Operacional 335
- 11.6 - O Circuito Integrado 555 341
 - 11.6.1 - Monoestável 342
 - 11.6.2 - Astável 344
 - 11.6.3 - Instruções de uso do 555 344

12 - Reguladores de tensão, Amplificadores

integrados 349

- 12.1 - Reguladores fixos 349
 - 12.1.1- Reguladores de tensão 78xx 350
- 12.2 - Reguladores ajustáveis 353
 - 12.2.1 - O LM350 354
 - 12.2.2 - Low Dropout ou LDO 356
- 12.4 - Amplificadores de áudio integrados 360
 - 12.4.1 - Amplificador LM386 361
 - 12.4.2 - Amplificador de Prova com o TDA7052 362
 - 12.4.3 - TDA2002 de 8 Wrms 364
 - 12.4.4 - LM4765 366
- 12.5 - Amplificadores em ponte (BTL) 369

Anexos

RESPOSTAS 375

LINKS UTEIS 375

APRESENTAÇÃO

Em 1972, já com experiência no ensino de eletrônica em cursos presenciais, fui contratado por uma grande organização de ensino por correspondência para renovar seu curso prático de eletrônica. Completado esse trabalho, fui trabalhar na Editora Saber em 1976 onde passei a publicar nas páginas da Revista Saber Eletrônica o primeiro Curso de Eletrônica em Instrução Programada, uma novidade que atraiu a atenção de milhares de leitores que tiveram sua formação inicial totalmente apoiada nos ensinamentos que então disponibilizamos.

O sucesso desse curso fez com que em diversas ocasiões posteriores o curso fosse repetido e atualizado nas páginas da mesma revista e na revista Eletrônica Total. Neste intervalo publicamos a primeira edição completa desse curso que recebeu o nome de Curso Básico de Eletrônica e chegando até sua quinta edição, posteriormente sendo em 2009 transformado numa apostila.

No entanto, desde a primeira edição e o primeiro curso na revista, muita coisa mudou, e se bem que diversas atualizações fossem feitas, chegou o momento de se fazer algo novo, adaptado aos novos tempos da eletrônica, num formato mais atual e com conteúdo que seja mais útil a todos que desejarem aprender o básico da eletrônica. Desta forma o conteúdo do curso anterior foi separado em dois, Curso Básico de Eletrônica (já publicado – Vol 1 da série) e Curso de Eletrônica Analógica (que é este volume – Vol 2), os quais devem ser completados com a versão já existente do Curso de Eletrônica Digital. O Curso de Eletrônica Digital que deve ser remodelado, com a divisão em dois volumes, terá nova abordagem e, num quinto volume, teremos a parte prática.

Assim, nesta primeira edição do Curso de Eletrônica Analógica, abordamos todo o conhecimento daquelas edições e mais informações atuais sobre novas tecnologias, novos componentes e novas aplicações. Podemos dizer que este livro, como os demais, podem ser considerados a plataforma de iniciação ideal para muitos cursos, dos técnicos às disciplinas eletivas, da reciclagem de conhecimentos até aqueles que desejam ter na eletrônica uma segunda atividade ou precisam deles para o seu trabalho em área relacionada.

Newton C. Braga

Desde 1976, quando criamos a primeira versão de um Curso de Eletrônica básico que pudesse servir de iniciação aos que desejassem ter conhecimentos da eletrônica, essa ciência passou por grandes transformações. Do fim da válvula ao transistor, quando começamos, e os primeiros circuitos integrados, a eletrônica evoluiu para a tecnologia dos CIs de alto grau de integração, os FPGAs, os DSPs, microcontroladores e as montagens em superfície. Assim, nosso livro Curso de Eletrônica, com o primeiro volume tratando da Eletrônica Básica, e este segundo sobre Eletrônica Analógica, pode ser considerado um curso atualizado com finalidades um pouco diferentes das que visava na época de sua criação original. A eletrônica em nossos dias não é propriamente um fim, onde uma vez domada ela por si só, já permite que as pessoas encontrem uma atividade direta que lhes dê renda ou possam almejar um emprego. A eletrônica hoje é um meio de se alcançar qualificações em outras áreas, como as telecomunicações, informática, automação, segurança, eletrônica embarcada e muito mais. Assim, nosso curso visando justamente às necessidades de conhecimento que a preparação para essas áreas pedem, tem uma abordagem direta e rápida de conceitos que, em princípio, não exigem conhecimento prévio dos que desejam aprender.

Capítulo 1- Nele estudaremos a estrutura dos materiais semicondutores, como seus átomos se ligam e como estes materiais podem ser dopados de modo a ter suas características alteradas para a obtenção dos componentes modernos. Veremos também como funcionamos diodos semicondutores e seus principais tipos.

Capítulo 2 – Neste capítulo tomaremos contato com os circuitos práticos com diodos, incluindo as fontes de alimentação. Veremos como funcionam os diversos tipos de fontes, como a retificação, filtragem e a regulação da tensão são obtidas numa fonte.

Capítulo 3 - O terceiro capítulo tratará do mais importante de todos os componentes semicondutores que é o transistor bipolar. Analisaremos sua estrutura, sua polarização e os circuitos básicos. Também estudaremos as diferentes famílias de transistores com que podemos contar para projetos e aplicações. e outros.

Capítulo 4 – Neste capítulo encontraremos os transistores em circuitos práticos. Veremos como os transistores podem ser usados como chaves e de que modo podem ser utilizados para amplificar sinais. Também trataremos dos acoplamentos e desacoplamentos dos circuitos transistorizados.

Capítulo 5 – Este capítulo tratará de dois outros componentes da família dos transistores, os transistores unijunção e os transistores de efeito de campo. Analisaremos suas configurações e suas aplicações práticas.

Capítulo 6 – Outros componentes importantes obtidos com a utilização de materiais semicondutores formando junções são os SCRs e os Triacs. Estes componentes, da família dos tiristores, serão estudados neste capítulo. Teremos seus principais circuitos de aplicação e seus tipos.

Capítulo 7 – Um tipo muito importante de circuito encontrado em grande quantidade de projetos é o que gera sinais. Este capítulo tratará justamente destes circuitos, que são os circuitos osciladores. Analisaremos os tipos e como são utilizados.

Capítulo 8 – Uma aplicação muito importante dos semicondutores se deve a sua capacidade de amplificar sinais. Assim, neste capítulo veremos como os transistores são usados na amplificação de sinais. Amplificadores de áudio e RF serão estudados neste capítulo.

Capítulo 9 – Além dos componentes estudados nos capítulos anteriores, existem muitos outros. Alguns deles serão estudados nesta lição, como os varistores, a válvula Geiger, as células solares e os mostradores de cristal líquido. Também trataremos das lâmpadas de xenônio, acopladores e chaves ópticas além da lâmpada de xenônio.

Capítulo 10 – Este capítulo cuidará dos circuitos integrados. A possibilidade de montarmos numa única pastilha de materiais semicondutores leva a uma infinidade de aplicações eletrônica. Esta lição mostrará como isso é feito e também dos componentes SMD.

Capítulo 11 – Este capítulo cuidará de circuitos integrados muito importantes em nossos dias. Trataremos da família dos amplificadores operacionais e também de um dos mais populares dos circuitos integrados, o timer 555, fornecendo dados para sua utilização.

Capítulo 12 - No último capítulo do nosso livro trataremos dos circuitos integrados utilizados como reguladores de tensão e também dos amplificadores de áudio lineares ou analógicos encontrados na forma de circuitos integrados.

Enfim, o conteúdo estudado pode ser considerado como o segundo degrau de uma escada que levará os interessados a um mundo de conhecimento técnico capaz de significar sua realização profissional e muito mais que isso, a satisfação pessoal de dominar as mais importantes tecnologias de nosso tempo.

Newton C. Braga



» Semicondutores

» Diodos

Toda eletrônica moderna se baseia nos materiais semicondutores. São suas propriedades que permitem a fabricação dos principais componentes modernos, dos mais simples como diodos e transistores, até os mais complexos como os circuitos integrados comuns, microprocessadores, microcontroladores, DSPs, FPGAs e muito mais. Neste capítulo vamos estudar estes materiais, suas propriedades elétricas e como eles podem ser usados em eletrônica. O capítulo consta dos seguintes itens:

- 1.1 – Estrutura e propriedades de materiais semicondutores
- 1.2 – Junções PN
- 1.3 – O diodo semicondutor
- 1.4 – Tipos de diodos
- 1.5 – O diodo zener
- 1.6 – O LED (Diodo Emissor de Luz)
- 1.7 – Os foto-diodos
- 1.8 – Outros tipos de diodo: Schottky, tunnel, varicap, etc.

1.1 – Estrutura e propriedades de materiais semicondutores

Conforme afirmamos na apresentação deste capítulo, muitos componentes modernos como transistores, circuitos integrados e outros, em que se baseia a eletrônica moderna, são fabricados a partir de certos materiais que apresentam propriedades elétricas especiais. Estes materiais são denominados semicondutores.

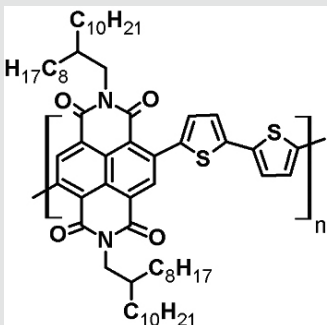
Estudamos nos capítulos do Curso Básico (volume anterior da série) que existem dois tipos de comportamentos dos materiais em relação à capacidade de conduzir a corrente elétrica. Existem os materiais através da qual a corrente pode fluir com facilidade, sendo denominados condutores, e os materiais em que a corrente não pode passar, denominados isolantes.

Supercondutores

No curso básico falamos de um tipo especial de condutor que, em temperaturas muito baixas, perde totalmente a resistência. Estes materiais, que nas temperaturas comuns apresentam uma certa resistência, passam a ter uma resistência nula, tornando-se assim supercondutores.

Semicondutores orgânicos

Já é possível, através de tecnologias especiais, criar moléculas orgânicas (a base de carbono) que apresentam propriedades elétricas semicondutoras. Os primeiros componentes eletrônicos baseados nesta tecnologia começam a aparecer em algumas aplicações como, por exemplo, em sensores. Na figura A, uma molécula orgânica que se comporta como um semicondutor N



Molécula orgânica desenvolvida na Universidade de Stanford e que se comporta como um semicondutor N.

Dentre os condutores, destacamos os metais, os gases ionizados, as soluções iônicas, etc. Dentre os isolantes, destacamos o vidro, a borracha, a mica, plásticos, etc.

Há, entretanto, uma terceira categoria de materiais, um grupo intermediário de materiais que não são bons condutores, pois a corrente tem dificuldade em passar através deles, mas não são totalmente isolantes. Nestes materiais, os portadores de carga podem se mover, mas com certa dificuldade. Estes materiais são denominados “semicondutores”.

Dentre os materiais semicondutores mais importantes, que apresentam essas propriedades, destacamos os elementos químicos silício (Si), germânio (Ge) e o Selênio (Se). Numa escala de capacidades de conduzir a corrente, eles ficariam em posições intermediárias, conforme mostra a figura 1.

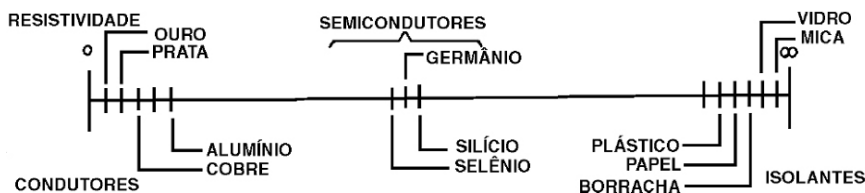


Figura 1 – A escala de condutividade dos materiais

Durante certo tempo, muitos componentes eletrônicos eram feitos exclusivamente à base de germânio, caso dos primeiros transistores, mas depois o silício praticamente tomou conta da tecnologia eletrônica e hoje alguns outros materiais começam a aparecer em aplicações importantes como o Gálio (Ga), índio (In), e diversas ligas que incluem a utilização destes materiais em conjunto.

Para entendermos o comportamento desses materiais, será interessante analisarmos o modo como os átomos estão dispostos nesses materiais. No germânio e no silício, os átomos possuem 4 elétrons em sua última camada de modo que, quando eles formam uma estrutura, esses átomos se dispõem da maneira que pode ser vista na figura 2.

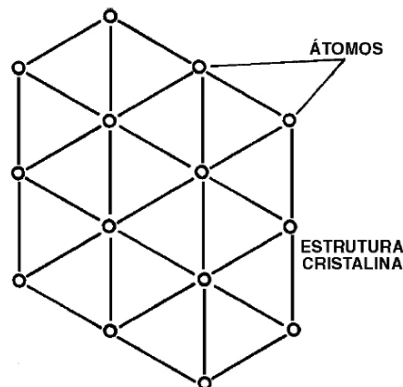


Figura 2 – A estrutura cristalina do silício e do germânio

Trata-se de uma estrutura cristalina em que a disposição se mantém em toda a extensão do corpo, dotando-os de propriedades especiais.

Para os que já estudaram química de uma forma um pouco mais avançada, esta estrutura mostra que o equilíbrio é alcançado. De fato, a tendência dos átomos numa estrutura é a união de tal forma que na última camada tenhamos sempre 8 elétrons.

Assim, na forma de um cristal, como o que vimos, tanto o Germânio como o Silício podem compartilhar os elétrons das últimas camadas dos átomos vizinhos, de tal forma que sempre teremos 8 elétrons em torno de cada núcleo, conforme o leitor poderá ver na figura 3.

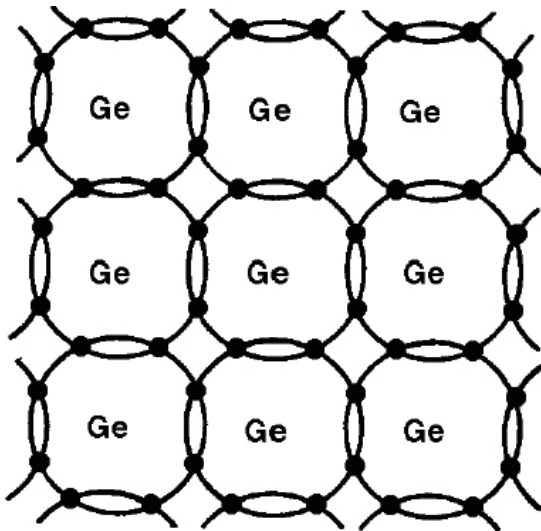


Figura 3 – Os átomos compartilham elétrons de modo que cada um fique com sua camada externa completa;

Esse compartilhamento faz com que a estrutura obtida seja muito estável, e os elétrons tão firmemente presos nos pontos em que devem permanecer que sua mobilidade é reduzida através do material.

Como os elétrons são os portadores de carga, a dificuldade que encontram em se movimentar por entre os átomos dessa estrutura, dificulta a passagem de qualquer corrente elétrica. Isso faz com que a resistividade de materiais semicondutores puros, como o silício ou o germânio, seja muito alta.

Na sua forma pura nenhum material semicondutor, como o Silício e o Germânio, encontra aplicações práticas na eletrônica, mas a situação muda se adicionarmos certas “impurezas” a esses materiais.

Essas impurezas consistem em substâncias cujos átomos tenham em sua última camada um número de elétrons diferente de 4. E, para que o efeito desejado seja obtido, a adição dessas impurezas se faz numa quantidade extremamente pequena, da ordem de poucas partes por milhão ou p.p.m..

Temos então duas possibilidades de adição de impurezas aos materiais semicondutores:

- Elementos cujos átomos possuam 5 elétrons na última camada (camada de valência). Estes elementos são denominados pentavalentes.
- Elementos cujos átomos possuam 3 elétrons na última camada (camada de valência). Estes elementos são denominados trivalentes.

O primeiro caso pode ser visto na figura 4. Trata-se do elemento arsênio (As) que possui 5 elétrons na sua última camada. Vamos supor que formamos uma estrutura em que cada átomo de arsênio fique cercado por átomos de germânio (ou silício).

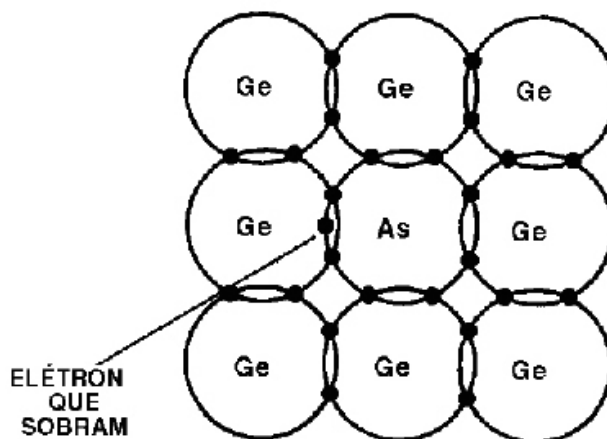


Figura 4 – Obtendo um material tipo N

Como os átomos vizinhos só podem compartilhar 8 elétrons, na forma mostrada na figura, sobra um elétron no local em que existe um átomo com 5 elétrons. Este elétron que sobra tem mobilidade, podendo se deslocar através do material. O elétron pode saltar de átomo para átomo, movimentando-se através da estrutura.

Esta mobilidade permite que ele seja usado como um “portador” de cargas, ou seja, num agente que possibilita a circulação de correntes.

Assim, nos materiais dopados com estes átomos, a resistividade é menor e eles apresentam maior capacidade de conduzir a corrente. Como os portadores de carga são elétrons (negativos), dizemos que se trata de um material semiconductor do tipo N (negativo).

Na segunda possibilidade, acrescentamos uma impureza que tenha átomos dotados de 3 elétrons na última camada como, por exemplo, o índio (In), obtendo-se então uma estrutura conforme o leitor poderá constatar pela figura 5.

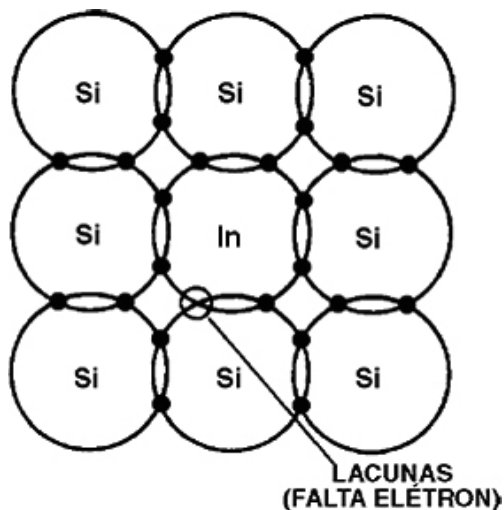


Figura 5 – Estrutura de um material P, dopado com índio (In)

Obs.: desenhamos as estruturas desta figura e a anterior em um plano para maior facilidade de entendimento. Na verdade elas são tridimensionais.

Veja então que no local em que se encontra o átomo dopante (In) não existem 8 elétrons para ser compartilhados, mas apenas 7. Sobra então uma vaga ou “lacuna” que poderia ser preenchida por elétrons.

Esta lacuna tem uma propriedade importante. Ela pode receber elétrons que se movimentam através do material. Os elétrons, que estão se movimentando através do material, podem “saltar” para essas lacunas, deslocando-se através dele. Em outras palavras, a presença de lacuna facilita a movimentação de cargas através do material, também diminuindo sua resistividade.

Como os portadores de cargas, neste caso, são as lacunas, ou seja, a falta de elétrons, que poderia ser associada a uma carga positiva, pois ela predomina nesse local, dizemos que o material semiconductor assim obtido é do tipo P (positivo).

Podemos elaborar materiais semicondutores tanto do tipo P como do tipo N, usando elementos como o silício, germânio e diversos outros, com aplicações amplas na eletrônica. Basta dopar estes materiais como os elementos trivalentes ou pentavalentes que estudamos.

1.2 – Junções PN

Quando juntamos dois materiais semicondutores de tipos diferentes, P e N, forma-se entre eles uma junção que tem propriedades elétricas importantes. Na verdade, são as propriedades das junções semicondutores que tornam possível a fabricação de todos os dispositivos semicondutores modernos, do diodo, passando pelo transistor ao circuito integrado.

Os Chips

Em uma grande quantidade de equipamentos modernos como computadores, celulares, televisores, DVDs, MP3, etc. existem componentes que popularmente são denominados “chips”. Esses chips, na verdade, são pequenas pastilhas semicondutoras de silício existentes dentro de componentes denominados “circuitos integrados”. Os circuitos integrados possuem milhares ou mesmo milhões de componentes virtuais que são obtidos, desenvolvendo-se regiões microscópicas de materiais N e P. Essas regiões, atuando em conjunto fazem com que o circuito possa exercer funções muito complexas, algumas das quais estudaremos ainda nesse curso. É graças às propriedades dos materiais semicondutores, e do que ocorre quando tipos diferentes são unidos de diversas maneiras, que todas as maravilhas da eletrônica moderna são possíveis.



“Chips” (circuitos integrados), montados numa placa

A junção semicondutora é parte integrante de dispositivos como os SCRs, Triacs, LEDs, MOSFETs, e muitos outros. Por esse motivo, entender seu comportamento elétrico é vital para qualquer pessoa que pretenda se aprofundar nos conhecimentos de eletrônica. Se não soubermos como funcionam essas funções, não teremos condições de entender como funciona qualquer dispositivo semicondutor que as utilize.

Para entender como funciona a junção, vamos partir de dois pedaços de materiais semicondutores, um P e outro N, que são unidos, de modo a formar uma junção, conforme mostra a figura 6.

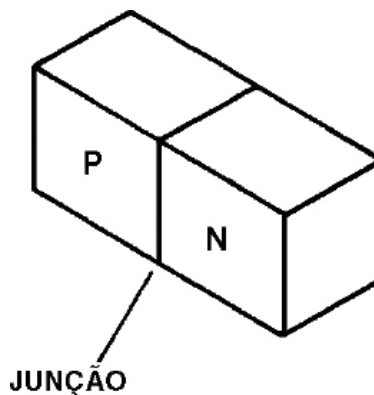


Figura 6 – Obtendo uma junção PN

No local da junção, os elétrons que estão em excesso no material N se deslocam até o material P, procurando então lacunas, onde se fixam.

O resultado é que temos elétrons neutralizando lacunas, ou seja, nesta região não temos mais material nem N e nem P, mas sim material neutro. No entanto, ao mesmo tempo em que ocorre a neutralização, uma pequena tensão elétrica passa a se manifestar entre as duas regiões de material semicondutor.

Essa tensão, que aparece na junção, consiste numa verdadeira barreira que precisa ser vencida para que possamos fazer circular qualquer corrente entre os dois materiais. Conforme o fenômeno sugere, o nome dado é “barreira de potencial”, conforme mostra a figura 7.

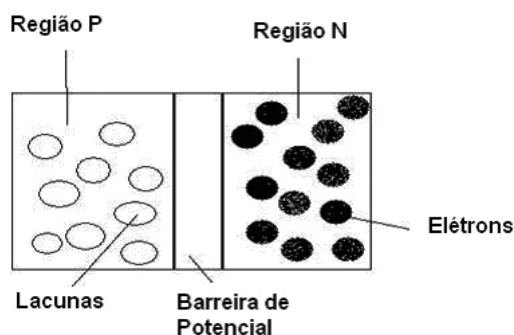


Figura 7 – A barreira de potencial

Esta barreira possui um valor que depende da natureza do material semiconductor usado, sendo da ordem de 0,2 V para o germânio e 0,6 V para o silício.

A estrutura indicada, com dois materiais semicondutores, P e N, forma um componente que apresenta propriedades elétricas importantes e que denominamos “diodo semiconductor”, ou simplesmente “diodo”. É dele que trataremos no próximo item.

1.3 – O diodo semiconductor

Para fazer uma corrente elétrica circular através de uma estrutura, como a estudada no item anterior, com dois materiais P e N formando uma junção, existem duas possibilidades, ou dois sentidos possíveis: a corrente pode fluir do material P para o N, ou vice-versa.

Na prática, veremos que diferentemente dos corpos comuns que conduzem a eletricidade, a corrente não se comporta da mesma maneira nos dois sentidos.

A presença da junção faz com que um comportamento completamente diferente se manifeste em cada caso.

Vamos então supor inicialmente que uma bateria seja ligada a estrutura formada pelos dois pedaços de material semiconductor que formam a junção, ou seja, à estrutura PN.

O material P é ligado ao pólo positivo da bateria, enquanto que o material N é ligado ao pólo negativo. Ocorre então uma repulsão entre cargas que faz com que os portadores de carga do material P, ou seja, as lacunas se movimentem em direção à junção, enquanto que os portadores de carga do material N, que são os elétrons livres, se afastam do pólo da bateria sendo empurrados em direção à junção.

Os portadores de carga positivos (lacunas), e os negativos (elétrons), se encontram na região da junção onde, por terem polaridades diferentes se recombinam e são neutralizados. A recombinação dessas cargas, “empurradas” pela bateria, abre caminho para que novas cargas sejam empurradas para essa região, formando assim um fluxo constante.

Esse fluxo, nada mais é do que uma corrente elétrica que pode fluir livremente através do componente, sem encontrar muita resistência ou oposição. Dizemos, nessas condições, que o componente, esta polarizado no sentido direto, conforme mostra a figura 8.

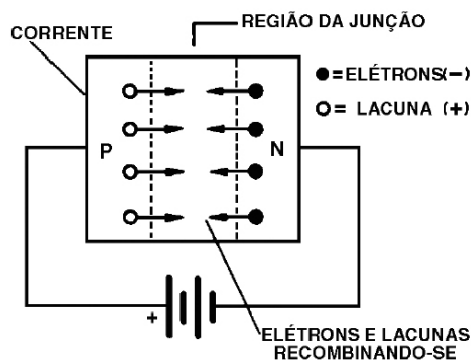


Figura 8 – Junção polarizada no sentido direto

Esse componente, denominado “diodo”, conforme já vimos, deixa então a corrente passar sem oposição quando polarizado no sentido direto.

Por outro lado, se invertermos a polaridade da bateria em relação aos pedaços de material semiconductor dessa estrutura, o fenômeno que se manifesta é diferente. Os portadores do material N são atraídos para o pólo positivo do gerador se afastando da região da junção. A polarização inversa pode ser visualizada na figura 9.

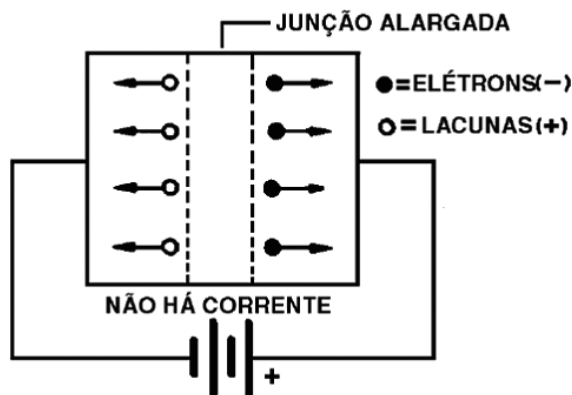


Figura 9 – Junção polarizada no sentido inverso

Da mesma forma, os portadores do material P também se afastam da junção, o que significa que temos um “alargamento da junção”, com um aumento da barreira de potencial que impede a circulação de qualquer corrente elétrica. A estrutura polarizada desta forma, ou seja, polarizada no sentido inverso, não deixa a corrente passar.

Na prática, uma pequena corrente da ordem de milionésimos de ampère pode circular, mesmo quando o diodo está polarizado no sentido inverso. Esta corrente “de fuga” se deve ao fato de que o calor ambiente agita os átomos do material de tal forma que, um ou outro portador de carga pode ser liberado, transportando corrente dessa forma.

Como a intensidade dessa corrente varia com a temperatura, uma estrutura desse tipo, ou seja, um diodo, também pode ser usado

como um excelente sensor de temperaturas. Termômetros eletrônicos, sensores de calor que ligam uma ventoinha quando um componente se aquece são baseados nessa propriedade dos diodos semicondutores.

Veja então que uma simples estrutura PN de Silício ou de Germânio já resulta num importante componente eletrônico que é o diodo. Na figura 10 o leitor terá a estrutura e o símbolo usado para representar o componente que lembra uma “seta”, indicando o sentido da corrente.

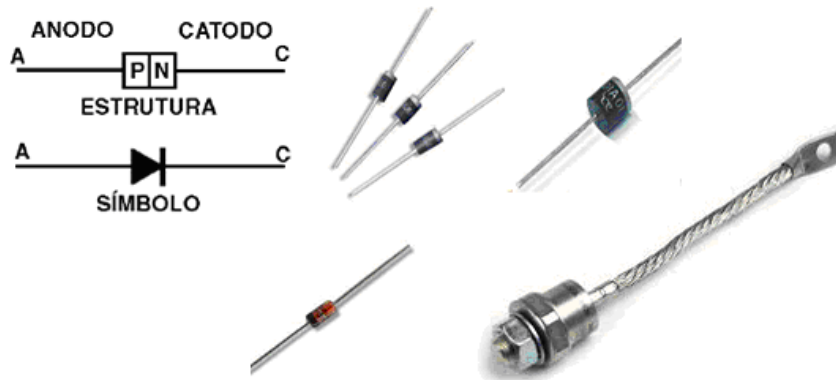


Figura 10 – Símbolo, estrutura e aspectos dos principais tipos de diodos

Na mesma figura temos os aspectos desses componentes, cujo tamanho depende da intensidade da corrente que podem controlar, ou conduzir, e também da tensão máxima que pode se manifestar entre seus terminais. Veja que existe uma faixa ou anel em alguns tipos de diodos, indicando o lado do catodo, ou seja, o lado do material N.

O diodo semicondutor pode então ser polarizado de duas formas, conforme o leitor verá na figura 11.

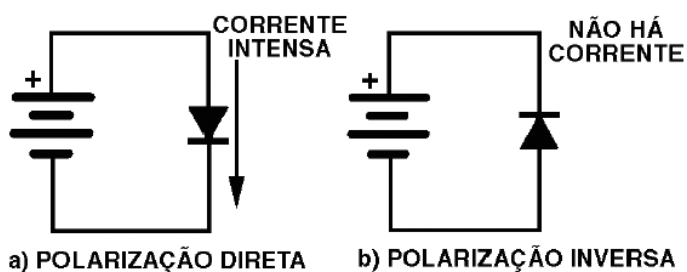


Figura 11 – Polarização direta e polarização inversa de um diodo.

Se o diodo for polarizado como mostra a figura em (a), com o pólo positivo da bateria ou outra fonte de energia elétrica em seu anodo, a corrente pode fluir com facilidade, pois o diodo apresenta uma resistência muito baixa. Dizemos que o diodo está polarizado no sentido direto.

Se a polarização for feita conforme mostra a mesma figura em (b), então nenhuma corrente pode circular. Dizemos que o diodo está polarizado no sentido inverso.

Diodo sensor

Diodos, como o da figura, podem ser usados como sensores de temperatura em diversas aplicações práticas.



Diodos SMD

Da mesma forma que muitos outros componentes eletrônicos, existem versões dos diodos em invólucros extremamente pequenos, denominados SMD (para montagem em superfície). Na figura A temos exemplos.



Figura A - diodos SMD

É muito comum que seja feita a comparação de um diodo semicondutor com uma “válvula hidráulica de retenção”, como a mostrada na figura 12.

Analogias

Muitos componentes eletrônicos podem ser analisados de forma mais simples de entender, se fizermos comparações com análogos (semelhantes) como os hidráulicos e pneumáticos. Assim, os fluidos, como a água ou um gás, fazem as vezes da corrente elétrica nestes dispositivos que funcionam de formam semelhante.



Figura 12 – A válvula hidráulica de retenção funciona como um diodo

Se a água for forçada a circular num sentido (direto), a válvula abre, deixando-a passar livremente. No entanto, se a água for forçada no sentido oposto (inverso), a válvula se mantém fechada e a água não pode circular.

Por estas propriedades, um diodo semicondutor pode ser usado em muitas aplicações eletrônicas importantes, muitas das quais teremos a oportunidade de ver nesse curso.

Observe ainda que, devido ao fato de que precisamos vencer a barreira de potencial de 0,2 V para os diodos de germânio, e 0,6 V para os diodos de silício, quando ocorre a condução, aparece sobre o componente sempre essa tensão, independentemente da intensidade da corrente que está circulando através dele, conforme é possível ver pela figura 13.

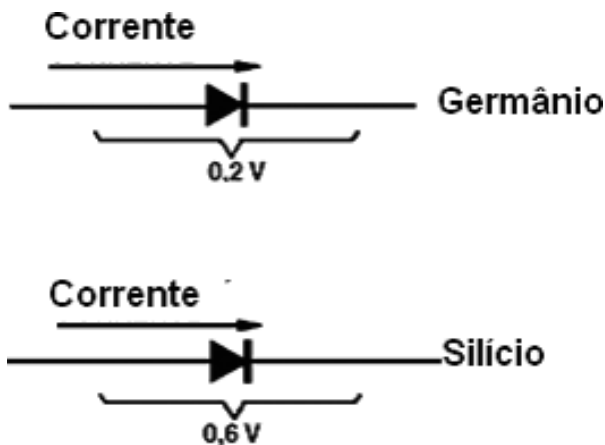


Figura 13 – Queda de tensão num diodo

Na verdade, como a resistência do diodo é muito baixa, na sua condição de plena condução de corrente, se não existir um componente que limite essa corrente no circuito, o diodo corre o risco de se “queimar”, pois existe um valor máximo para a intensidade da corrente que ele pode conduzir.

Da mesma forma, também existe um limite para a tensão máxima que podemos aplicar num diodo ao polarizá-lo no sentido inverso.

Chega um ponto em que, mesmo polarizado inversamente, a barreira de potência não mais pode conter o fluxo de cargas “rompendo-se” com a queima do componente.

Os diodos comuns são então especificados em função da corrente máxima que pode conduzir no sentido direto, abreviada por I_f (O f vem de forward que em inglês quer dizer direto), e pela tensão máxima que podem suportar no sentido inverso, abreviada por V_r (O r vem de reverse que, em inglês, quer dizer inverso).

Conforme veremos mais adiante, existem alguns tipos de diodos especiais que podem funcionar polarizados no sentido inverso e que apresentam características muito interessantes para a eletrônica.

1.4 – Tipos de diodos

Conforme estudamos, o material semiconductor usado na formação de junções tanto pode ser o germânio como o silício. Assim, temos diodos tanto de germânio como de silício. E, nestes grupos, os tipos podem ainda ter finalidades diferentes, sendo, por esse motivo, construídos de forma diferente. Analisamos alguns tipos de diodos.

1.4.1 - Diodos de Germânio

Na figura 14 temos a estrutura interna de um diodo de germânio, não muito usado atualmente, mas ainda encontrado em alguns equipamentos e em aplicações especiais.

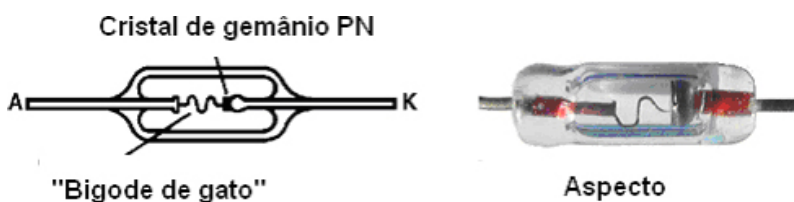


Figura 14 – Um diodo de germânio

Este tipo de diodo é usado em circuitos que operem com correntes muito fracas, mas tem a vantagem de poder operar com variações de correntes muito rápidas, ou seja, com sinais de altas frequências. Assim, ele é usado principalmente na detecção de sinais de rádio. Tipos bastante conhecidos são os 1N34, 1N60, OA79, etc.

Veja que a especificação dos diodos é feita segundo uma codificação. Para os diodos com “nomenclatura americana”, temos a sigla

Cuidados com os diodos

Como qualquer componente, os diodos também têm limites que devem ser observados para que não se queiem.

Diodos em Toda Parte

Encontramos diodos semicondutores em toda parte. Controles industriais, computadores, aparelhos de som, televisores, telefones celulares, circuitos eletrônicos de automóveis, equipamentos médicos e tudo mais. Estes diodos, tanto podem estar presentes na forma de um componente independente (como em fontes de alimentação) e que podem ser retirados, testados e trocados, como podem estar “embutidos” em circuitos integrados, ou seja, num daqueles componentes mais complexos com muitos terminais e que na realidade são formados por muitos outros componentes numa única pastilha de silício, conforme veremos futuramente.

Outros códigos

Na verdade, existem muitos outros códigos, menos usados. Os mais problemáticos são os códigos adotados por fabricantes não muito conhecidos, cuja especificação dos diodos é difícil de obter. Estes diodos, quando apresentam problemas num circuito, sempre trazem dores de cabeça para o profissional que precisa encontrar um substituto.

IN, enquanto que para os tipos que seguem a nomenclatura européia temos as siglas OA ou BA.

Na verdade, todos os semicondutores possuem códigos de identificação internacionalmente adotados como o que damos a seguir.

1.4.2 - Código Pro-electron

Esse código é usado na identificação de semicondutores sendo adotado principalmente na Europa. O código é formado por duas ou três letras, seguidos por um número de série (sufixo) com o seguinte significado:

A primeira letra indica o material, conforme a seguinte tabela:

A = Ge

B = Si

C = GaAs

R = materiais compostos

A segunda letra indica a aplicação do dispositivo, conforme a seguinte tabela:

A: Diodo RF

B: Varicap

C: Transistor, AF, pequenos sinais

D: Transistor, AF, potência

E: Diodo Tunnel

F: transistor, HF, pequeno sinal

K: Dispositivo de efeito Hall

L: Transistor, HF, potência

N: Acoplador óptico

P: Dispositivo sensível à radiação

Q: Dispositivo que produz radiação

R: Tiristor, Baixa potência

T: Tiristor, Potência

U: Transistor, potência, comutação

Y: Retificador

Z: Zener, ou diodo regulador de tensão

A terceira letra indica que o dispositivo é indicado para aplicações industriais ou profissionais, assim como comerciais. O sufixo é usualmente W, X, Y ou Z. O número de série vai de 100 a 9999. Um sufixo adicional normalmente determina a faixa de ganho, como nas normas JEDEC.

Exemplos

BC548A – Transistor de silício de baixa potência

BAW68 – diodo para aplicações profissionais em RF

BD135 – transistor de silício de potência

BF494 – transistor de silício de baixa potência para RF

No exemplo do BC548A, o A indica uma característica adicional dentro do mesmo grupo. Por exemplo, o ganho. Veremos o que isso significa nas próximas lições.

1.4.3 - Diodos de Silício de Uso Geral

Estes são diodos de silício fabricados para o trabalho com correntes de pequenas e médias intensidade, da ordem de no máximo 200 mA, e tensões que não vão muito além dos 100 V. São usados em circuitos de proteção, circuitos lógicos, polarização, queda de tensão, referência, etc. Na figura 15 mostramos o diodo 1N4148 é um dos mais comuns desta série.



Figura 15 – Um diodo 1N4148

Código de cores

Alguns fabricantes costumam indicar o tipo de diodo pelo mesmo código de cores que estudamos para os resistores. Assim, o 1N4148 vem com as faixas amarela, branco, amarelo e cinza.

1.4.4 - Diodos Retificadores de Silício

São diodos destinados à condução de correntes intensas, também suportando tensões elevadas que podem superar os 1 000 V.

Uma série muito usada de diodos retificadores é a 1N400X, onde o X pode ir de 1 a 7. São diodos de 1 A, muito usados na retificação de correntes alternadas em fontes de alimentação. As características desses diodos são:

- 1N4001 – 50 V
- 1N4002 – 100 V
- 1N4003 – 200 V
- 1N4004 – 400 V
- 1N4005 – 600 V
- 1N4006 – 800 V
- 1N4007 – 1000 V

É muito comum usarmos o 1N4002 em fontes até 20 V, o 1N4004 em circuitos ligados na rede de 110/127 V, e o 1N4006 ou 1N4007 nas redes de 220 V.

Uma boa margem de segurança é dada ao usarmos este diodo. Além deles, existem outros que exercem funções importantes nos circuitos eletrônicos e que serão analisados oportunamente.

Veja que as tensões indicadas na tabela são as tensões de pico, e não rms. Assim, na rede de 110 V, por exemplo, conforme estudamos no Curso Básico, o pico pode superar os 150 V, daí usarmos o 1N4003, preferivelmente o 1N4004, e nunca o 1N4002..

Diodos de potência muito alta

Em aplicações onde a corrente é muito alta, tais como máquinas industriais, veículos elétricos, etc., poderemos encontrar diodos com capacidades de corrente de centenas ou milhares de ampères, como os da figura A.



Figura A – diodos de alta corrente

1.5 – O diodo zener

Conforme estudamos, existe um limite para a tensão que pode ser aplicada no sentido inverso num diodo comum. Quando a tensão supera esse valor, que varia de tipo para tipo de diodo, a junção “rompe-se”, tornando-se condutora e, com isso, conduzindo uma corrente de forma intensa. A corrente passa a fluir sem encontrar maiores obstáculos.

Para os diodos comuns, este rompimento no sentido inverso significa a queima do componente. A forte corrente acaba por causar a perda das propriedades dos materiais semicondutores que formam sua estrutura.

No entanto, existem diodos que são projetados para suportar a corrente no sentido inverso até certo limite, mesmo quando a tensão inversa é superada. Esses componentes são de grande importância para a eletrônica moderna.

Na figura 16 temos uma curva que mostra a característica de um diodo comum, e que também pode servir para que possamos introduzir um novo tipo de componente: o diodo zener.

Alertamos os leitores que é sempre bom saber “interpretar” gráficos como o dado na figura 16. Como esse é um dos primeiros diferentes de uma reta (ver resistor) que vamos explorar de uma forma um pouco mais detalhada em nosso curso, vejamos o que ele nos “diz”. O gráfico, por exemplo, mostra que o diodo só começa a conduzir quando a tensão V_1 é atingida, quando a corrente no diodo começa a aumentar intensamente (a curva sobe), mas a tensão praticamente não varia (pois a curva se mantém praticamente perpendicular ao eixo V). Por outro lado, no terceiro quadrante (III), temos o ponto em que ocorre a ruptura inversa (V_p), quando então a corrente pode aumentar muito no sentido inverso (a reta é vertical, perpendicular ao eixo V nesse ponto V_p).

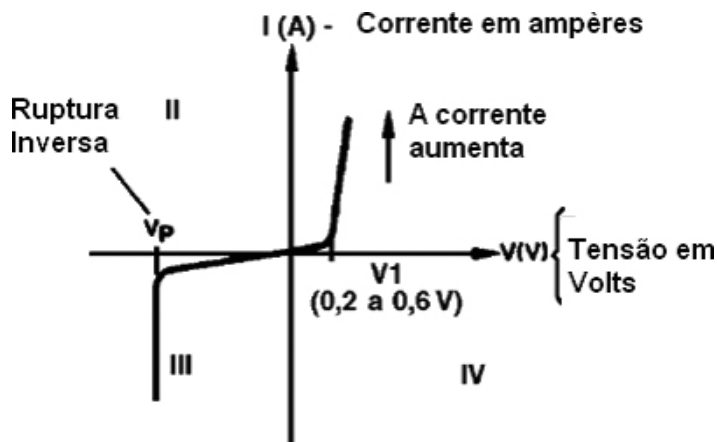


Figura 16 – Curva característica de um diodo comum

Veja então que, quando ocorre uma ruptura no sentido inverso, por mais que a corrente aumente, a tensão no diodo se mantém fixa, no valor V_p , que a partir de agora será chamado de V_z ou tensão zener.

Isto significa que se tivermos um diodo que possa trabalhar nesse ponto da curva característica, sem queimar, ele conseguirá manter fixa a tensão num circuito independentemente da corrente, ou seja, ele poderá funcionar como um regulador de tensão. Na figura 17 temos o símbolo adotado para representar esse tipo de componente, que é denominado “diodo zener”, assim como os aspectos dos tipos mais comuns.

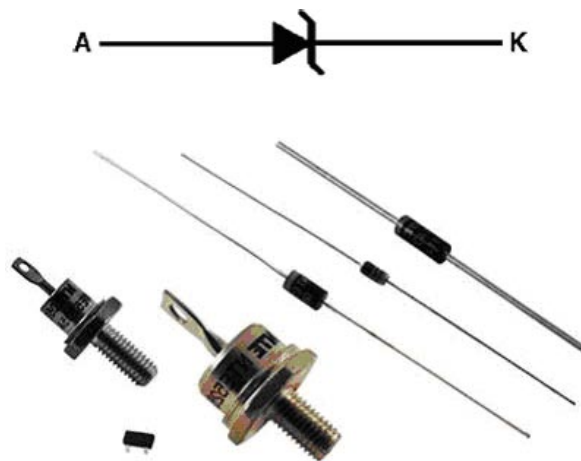


Figura 17 – Símbolo do diodo zener e aspectos

Os diodos zener podem cumprir uma função muito importante nos circuitos, regulando a tensão de fontes de alimentação, além de estarem presentes em muitas aplicações em que se necessita de uma tensão fixa. Diodos zener com tensões entre 2 e 200 volts podem ser encontrados nos aparelhos eletrônicos comuns.

Na figura 18 temos o modo típico de se usar um diodo zener.

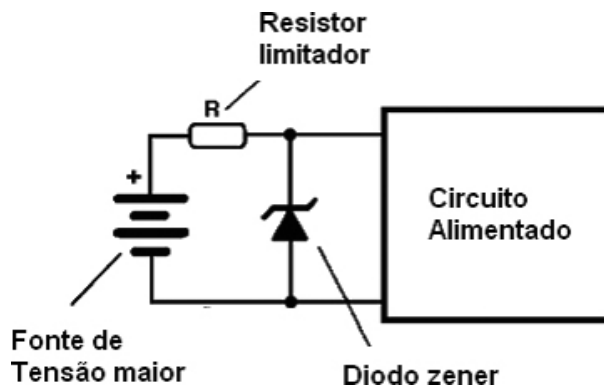


Figura 18 – Circuito simples de aplicação de um diodo zener

Veja que, em primeiro lugar, ele trabalha polarizado no sentido inverso, ou seja, seu catodo vai ao ponto positivo do circuito. O circuito, que deve ter a tensão estabilizada, é ligado em paralelo com o diodo zener.

O resistor R neste circuito tem a importante função de limitar a corrente no diodo zener, pois se ela superar um valor determinado pela sua capacidade de dissipação, ele pode queimar-se. O valor máximo da corrente depende da potência do zener, podendo ser calculado facilmente em cada aplicação.

Assim, lembrando que a potência num circuito é dada pelo produto da tensão pela corrente, se tivermos um diodo zener de 2 V, cuja dissipação máxima seja de 1 W, é fácil calcular a corrente máxima para a potência indicada:

Diodos zener em toda parte

Na regulagem de tensão das fontes da maioria dos aparelhos eletrônicos comuns como televisores, aparelhos de som, computadores, intercomunicadores, transmissores, equipamentos médicos, equipamentos industriais, encontramos diodos zener. Esses diodos podem ser de diversos tamanhos, conforme a tensão e corrente controlada, e normalmente trabalhando em conjunto com outros componentes igualmente importantes.

$$P = V \times I$$

$$P = 2 \times I$$

De onde:

$$I = 1 / 2 = 0,5 \text{ ampère}$$

Para um diodo de 4 V a corrente máxima será menor:

$$P = V \times I$$

$$I = P/V$$

$$I = 1 / 4 = 0,25 \text{ A}$$

Esta corrente máxima determina o valor do resistor que deve ser ligado em série com o diodo zener, numa aplicação normal.

1.5.1 - Nomenclatura dos diodos zener:

Os diodos zener seguem a mesma nomenclatura dos demais diodos. Assim, para os tipos americanos temos a série 1N, cujos principais tipos são dados na tabela abaixo.

Tensão	Potência (Watts)							
	0.25	0.4	0.5	1.0	1.5	5.0	10.0	50.0
1.8	1N4614							
2.0	1N4615							
2.2	1N4616							
2.4	1N4617	1N4370						
2.7	1N4618	1N4370						
3.0	1N4619	1N4372	1N5987					
3.3	1N4620	1N5518	1N5988	1N4728	1N5913	1N5333		
3.6	1N4621	1N5519	1N5989	1N4729	1N5914	1N5334		
3.9	1N4622	1N5520	1N5844	1N4730	1N5915	1N5335	1N3993	1N4549
4.7	1N4624	1N5522	1N5846	1N4732	1N5917	1N5337	1N3995	1N4551
5.6	1N4626	1N5524	1N5848	1N4734	1N5919	1N5339	1N3997	1N4553
6.2	1N4627	1N5525	1N5850	1N4735		1N5341		1N4553
7.5	1N4100	1N5527	1N5997	1N4737	1N3786	1N5343	1N4000	1N4556
10.0	1N4104	1N5531	1N6000	1N4740	1N3789	1N5347	1N2974	1N2808
12.0	1N4106	1N5532	1N6002	1N4742	1N3791	1N5349	1N2976	1N2810
14.0	1N4108	1N5534	1N5860			1N5351	1N2978	1N2812
16.0	1N4110	1N5536	1N5862	1N4745	1N3794	1N5353	1N2980	1N2814
20	1N4114	1N5540	1N5866	1N4747	1N3796	1N5357	1N2984	1N2818
24	1N4116	1N5542	1N6009	1N4749	1N3798	1N5359	1N2986	1N2820
28	1N4119	1N5544	1N5871			1N5362		
60	1N4128		1N5264			1N5371		
100	1N4135	1N985		1N4764	1N3813	1N5378	1N3005	
120		1N987	1N6026	1N3046	1N5951	1N5380	1N3008	1N2841

Outra série de diodos, que se emprega muito em projetos comerciais, é a BZX79C, formada por diodos de 400 mW. Nessa série a tensão do diodo é indicada no próprio tipo. Assim, BZX79C2V1 corresponde a um diodo de 2,1 V, pois 2V1 indica a tensão, com o V substituindo a vírgula decimal. O BZX79C12V, por exemplo, é um diodo de 12 V. Esta serie utiliza a nomenclatura européia, Pro-electron que já estudamos no caso dos diodos comuns.

1.6 – O LED (Diodo Emissor de Luz)

A observação de que, quando um diodo a corrente no sentido direto, há emissão de radiação infravermelha (luz invisível), é bem antiga. No entanto, num diodo comum a intensidade da emissão é muito pequena.

Esse efeito pode ser conseguido com maior intensidade e alterado para que a emissão ocorra em outras faixas do espectro, obtendo-se assim componente emissores de radiação infravermelha, luz visível e até mesmo, ultravioleta.

Temos então componentes cuja estrutura básica é a mesma de um diodo comum, mas que são feitos de materiais como o Arseneto de Gálio (GaAs) e outras variações como o Arseneto de Gálio com Índio (GaAsIn), sendo denominados “light emitting diodes” ou “diodos emissores de luz” cuja abreviação do termo inglês resulta em LED.

Os diodos emissores de luz ou LEDs podem produzir uma luz incrivelmente pura, pois como a emissão ocorre por um processo de transferência de energia entre elétrons, que estão em órbitas definidas nos átomos, sua frequência é única. Trata-se de um processo semelhante ao que ocorre com o LASER, daí podermos considerar os LEDs dispositivos aparentados aos LASERs semicondutores. Mais adiante veremos como funcionamos LASERs semicondutores.

Assim, diferentemente da luz branca, que é formada pela mistura de todas as cores, a luz emitida por um LED tem cor única. Trata-se de uma fonte de luz monocromática, conforme mostram os espectros de emissão que o leitor poderá ver na figura 19.

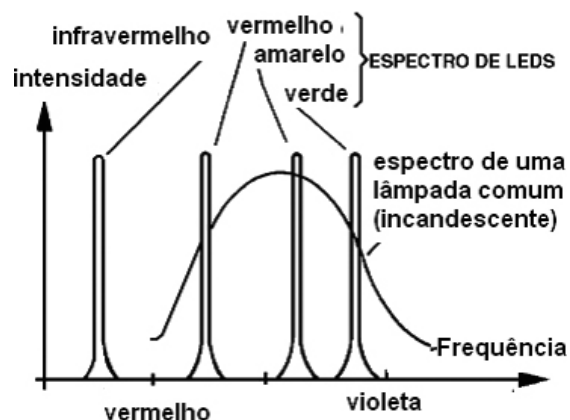


Figura 19 – As curvas estreitas de emissão dos LEDs

Os primeiro LEDs colocados no comércio operavam na faixa do infravermelho, emitindo uma luz que não podemos ver. Atualmente, temos LEDs que emitem luz no espectro visível, já se aproximando da extremidade do espectro junto ao ultravioleta. Os LEDs de cores vermelha, laranja, amarelo, verde, azul e até mesmo violeta já são comuns.

Na figura 20 poderemos observar o aspecto e o símbolo usado para representar um LED comum.

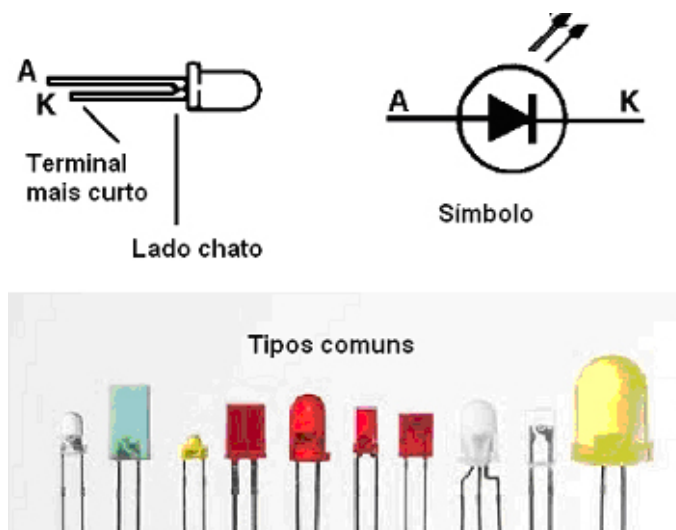


Figura 20 – LEDs – aspectos e símbolo

Muitos fabricantes montam diversos LEDs em invólucros únicos, formando barras, painéis ou mesmo figuras. São os displays de LED. Na figura 21 temos exemplos destes displays.



Figura 21 – Display de LEDs

Como a combinação dessas cores pode resultar na luz branca, existem LEDs que combinam três pastilhas diferentes internamente, nas cores básicas e quando acesos, produzem luz branca de grande intensidade. Na figura 22 temos um LED branco de alto brilho;



Figura 22 – LED branco de alto brilho

Existe uma tendência atualmente em curso de se obter LEDs com altíssimo rendimento, capazes de substituir as lâmpadas comuns em muitas aplicações que envolvem iluminação, e não apenas sinalização ou indicação, como até então ocorria com os LEDs comuns. Estes LEDs são denominados “de alto brilho” e começam a substituir as lâmpadas comuns em muitas aplicações.

Na figura 23 temos uma lâmpada-LED que substitui com vantagem uma lâmpada incandescente comum, pelo seu rendimento e durabilidade.



Figura 23 - Uma Lâmpada de LEDs

1.6.1 – TV de LEDs

Os pontos de imagem de uma TV analógica tradicional pelo impacto de elétrons em materiais fosforescentes nas cores básicas RGB (veja em outros componentes o TRC). Podemos obter uma imagem de TV de forma equivalente utilizando para os pontos de imagem LEDs nestas cores. É claro que precisaremos de milhões deles, um para cada ponto de imagem de cada cor, mas a tecnologia atual consegue fabricar estes displays, conforme mostra a figura 24. São milhões de LEDs montados num painel formando grupos de 3 (RGB), um para cada ponto de imagem, conforme mostra a mesma figura.

RGB

A cor branca é resultante da mistura de todas as outras cores. Verificamos que se misturarmos na proporção certa as cores vermelha (R de Red), verde (G de green) e azul (B de blue), podemos obter a luz branca. Assim, na verdade, os LEDs brancos são formados por 3 chips, um de cada uma das cores básicas RGB, alimentados simultaneamente com as correntes na intensidade certa, que resulta no branco. Mas atenção, os LEDs brancos são diferentes dos LEDs RGB. Nos LEDs RGB temos acesso independente, aos chips das três cores de modo a podermos compor a cor que desejamos, como na figura abaixo.



Um LED RGB



Figura 24 - Um televisor/monitor de LEDs

A vantagem do uso dos LEDs neste tipo de display é que eles apresentam um rendimento muito alto, que leva o televisor ou monitor a um baixo consumo, e seus painéis são planos, ocupando muito menos espaço.

A excitação dos LEDs para produzir a imagem, entretanto, deve ser feita na forma digital, através de circuitos totalmente diferentes dos televisores e monitores que usam cinescópios.

1.6.2 – Usando LEDs

Para saber usar um LED é preciso conhecer suas características elétricas, e isso pode ser facilmente conseguido a partir de sua curva característica que pode ser observada na figura 25.

OLEDs

Organic LED ou LEDs orgânicos são LEDs que utilizam materiais semicondutores orgânicos ou baseados no carbono. Estes LEDs já podem ser usados na fabricação de grandes displays para televisores e também de displays flexíveis.



Uma TV de LED Orgânico ou OLED e um display flexível.

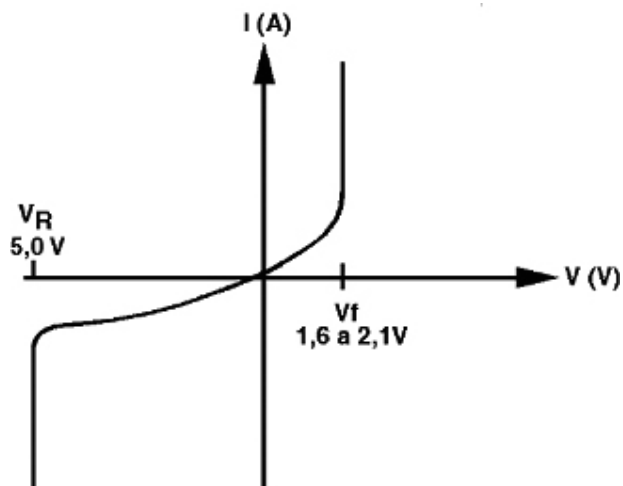


Figura 25 – A curva característica de um LED é a mesma de um diodo

Por esta curva temos diversas informações importantes. A primeira delas nos mostra que o ponto V_f , ou seja, o instante em que o

LED começa a conduzir a corrente corresponde a uma tensão maior do que a obtida em diodos comuns de silício ou de germânio. Essa tensão depende do tipo de LED considerado.

Assim, para um LED vermelho e infravermelho essa tensão é de aproximadamente 1,6 V, subindo para 2,1 V num LED amarelo e chegando a mais de 2,7 V para LEDs verdes, azuis e brancos.

Isso significa que precisamos de uma tensão com pelo menos esse valor, para que o LED “acenda”, pois ele precisa conduzir no sentido direto para isso.

Por outro lado, vemos que a tensão inversa de ruptura (V_r) está em torno de 5 V. Isso significa que os LEDs nunca podem ser polarizados no sentido inverso com mais de 5 V, pois isso pode causar sua queima.

Outro fato importante que obtemos da curva característica do LED é que, a partir da condução no sentido direto, a corrente aumenta quase que numa vertical, o que quer dizer que, começando a conduzir, a resistência do LED cai a um valor muito baixo. Isso significa que, se não houver algum meio para limitar a corrente nesse componente, ela aumenta rapidamente, podendo superar o máximo que ele suporta, causando sua queima.

Para LEDs comuns, esta corrente é da ordem de 50 mA, ou pouco mais (depende do tamanho do LED), mas existem tipos de alta intensidade em que ela é bem maior. De qualquer forma, o leitor deve lembrar que o LED é um componente frágil, principalmente os de menor potência.

Veremos no volume prático deste curso, que trata da parte prática, como usar resistores para limitar a corrente num LED, usando esse componente de forma segura. Nunca devemos ligar um LED diretamente a qualquer fonte de tensão (pilhas, fontes, baterias, etc.) sem um resistor para limitar a corrente, pois não havendo limitação para a corrente teremos sua queima imediata.

Os LEDs comuns são indicados por códigos, se bem que na maioria dos casos, basta saber a cor e ter uma idéia da corrente pelo seu tamanho. Nas aplicações mais críticas, é conveniente procurar as especificações com o próprio fabricante.

1.7 – Os foto-diodos

Conforme já estudamos, uma pequena corrente pode fluir por um diodo quando polarizado no sentido inverso, devido à liberação de portadores de carga pela temperatura. A elevação da temperatura faz com que haja uma “agitação” dos átomos, e isso pode fazer com que portadores sejam liberados.

No entanto, existe outro tipo de influência externa que pode causar a liberação de portadores de carga, e que permite a utilização dos diodos de outra maneira, diferente das que vimos até agora.

Onde estão os LEDs

Encontramos LEDs em toda a parte. O uso mais comum é nos painéis dos aparelhos como indicadores. No rádio do carro, nos equipamentos de som e em muitos outros lugares a “luz” vermelha que pisca ou de outra cor é um LED. Essa vocação para dispositivos de sinalização leva também a LEDs que formam números, como os dos painéis digitais que acendem de muitos equipamentos. No entanto, também começam a aparecer os LEDs potentes, principalmente de luz branca, que começam a substituir as lâmpadas comuns em iluminação como spots, lanternas, faróis de carros, flashes de máquinas fotográficas, etc. Também temos os displays de televisores e monitores de vídeos.

Se a luz puder alcançar a junção de um diodo polarizado no sentido inverso, conforme sugere a figura 26, portadores de carga podem ser liberados.

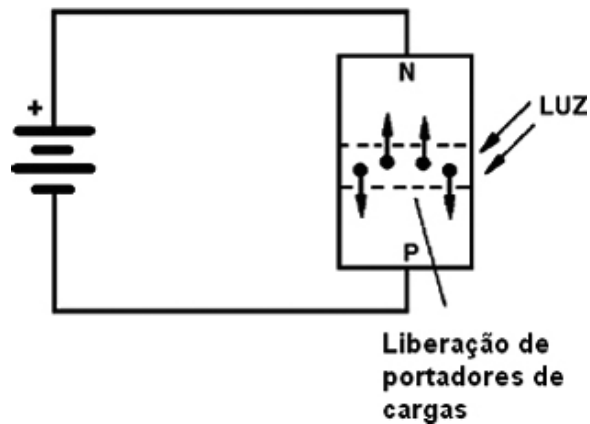


Figura 26 – A luz pode liberar portadores de carga

O resultado disso, é que a corrente circulante não mais dependerá somente da temperatura, mas também da quantidade de luz ou intensidade da luz que incide nessa junção.

Com isso, podemos elaborar componentes denominados “fotodiodos”, que o leitor poderá ver na figura 27, em que propositalmente se expõe através de uma janela ou invólucro transparente, a junção à luz exterior, de modo a se obter uma corrente proporcional à sua intensidade.

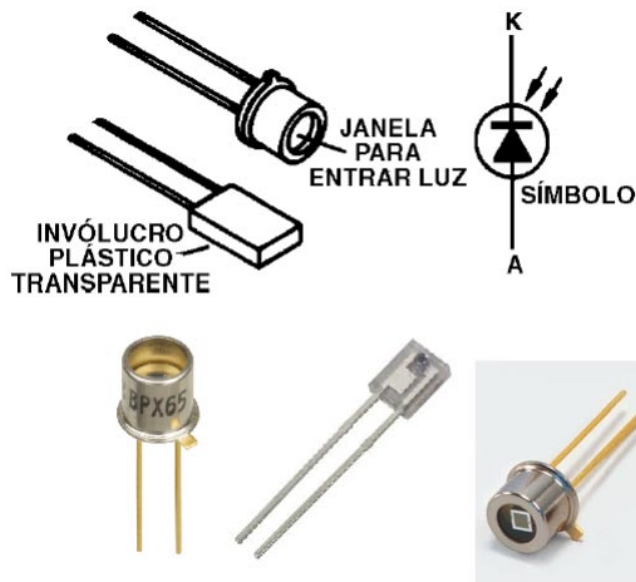


Figura 27 - Foto-diodos – símbolo e aspectos

Os foto-diodos comuns se caracterizam, tanto pela sua sensibilidade, como pela velocidade com que podem responder à qualquer variação da intensidade da luz. Isso faz com que eles possam ser usa-

dos na leitura de códigos de barras, cartões perfurados, em alarmes, ou ainda para a recepção da luz modulada, como ocorre num sistema de controle remoto.

O transmissor do controle remoto emite o código num raio de luz infravermelha, e o foto-diodo colocado junto ao televisor, DVD ou equipamento de som, recebe essa luz, possibilitando a extração da informação que vai se traduzir num comando.

Na figura 28 temos característica de sensibilidade de um foto-diodo, onde vemos que esses componente podem “ver” formas de radiação que nossos olhos não percebem, ou seja, abaixo do vermelho e acima do violeta.

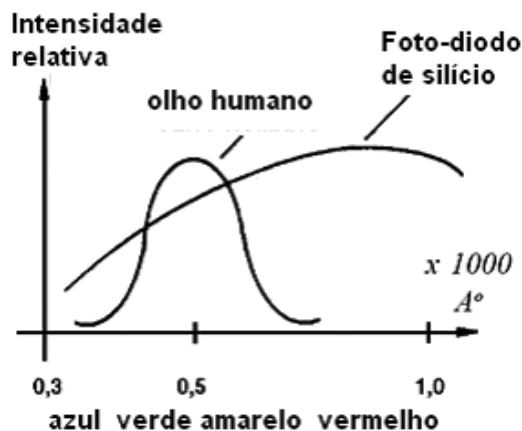


Figura 28 – Característica do foto-diodo e do olho humano

1.7.1 - Uso dos Foto-Diodos

Além de alarmes, controles remotos e outras aplicações que citamos, os foto-diodos podem exercer muitas outras sendo, por isso, encontrados numa grande quantidade de aplicações práticas. Além das indicadas, temos os indicadores de posições ou encoders de máquinas industriais, detectores de radiação e muito mais.

1.8 – Outros tipos de diodo: Schottky, tunel, varicap, etc.

Além dos diodos que estudamos existem alguns outros tipos que são muito importantes nas aplicações práticas, Dentre eles destacamos:

• Varicap

Quando polarizamos um diodo comum no sentido inverso, conforme mostra a figura 29, os portadores de carga se afastam da junção, diminuindo a intensidade do fenômeno da recombinação pela condução, responsável pela condução do componente: não há corrente entre o anodo e o catodo e a região da junção aumenta de espessura.

Diodos Laser

Pode-se emitir luz coerente através de um processo especial, utilizando de materiais semicondutores, resultando nos diodos LASER. Estes diodos, encontrados em laser pointers, leitores de CDs e DVDs, além de muitas outras aplicações, têm o mesmo princípio de funcionamento dos LEDs comuns. Apenas são dotados de recursos ópticos adicionais para produzir luz coerente que caracteriza o LASER.

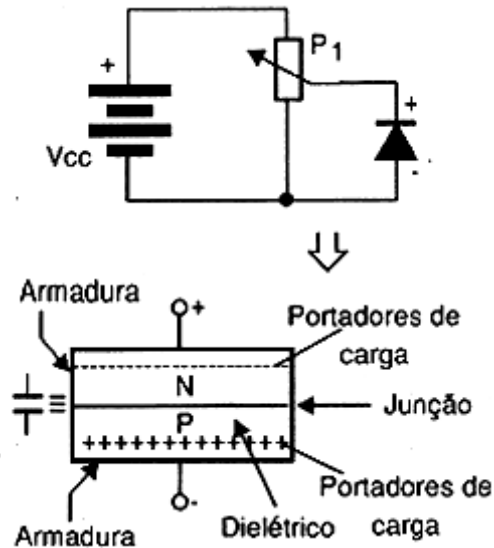


Figura 29 – Polarizando um diodo no sentido inverso

Os portadores de carga acumulados no material, e separados por uma região isolante, formam uma estrutura muito semelhante a de um capacitor comum: o local onde ficam as cargas acumuladas corresponde às armaduras do capacitor e a região em que não temos a condução, em torno da junção corresponde ao dielétrico. Num capacitor comum, a capacitância obtida depende de 3 fatores:

- a) tamanho das armaduras, ou seja, sua superfície efetiva.
- b) distância de separação entre as armaduras
- c) material de que é feito o dielétrico (constante dielétrica).

Num diodo polarizado no sentido inverso, a capacitância apresentada dependerá então do tamanho do material semiconductor usado (armaduras), da separação entre as regiões em que as cargas se acumulam e da constante dielétrica do material semiconductor usado (silício), conforme mostra a figura 30.

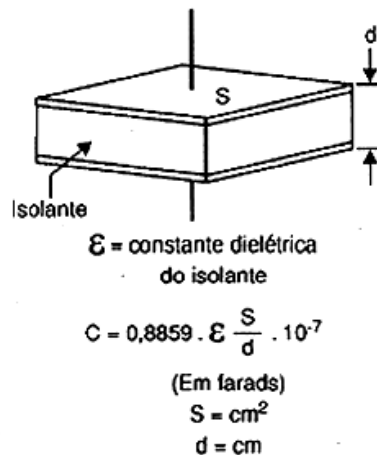


Figura 30 – A capacitância de um capacitor

Nos capacitores comuns, todos esses fatores são fixos, mas num capacitor variável podemos alterar a distância de separação entre as armaduras, ou ainda sua superfície efetiva.

Num diodo, entretanto, existe um fator que pode ser alterado a partir de uma ação exterior que é a distância entre as armaduras.

Como, na realidade, as armaduras deste capacitor “fictício” que existem no diodo são formadas por portadores de carga, capazes de se mover no interior do material, podemos afastá-las ou aproximá-las pela ação de um campo elétrico, ou seja, pela aplicação de uma tensão externa.

Se o diodo estiver desligado (tensão nula entre o anodo e o catodo), os portadores de cargas das armaduras atraem-se e só se não se recombinam totalmente, porque existe uma barreira de potencial na junção.

Sua distância é então mínima e a capacitância apresentada pelo componente é máxima, conforme indicado na figura 31.

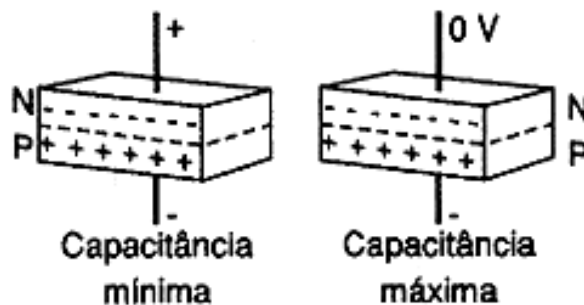


Figura 31 – A capacitância de uma junção PN

Aplicando uma tensão no sentido inverso, à medida que seu valor aumenta, ocorre uma separação gradual das “armaduras”, ou portadores de carga, o que faz com que a capacitância do dispositivo também diminua de valor.

A máxima tensão que o diodo admite no sentido inverso determina a menor capacitância que podemos conseguir do diodo, conforme mostra o gráfico típico de um diodo na figura 32.

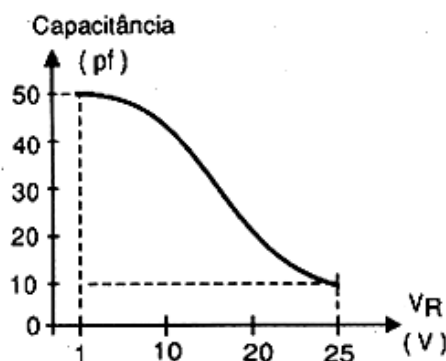


Figura 32 – Variação da capacitância com a tensão

Os diodos comuns não são apropriados para a utilização num circuito ressonante, porque sua faixa de variação de capacitâncias não é muito grande e, além disso, podem ocorrer problemas de resposta na operação em frequências muito altas.

No entanto, utilizando técnicas especiais, podem ser construídos diodos cujas características que importam neste caso, ou seja, a capacitância entre as regiões semicondutoras e a resposta à frequências elevadas, sejam ressaltadas, o que dá origem a uma família importante de componentes: os varicaps ou diodos de capacitância variável. Na figura 33 temos os símbolos adotados para representar os varicaps.

Sintonia digital

Em muitos aparelhos comerciais são usados varicaps na sintonia. Um exemplo é nos seletores de TV analógica por chaves em que existe um varicap em cada tecla, ajustado por um trimpot, para a frequência do canal correspondente que deve ser sintonizado.



Figura 33- Símbolos do varicap

Comercialmente, encontramos tipos que podem ter faixas de capacitâncias que vão desde valores relativamente pequenos, para a operação em FM, VHF e UHF, até diodos de capacitâncias elevadas, na condição de ausência de tensão para operação em circuitos de baixas frequências como, por exemplo, na sintonia de receptores AM.

• Schottky

Os diodos Schottky são componentes relativamente novos, pois são usados há apenas 25 anos, aproximadamente. No entanto, suas características especiais os tornam ideais para certas aplicações em que os diodos comuns de silício não se dão bem como, por exemplo, nos circuitos de comutação rápida ou ainda nos circuitos em que uma queda de tensão no sentido direto deva ser minimizada.

Estes diodos especiais têm uma queda de potencial no sentido direto muito baixa e, por isso, comutam mais rapidamente, passando do estado de não condução para condução e vice-versa de forma muito rápida. Esses são os diodos Schottky

Vantagens

- Velocidade de comutação muito rápida
- Queda de tensão no sentido direto praticamente nula (alguns microvolts)

Desvantagens

- Não suportam temperaturas elevadas (125oC a 175oC , bem menos que os 200oC dos diodos comuns de silício)
- Dificuldade para fabricação com altas tensões inversas
- Têm elevada corrente de fuga no sentido inverso

O que diferencia as características de condução dos diodos comuns em relação aos diodos Schottky é a tecnologia de fabricação e o material usado.

Desse modo, para obter uma barreira de condução baixa existem diversas tecnologias que são empregadas, determinando outras características do componente.

Na figura 34 temos as curvas características obtidas para este componente, observando-se a tensão muito baixa em que ele começa a conduzir quando polarizado no sentido direto.

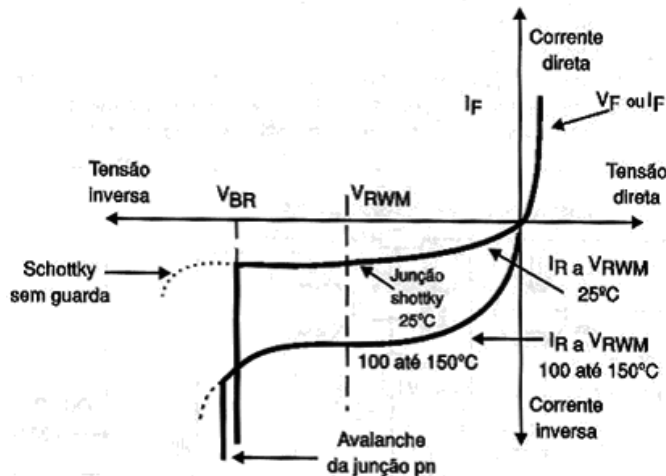


Figura 34 – Curva característica de um diodo Schottky

Áudio

Pelas suas características de começar a conduzir com tensões muito baixas, os diodos Schottky têm sido usados em equipamentos de áudio, reduzindo assim sua distorção e ruído.

• **Tunnel**

O diodo tunnel possui características de resistência negativa que permitem sua utilização em circuitos semelhantes aos osciladores de relaxação com transistores unijunção, ou lâmpadas neon. No entanto, os diodos tunnel têm algo mais: podem oscilar em frequências superiores a 1 Gigahertz, o que os torna especialmente indicados para circuitos de altíssima frequência.

Se bem que os diodos tunnel não sejam componentes comuns, a possibilidade de se utilizar estes componentes em projetos pode ser interessante, quando a exigência principal for simplicidade em circuitos de frequências muito altas.

Na figura 35 temos o símbolo comumente adotado para representar o diodo tunnel.



Figura 35 – Símbolo do diodo tunnel

Suas propriedades de resistência negativa vem da utilização de uma camada de depleção ultra fina na junção, que dota o componente de características de resistência negativa.

O nome do componente vem do fato de que, diferentemente dos demais semicondutores, em que a resistência da barreira de potência depende, até certo valor, da tensão aplicada, existe um ponto em que esses portadores encontram como que um túnel, por onde podem passar com facilidade, resultando assim numa curva característica que é mostrada na figura 36.

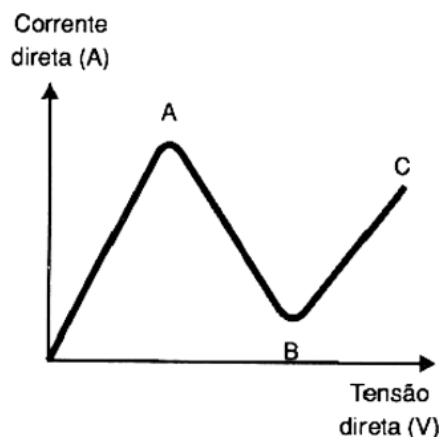


Figura 36 – Curva característica do diodo tunnel

Assim, quando aplicamos uma tensão no sentido direto o componente se comporta como um diodo comum, até o instante em que ela atinge o ponto A. Este ponto ocorre com algumas dezenas de milivolts para os diodos tunnel comuns e é denominado “ponto de pico”.

No entanto, a partir deste ponto quando a tensão aumenta, em lugar da corrente também aumentar ela diminui abruptamente até o denominado ponto de vale mostrado em B.

Neste trecho temos então um comportamento “anormal” para o componente que passa a apresentar uma resistência negativa.

Lembramos que a resistência no gráfico em questão é a cotangente do ângulo que a curva característica apresenta no ponto visado e neste caso, temos valores negativos para o trecho entre A e B.

A partir do ponto B, o aumento da tensão novamente causa o aumento da corrente, quando então o componente passa a apresentar um comportamento semelhante aos demais componentes eletrônicos.

O importante da característica de resistência negativa que este componente apresenta e que ela é semelhante a dos transistores uni-junção, e da própria lâmpada neon, e com isso o diodo tunnel pode ser usado em osciladores de relaxação e até mesmo amplificar sinais.

Como a ação do diodo tunnel é extremamente rápida, o que não ocorre com as lâmpadas neon e transistores unijunção, cuja velocidade de operação limita sua aplicação a circuitos de no máximo algumas dezenas de quilohertz, os diodos tunnel podem ser usados em circuitos de altíssima frequência, superando facilmente os 1 000 MHz ou 1 GHz.

Termos em Inglês

Os termos em inglês desta lição são importante e alguns até discutidos nos próprios itens como, por exemplo, forward e reverse. para a polarização deste componentes. Outros termos:

Light emitting diodes – diodos emissores de luz

Peak- pico

Potential barrier – barreira de potencial

Light amplification by stimulated emission of radiation – amplificação de luz por emissão estimulada de radiação – LASER

Deplexion- deplexão

Temas Para Pesquisa

- Barreira de potencial
- Diodos especiais
- Ruptura inversa
- Materiais semicondutores
- Galena
- LASER
- Ligações atômicas



» Fontes de Alimentação

» Circuitos com Diodo

No capítulo anterior, estudamos os materiais semicondutores quando vimos que a junção única entre materiais do tipo P e N resultava num importante dispositivo eletrônico: o diodo. Vimos também que, com a evolução da eletrônica, diversos dispositivos, baseados na mesma junção, foram criados, como o diodo zener e os emissores de luz ou LEDs. Neste capítulo vamos um pouco além. Reunindo os conhecimentos que adquirimos sobre os diversos componentes, como os transformadores, capacitores e os próprios diodos, chegaremos a um importante circuito. Este circuito, que é o da fonte de alimentação, faz parte de muitos equipamentos eletrônicos comuns e de uso profissional sendo, portanto, fundamental seu conhecimento. Além disso, também veremos algumas outras aplicações práticas importantes para os diodos semicondutores. Neste capítulo apresentamos então os seguintes itens:

- 2.1 – A fonte de alimentação
- 2.2 - Transformador e sua função
- 2.3 - Retificação
- 2.4 - Filtragem
- 2.5 - Regulagem
- 2.6 - Circuitos com diodos
- 2.7 – Multiplicadores de tensão

2.1 -A Fonte de alimentação

A maioria dos circuitos eletrônicos dos equipamentos de uso doméstico (aparelhos de som, televisores, etc.), automação, instrumentos, etc. funciona com corrente contínua que, conforme vimos, é caracterizada pelo sentido único de circulação, além de ter uma intensidade constante.

Nos aparelhos portáteis e de uso em automóveis, a energia necessária para o funcionamento, na forma de corrente contínua, pode ser obtida diretamente a partir de pilhas ou bateria.

Conversores AC-DC

As fontes de alimentação usadas em muitos aparelhos, como os carregadores de celulares, os eliminadores de pilhas, que substituem as pilhas sendo ligadas à rede de energia, também são chamadas de “conversores AC-DC” ou “adaptadores AC-DC”, no sentido de que convertem corrente alternada em corrente contínua. Na figura abaixo, um conversor AC-DC.



Um conversor AC-DC

As pilhas, de diversos tamanhos, podem ser associadas no sentido de se obter uma tensão maior do que a que uma única pilha pode fornecer sozinha, formando assim uma “bateria”.

Estas fontes de energia, também chamadas de “fontes de alimentação”, são bastante cômodas, pelo fato de serem portáteis e, quando esgotadas, poderem ser facilmente trocadas ou mesmo recarregadas (caso das baterias de Níquel-cádmio ou das baterias Chumbo-Ácido, como as usadas nos automóveis e que podem ser vistas na figura 37).

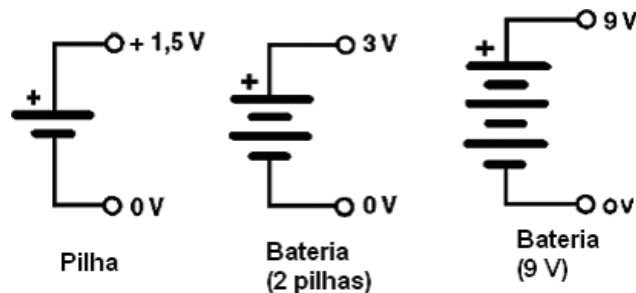


Figura 37 – Pilhas e baterias consistem em fontes de alimentação de corrente contínua

No entanto, muitos aparelhos são alimentados a partir da rede local de energia, que fornece tensões de 110 Volts (117 ou 127 V na realidade), ou de 220 Volts conforme a localidade, o que de certo modo significa uma comodidade e economia, pois a energia obtida a partir da rede local é mais barata que a energia obtida de pilhas. Mas, a energia da rede é disponível numa forma diferente, o que significa um pequeno problema que só pode ser resolvido com um circuito especial.

Na rede local de energia, ou seja, nas tomadas de energia elétrica de nossa casa, temos disponibilidade de corrente alternada (abreviada por AC ou CA), enquanto que os circuitos eletrônicos comuns, como os encontrados em rádios, televisores, amplificadores e muitos outros, precisam de correntes contínuas para funcionar.

Isso significa que, nos aparelhos que funcionam ligados na rede de energia, como os computadores, televisores, aparelhos de som, etc., os quais possuem circuitos internos que operam somente com correntes contínuas, é preciso haver algum tipo de circuito especial que converta a tensão alternada em contínua, e muito mais que isso: se na tomada temos uma tensão de 110 V ou 220 V fixos, este nem sempre é o valor de tensão que os circuitos precisam para funcionar.

No caso de muitos aparelhos comuns, por exemplo, os circuitos funcionam com tensões de 5 e 12 volts. Isso significa que este mesmo circuito especial deve também alterar o valor da tensão, de acordo com as necessidades de cada projeto.

O circuito especial que faz isso, ou seja, converte a tensão alternada em contínua e altera seu valor segundo as necessidades do aparelho alimentado recebe o nome de “Fonte de Alimentação”. Veja a figura 38.

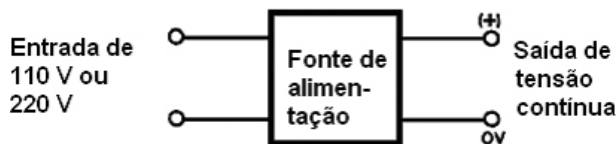


Figura 38 – Uma fonte converte 110 V ou 220 V CA em uma tensão contínua de acordo com as necessidades do circuito alimentado

As fontes de alimentação utilizam diversos componentes, os quais são agrupados em estágios ou etapas, cada conjunto ou etapa exercendo uma função. Estes conjuntos ou etapas podem ter as mais diversas configurações, segundo o que desejamos de uma fonte. Na figura 39 mostramos as 4 etapas básicas de uma fonte de alimentação.

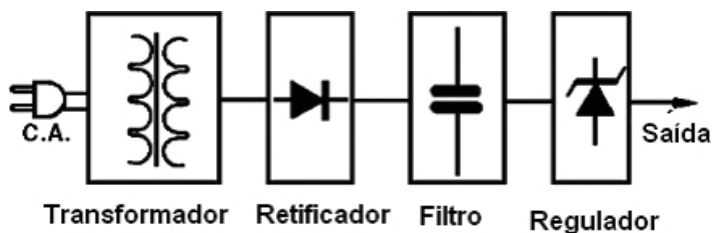


Figura 39 – Blocos de uma fonte linear

Dependendo da utilização, a fonte pode ter apenas 3 destas etapas e em alguns casos até mesmo duas. Para facilitar o leitor, estudaremos separadamente cada uma das etapas até chegar numa fonte de alimentação completa.

2.2 – O transformador e sua função

O primeiro bloco de uma fonte de alimentação, geralmente, é constituído por um componente único, que é o transformador. O transformador tem dupla função.

Conforme estudamos, ao aplicar uma tensão alternada no enrolamento primário de um transformador, obtemos em seu secundário uma tensão também alternada, mas de valor modificado segundo a relação que existe entre as espiras deste componente.

Assim, se tivermos um transformador que tenha 1 000 espiras de fio de cobre fino em seu enrolamento primário e aplicarmos 110 V, a tensão obtida no secundário será de 11 V apenas, se este enrolamento tiver 100 espiras. O fio usado, neste caso, deve ser mais grosso que o do primário porque, o que perdemos em termos de tensão, obtemos na capacidade de corrente. Se a corrente no primário for de 100 mA, a corrente máxima que obtemos no secundário será 1 ampère, conforme o leitor poderá ver clicando na figura 40.

Fontes Lineares

Este tipo de fonte que estamos estudando inicialmente, e que tem uma configuração mais simples, é denominado “linear” ou “analógica”, sendo a mais tradicional. No entanto, existem fontes mais elaboradas, com muito maior rendimento, sendo encontradas nos equipamentos mais modernos. Estas são as denominadas “fontes chaveadas”, ou “fontes comutadas”, que serão estudadas oportunamente.

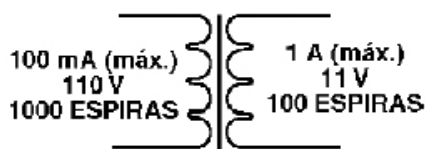


Figura 40 – O funcionamento do transformador

Um transformador, numa fonte de alimentação, pode ser usado tanto para diminuir como para aumentar a tensão, de acordo com as necessidades do projeto.

Veja, entretanto, que no secundário do transformador ainda obtemos uma tensão alternada, o que não serve para alimentar os circuitos. Desta forma, para alimentar circuitos eletrônicos a partir da rede local, ao contrário do que muitos pensam, não se usa somente um transformador. É preciso algo mais que veremos mais além.

Um fator importante, que deve ser observado no uso de um transformador ligado na rede local de alimentação, é a fase da tensão que obtemos. Conforme estudamos, uma corrente alternada se caracteriza por variações entre máximos e mínimos, que são representadas por uma curva denominada senóide, conforme o leitor pode ver clicando na figura 41.



Figura 41 – A tensão alternada da rede de energia

Conforme podemos ver, temos instantes em que a corrente circula num sentido (semiciclos positivos), e instantes em que a corrente circula no sentido oposto (semiciclos negativos). Quando ligamos um transformador na rede local de CA, a tensão alternada que obtemos no enrolamento secundário, acompanha as variações do primário, ou seja está em fase com o primário, conforme mostra a figura 42.

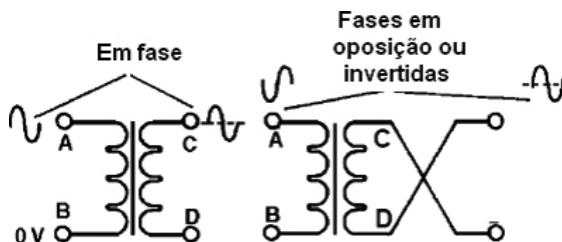


Figura 42 – Fase das correntes num transformador

Isso significa que, quando temos a aplicação de uma tensão positiva no terminal A em relação a B, ou seja, nos semiciclos positivos, no secundário do transformador, C está positivo em relação a D. Temos então um semiciclo positivo no secundário. Quando a polaridade se inverte no primário, o mesmo ocorre no secundário.

Existem aplicações em que é interessante também termos uma tensão alternada que não esteja em fase com o primário, ou seja, quando o terminal A do primário está positivo, o terminal correspondente do secundário estará negativo, ou com a FASE INVERTIDA.

Esta inversão de fase pode ser conseguida com um transformador que tenha um enrolamento duplo, ou seja, dotado de uma tomada central, conforme o leitor pode ver clicando mostra a figura 43.

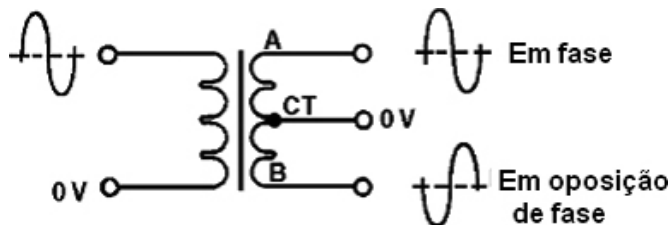


Figura 43 – As fases num transformador com tomada central

Veja então que, tomando como referência a tomada central (também, abreviada por CT = center tap), enquanto o terminal “de cima” está na mesma fase do primário, o terminal “de baixo” está com a fase invertida. No caso dos transformadores usados em fontes de alimentação, este fato tem uma utilidade que será melhor entendida mais adiante.

Outra utilidade do transformador numa fonte de alimentação está no fato do primário ser isolado do secundário. Os enrolamentos de um transformador comum não mantém contato elétrico entre si, já que a transferência de energia se faz através de um campo magnético. Isso significa que, usando um transformador numa fonte de alimentação, mesmo que não seja preciso diminuir ou aumentar a tensão, temos um fator de segurança importante. Tocando em qualquer ponto do circuito, como em relação à terra não existe percurso para a corrente, não há perigo de choque (figura 44).

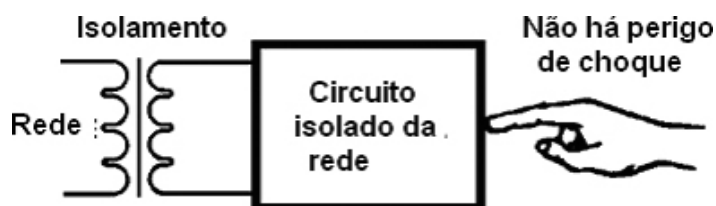


Figura 44 – Um transformador proporciona isolamento

Lembramos que existem fontes que usam os chamados “auto-transformadores”, onde parte de um enrolamento é usado tanto no primário como no secundário, caso em que não existe o isolamento

Onde Encontramos Transformadores

Os transformadores também são o elemento básico de dispositivos importantes, para o bom funcionamento de aparelhos sensíveis a variações de tensão. Citamos nesse caso os estabilizadores de tensão. Como a tensão da rede de energia pode sofrer variações e, com isso, sair fora dos valores exigidos para um bom funcionamento desses aparelhos, são usados dispositivos denominados “estabilizadores ou reguladores de tensão” que possuem por base um transformador. Observe que a finalidade destes dispositivos é simplesmente alterar o valor da tensão alternada disponível. Em outras palavras, no estabilizador entra uma tensão alternada fora do valor exigido pelo equipamento, e sai também uma tensão alternada de 110 V ou 220 V, conforme o exigido pelo mesmo aparelho para um funcionamento normal.



Um estabilizador de tensão

e, portanto, este “fator de segurança”. Veja que os auto-transformadores podem ser usados tanto para aumentar como diminuir as tensões da rede. Em alguns aparelhos “econômicos” o transformador, por ser elemento pesado e caro, é eliminado. Nas fontes sem transformadores existem limitações importantes, de modo que seu uso não é possível, senão em alguns poucos casos.

Os transformadores usados em fontes são normalmente chamados de “transformadores de alimentação”, “transformadores de força”, ou simplesmente “transformadores para fontes”. Os transformadores usados nas fontes são especificados de acordo com a tensão que fornecem em seu secundário, a corrente e, eventualmente, a existência ou não da tomada central.

Depois do transformador, uma fonte de alimentação apresenta uma etapa de retificação que passamos a estudar no próximo item.

2.3 – Retificação

Uma corrente contínua se caracteriza pelo sentido único de circulação. Ora, conforme estudamos na lição anterior, há um componente que deixa a corrente circular num único sentido, o que nos sugere que ele poderia ser usado para se obter correntes contínuas: o diodo.

De fato, um diodo semicondutor pode ser usado numa fonte de corrente contínua. Com ele, podemos obter tensões contínuas a partir de tensões alternadas, se bem que ainda não totalmente puras, ligando-o inicialmente conforme o leitor poderá ver na figura 45.

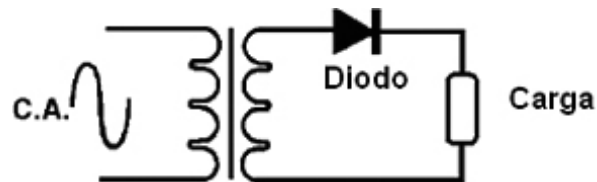


Figura 45 – Usando um diodo como retificador

Neste circuito, nos semiciclos positivos da tensão alternada no secundário do transformador, o diodo é polarizado no sentido direto, de modo a apresentar baixa resistência e deixar a corrente passar. No entanto, nos semiciclos negativos, o diodo é polarizado no sentido inverso e nenhuma corrente pode passar, conforme mostra a figura 46.

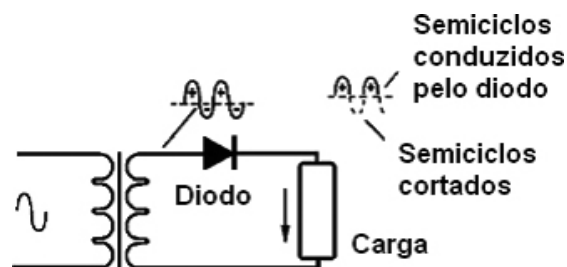


Figura 46 – Conduzindo apenas os semiciclos positivos

Veja então que, somente passa corrente nos semiciclos positivos, ou corrente num único sentido. Esta corrente, se bem que circule num sentido único, não é uma corrente contínua pura. Ela é formada por “pulsos” que aparecem somente nos instantes em que o diodo está polarizado no sentido direto. Dizemos que se trata de uma “corrente contínua pulsante”. Se invertermos o diodo, conforme o leitor poderá ver na figura 47, teremos a passagem de corrente somente nos semiciclos negativos e ainda uma corrente pulsante, mas de sentido ou polaridade invertida.

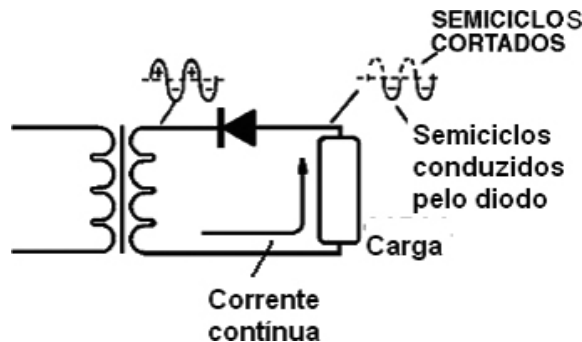


Figura 47 – Deixando passar os semiciclos negativos

Como apenas metade dos semiciclos da corrente alternada é conduzida neste processo, dizemos que se trata de um processo de retificação de “meia onda”.

Evidentemente, teríamos uma eficiência maior nesta chamada retificação ou “transformação de corrente alternada em contínua”, se pudéssemos aproveitar os dois semiciclos. Isso é possível se utilizarmos um transformador com uma tomada central e dois diodos, ligado conforme o leitor poderá ver na figura 48.

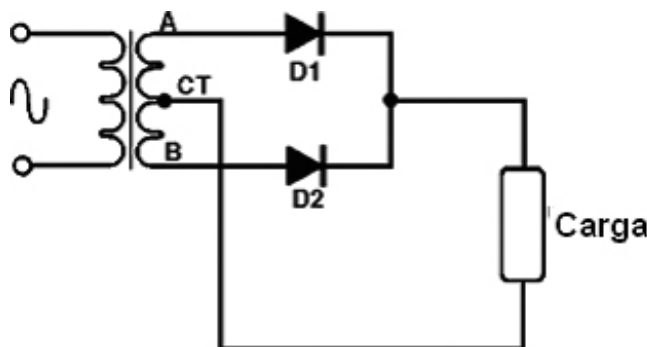


Figura 48 – Usando dois diodos

Quando o terminal A do transformador está positivo em relação ao CT, nos semiciclos positivos, o terminal B, ao mesmo tempo está negativo em relação ao CT. Desta forma, enquanto nos semiciclos positivos de entrada, o diodo D1 é polarizado no sentido direto, o diodo D2 estará polarizado no sentido inverso. Conduz então o diodo D1, conforme podemos ver na figura 49.

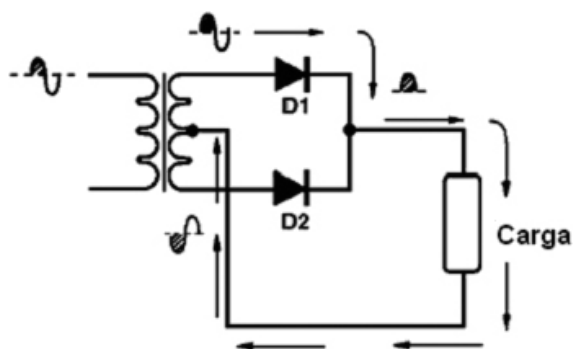


Figura 49 – Condução nos semiciclos positivos

No semiciclo negativo da tensão de entrada, as coisas se invertem. Enquanto A estará negativo em relação a CT, B estará positivo, de modo que D1 estará polarizado inversamente e D2 diretamente. Conduz D2, conforme mostra a figura 50, e a carga recebe sua alimentação.

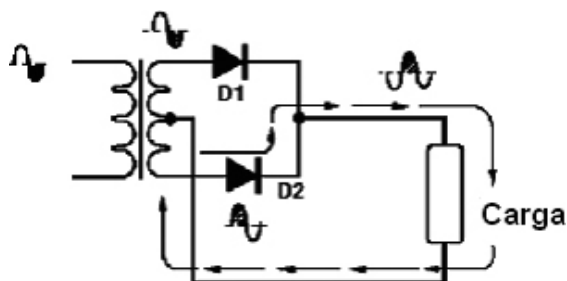


Figura 50 – Condução nos semiciclos negativos

Em outras palavras, neste processo de retificação a onda toda é aproveitada, sendo por isso denominado de “retificação de onda completa”. Veja que o transformador permite que o semiciclo negativo seja “invertido” para também ser aproveitado.

É claro que este processo de retificação apresenta uma eficiência que é o dobro do anterior, tendo por isso muitas vantagens de utilização.

Veja, entretanto, que ainda temos uma corrente contínua pulsante na carga, se bem que ela tenha variações “menores” que no caso anterior.

Uma maneira de se obter uma retificação de onda completa com o uso de um transformador comum, ou seja, com secundário simples, sem tomada central é possível com o uso de 4 diodos, ou seja, de uma ponte de diodos, conforme mostrado na figura 51.

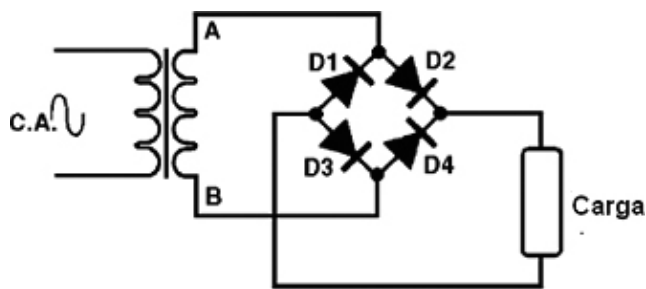


Figura 51 – Usando uma ponte de diodos (Ponte de Graetz)

Vejam como funciona este sistema denominado “retificação em ponte”: Nos semiciclos positivos, o terminal A do transformador está positivo em relação ao terminal B. Desta forma os diodos D2 e D3 estão polarizados no sentido direto, conduzindo a corrente poderá ser visto na figura 52.

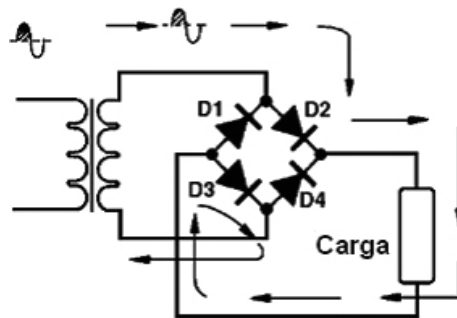


Figura 52 – A condução da ponte nos semiciclos positivos

Nos semiciclos negativos, ficam polarizados no sentido direto os diodos D1 e D4 que então conduzem a corrente conforme mostra a figura 53.

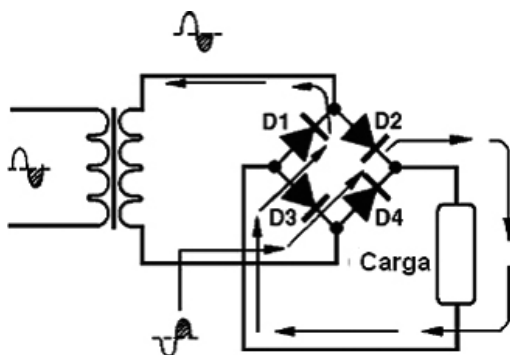


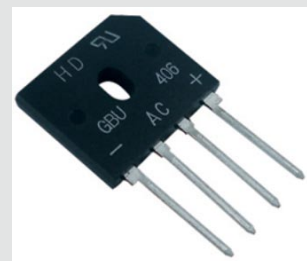
Figura 53 – Corrente nos semiciclos negativos

É importante notar que neste sistema, a corrente em cada semiciclo passa por dois diodos, em lugar de um só, como nos outros. Isso significa que temos uma queda de tensão maior no sistema de retificação.

Assim, enquanto no sistema de onda completa “perdemos” apenas 0,6 V no diodo de silício, neste sistema “perdemos” 1,2 V. É claro

Ponte de Graetz

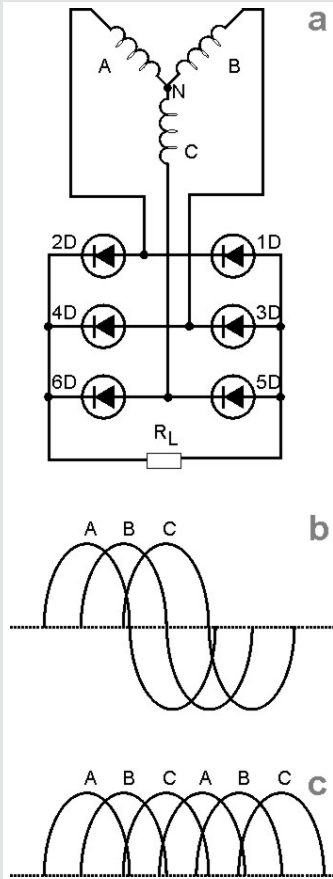
Podem ser obtidos componentes que contém os 4 diodos ligados na forma de onda, facilitando seu uso em fontes, como o da figura abaixo.



Ponte de Diodos (Graetz)

Fontes Trifásicas

O que vimos também vale para as fontes trifásicas, com a diferença de que são usados 6 diodos, num circuito como o da figura abaixo.



Retificação trifásica – em (a) temos o circuito, em (b) a forma da tensão de entrada e em (c) a tensão na carga

que as vantagens deste sistema podem ser compensadas simplesmente com a utilização de um transformador que tenha uma tensão de secundário um pouco maior.

Veja o leitor que, em todos estes sistemas não temos uma tensão contínua pura, mas sim formada por pulsos que têm a mesma frequência da rede, no caso da retificação de meia onda (60 por segundo no Brasil), ou o dobro no caso dos sistemas de retificação por onda completa (120 por segundo no Brasil).

Para termos uma corrente contínua pura, precisamos de um circuito de filtragem que é o que passamos a estudar em seguida. Veja também que o valor máximo atingido pela tensão em cada semiciclo é o valor de pico da tensão alternada aplicada ao retificador.

2.4 – Filtragem

A filtragem da corrente contínua pulsante pode ser realizada de diversas formas. A mais simples é a obtida com a utilização de um capacitor ligado conforme mostra a figura 54.

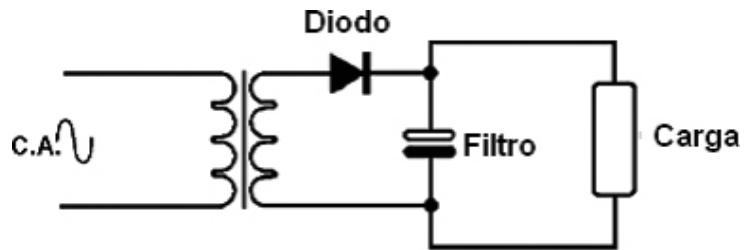


Figura 54- Usando um capacitor de filtro

Normalmente, para termos uma boa filtragem, usamos um capacitor eletrolítico de grande valor que vai funcionar como uma espécie de reservatório de energia, conforme segue.

Nos semiciclos em que o diodo conduz, o capacitor se carrega com a tensão máxima da rede, ou seja, a tensão de pico do secundário do transformador. Se ele for especificado para fornecer uma tensão de 12 Volts, este valor corresponde a um valor “rms”. O valor de pico é obtido multiplicando-se 12 por 1,41 (raiz quadrada de dois). Isso significa que o valor de pico da tensão deste semiciclo é de $12 \times 1,41 = 16,92$ Volts. É com esta tensão que o capacitor se carrega em cada semiciclo conduzido, conforme o leitor poderá ver na figura 55.

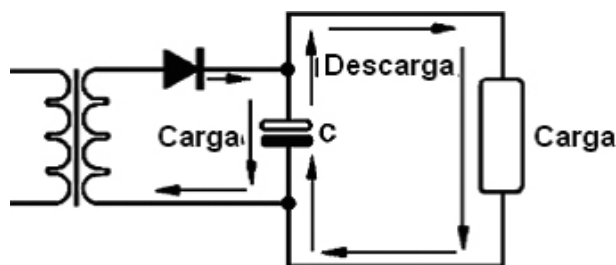


Figura 55 – A ação do capacitor de filtro

Veja que não obtemos necessariamente uma tensão contínua de 12 V, se usarmos numa fonte um transformador com secundário de 12 V, mas, em princípio, muito mais! Essa tensão será a de pico da rede, quando o capacitor estiver completamente carregado.

Na prática, entretanto, a tensão não atinge o máximo, pois a fonte precisa fornecer uma corrente a um circuito externo. Assim, nos intervalos entre os semiciclos, quando a tensão no diodo “cai”, e ele é mesmo polarizado no sentido inverso, o capacitor se encarrega de fornecer tensão para o circuito alimentado, não a deixando cair, ou deixando muito pouco.

Desta forma, a tensão aplicada ao circuito alimentado e, conseqüentemente, a corrente, variam muito pouco. Esta variação ou queda no circuito de carga será tanto menor quanto maior for o capacitor usado, conforme o leitor poderá ver na figura 56, pois ele pode fornecer energia por mais tempo a esse circuito externo.

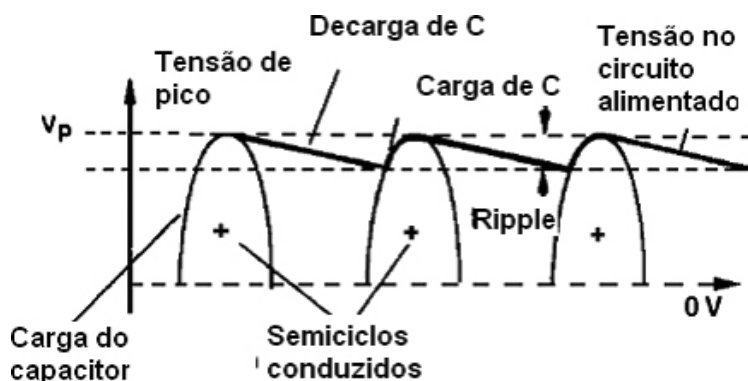


Figura 56 – Tensão na carga, com a presença do capacitor de filtro

Evidentemente, com uma variação muito pequena, já obtemos algo que se aproxima muito de uma corrente contínua pura ou filtrada. A pequena variação que ocorre entre os semiciclos, é importante em muitos circuitos, pois ela pode se traduzir em roncos, tanto no caso de receptores de rádio, amplificadores, como transmissores, e em televisores pode fazer “ondular” uma imagem.

Esta variação é denominada “ripple” (ondulação em inglês), devendo ser a menor possível numa boa fonte. Normalmente ela é especificada em termos de milésimos de volt.

Uma “regrinha” prática para o projetista de uma fonte permite escolher o valor ideal do capacitor de filtro usado. Normalmente, usamos 1 000 μF de capacitância para cada 1 ampère de corrente que precisamos, isso entre 3 V a 15 V de saída. Esse valor é dado para que o ripple se mantenha dentro de níveis aceitáveis para a maioria das aplicações.

Entretanto, existem cálculos mais precisos que permitem determinar o valor mínimo de um capacitor de filtro de uma fonte em função da amplitude do ripple, ou seja, de quantos volts deve ser o ripple aceito na aplicação.

Importância da Boa Filtragem

Há uma boa quantidade de equipamentos eletrônicos de uso comum sensível a uma filtragem deficiente. Em especial, temos todos os aparelhos que trabalham com sons como rádios, sistemas de som, transmissores, intercomunicadores, televisores, etc. O que ocorre é que o ripple excessivo de uma fonte aparece no alto-falante, ou fone do equipamento, na forma de um ronco. Assim, deve-se tomar muito cuidado com o projeto de tais equipamentos, dotando-os de filtragens eficientes e de recursos adicionais como reguladores que, conforme veremos, possuem recursos para rejeitar o ripple, melhorando assim a qualidade da corrente contínua de sua saída.

Veja o leitor que a tensão que aparece no circuito externo alimentado ou carga depende da corrente que ele consome. Se esta corrente for muito baixa, e o capacitor for suficientemente grande, há tempo para ele se carregar com a tensão de pico e entre os semiciclos sua descarga é praticamente nula. Temos então a aplicação na carga, ou na saída da fonte, uma tensão igual a do secundário do transformador multiplicada por 1,41. Um transformador de 12 Volts resulta numa saída de ordem de 16 V, conforme mostra a figura 57.

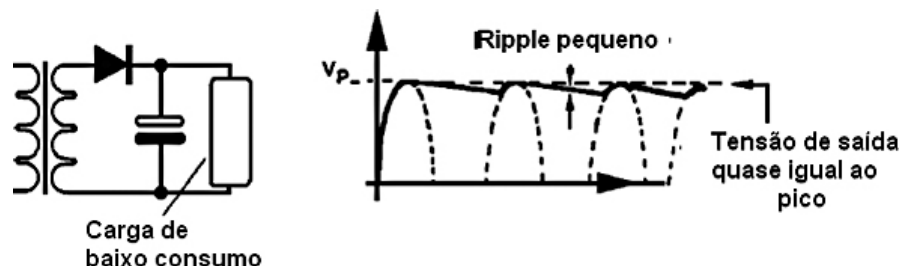


Figura 57 – Filtragem com carga de baixo consumo

Se a corrente for elevada, a descarga parcial do capacitor entre os semiciclos faz com que a tensão média caia, e tenhamos na carga um valor menor, conforme o leitor verá ao clicar na figura 58.

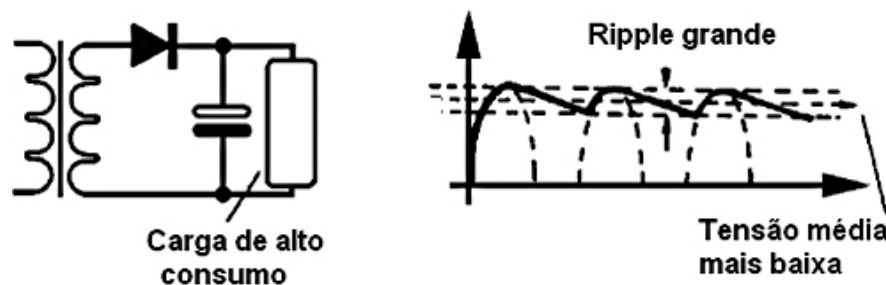


Figura 58 – Filtragem com carga de alto consumo

O fato do capacitor se carregar com a tensão de pico é muito importante na escolha deste componente. A tensão de trabalho de um capacitor de filtro não é a tensão do transformador, nem a de pico, mas um valor maior. Assim, para um transformador de 12 V, levando em conta os 16,9 V de pico, chegamos a um valor seguro de tensão de trabalho para o capacitor de 25 V.

O filtro que estudamos é o mais simples, pois emprega apenas um capacitor. Podemos melhorar a filtragem de uma fonte agregando outros componentes, como indutores e resistores.

Na figura 59 temos alguns filtros mais elaborados que são encontrados em muitas fontes de alimentação.

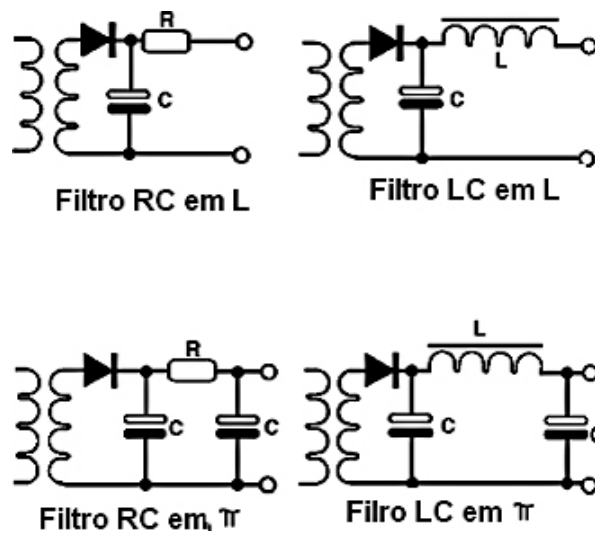


Figura 59 – Outros tipos de filtros

Cálculo de Filtros

Nos projetos de fontes de alimentação são empregados procedimentos de cálculos bastante complexos, que fogem à finalidade deste nosso curso. Os leitores que desejarem se aprofundar no assunto, antes devem se assegurar que possuem um bom domínio da matemática, e somente então fazer um curso de projetos.

2.4.1-Fator de Ripple

O fator de ripple (γ), ou ondulação, é definido como a relação entre o valor RMS da tensão de saída e o valor DC da tensão de saída vezes 100. A fórmula seguinte expressa esta definição e é utilizada para calcular o fator de ripple.

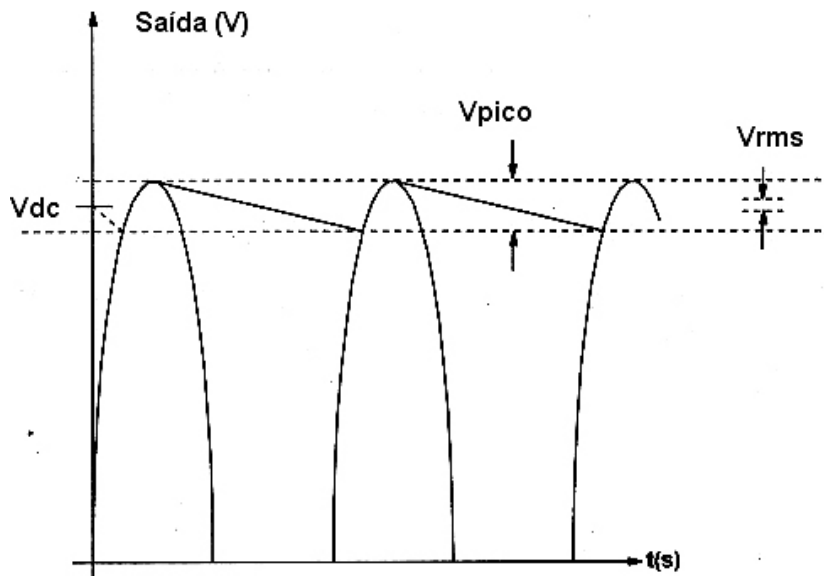


Figura 60

Fórmula f2.1

Fator de ripple:

$$\gamma = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \times 100$$

Onde: γ é o fator de ripple

V_{rms} é o valor rms da tensão de saída em volts (V)

V_{dc} é o valor médio da tensão de saída em volts (V)

Carga Resistiva

a) Retificador de meia onda = 120%

b) Retificador de onda completa = 48%

TABELA

Características dos retificadores (usando cargas resistivas)

Parâmetro	Meia onda	Onda completa (transformador com tomada central)	Onda Completa (Ponte)
V_{dc} na carga	V_{max}/π	$(2 \times V_{max})/\pi$	$(2 \times V_{max})/\pi$
V_{rms} na carga	$V_{max}/2$	$V_{max}/\text{raiz}(2)$	$V_{max}/\text{raiz}(2)$
Tensão inversa nos diodos $V_r = (\text{max})$	V_{max}	$2 \times V_{max}$	V_{max}
Fator de ripple (γ)	120%	48%	48%
Fator de armazenamento no transformador referenciado à potência de saída na carga	$3.49 \times P_{dc}$ (primário e secundário)	$1.75 \times P_{dc}$ (secundário) $1.23 \times P_{dc}$ (primário) $1.23 \times P_{dc}$ (primário e secundário)	$P_{dc} = \text{potência de saída em watts (W)}$

2.5 – Regulagem

Se a tensão de saída de uma fonte, com os componentes que vimos até agora, varia de acordo com a corrente na carga, o que não é conveniente em muitas aplicações, um circuito adicional de regulagem deve ser usado. A finalidade deste circuito é manter a tensão estável, mesmo que a corrente exigida pela carga varie.

Isso é importante em aparelhos eletrônicos sensíveis, desde os mais simples até outros mais complexos, onde a potência aplicada ao alto-falante varia conforme o som reproduzido e, isso se traduz numa variação da tensão da fonte. Se não houver regulagem nestes circuitos, não só podem ocorrer sobrecargas como também distorções.

O modo mais simples de se fazer uma regulagem de tensão tem por base um componente que conhecemos na lição anterior: o diodo zener.

Conforme estudamos, este componente se caracteriza por manter constante a tensão entre seus terminais, mesmo quando a tensão aplicada varia. Assim, para termos uma fonte regulada simples, devemos fazer a ligação do diodo zener conforme o leitor verá na figura 61.

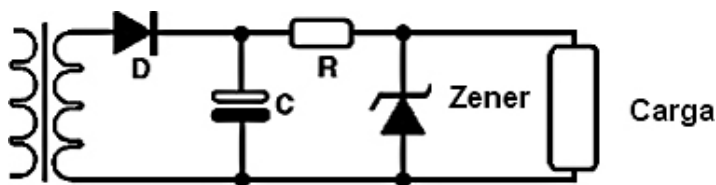


Figura 61 – Regulagem simples com diodo zener

O cálculo do resistor é feito segundo a tensão e a corrente do circuito de carga, e a corrente máxima suportada pelo diodo zener.

2.5.1 – Calculando um Circuito de Regulagem com Diodo Zener

As fórmulas seguintes são usadas para calcular os componentes de um regulador de tensão com diodo zener, como o mostrado na figura 62.

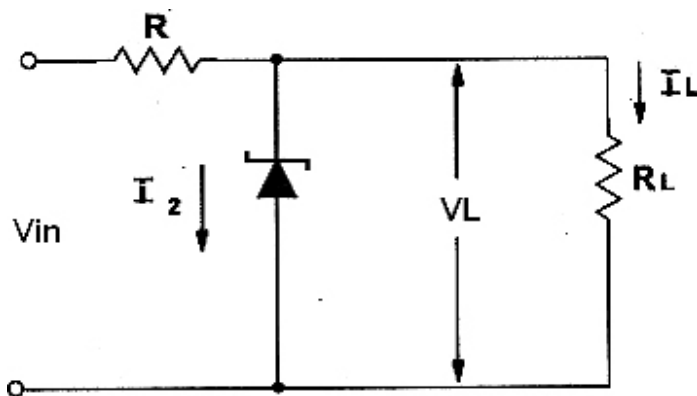


Figura 62 – Circuito para exemplo de cálculo

Fórmulas f2,2

Correntes máxima e mínima através de um diodo zener:

$$I_z(\text{max}) = \frac{V_{in(\text{max})} - (V_L + R \times I_L)}{R}$$

$$I_z(\text{min}) = \frac{V_{in(\text{min})} - (V_L + R \times I_L)}{R}$$

Onde : $I_z(\text{max})$ é a corrente máxima através do zener em ampères (A)

$I_z(\text{min})$ é a corrente mínima através do zener em ampères (A)

$V_{in(\text{min})}$ é a tensão mínima de entrada em volts (V)

$V_{in(\text{max})}$ é a tensão máxima de entrada em volts (V)

VL é a tensão de saída ou de carga em volts (V)

IL é a corrente de saída em ampères (A)

R é a resistência ohms (Ω)

Fórmulas f2.3

As fórmulas seguintes são usadas para calcular a faixa de valores de R.

$$R(\text{min}) = \frac{V_{in}(\text{max}) - V_L}{I_z(\text{max}) + I_L}$$

$$R(\text{max}) = \frac{V_{in}(\text{min}) - V_L}{I_z(\text{min}) + I_L}$$

Onde: R(min) é o valor mínimo de R em ohms (Ω)

R(max) é o valor máximo de R em ohms (Ω)

Vin(max) é a tensão máxima de entrada em volts (V)

Vin(min) é a tensão mínima de entrada em volts (V)

Iz(min) é a corrente mínima no zener em ampères (A)

Iz(max) é a corrente máxima no zener em ampères (A)

VL é a tensão na carga em volts (V)

IL é a corrente de carga em volts (V)

Formula f2.4

Corrente máxima no zener:

$$I_z(\text{max}) = \frac{P(\text{max})}{V_z}$$

Onde: Iz(max) é a corrente máxima no diodo zener em ampères

(A)

P(max) é a dissipação máxima do zener em watts (W)

Vz é a tensão zener em volts (V)

Fórmulas derivadas:

Formula f2.5

Dissipação máxima do zener:

$$P(\text{max}) = V_z \times I_z(\text{max})$$

Onde $P(\max)$ é a potência máxima dissipada pelo zener em watts (W)

V_z é a tensão zener em volts (V)

$I_z(\max)$ é a corrente máxima através do zener em ampères (A)

Exemplo de Aplicação:

Uma carga de 20 mA precisa ser alimentada por uma fonte regulada de 9 V. A faixa de tensões de entrada do regulado varia entre 12 V e 15 V e a corrente através do zener deve ser mantida entre 10 mA e 50 mA. Calcule o valor e a dissipação de R.

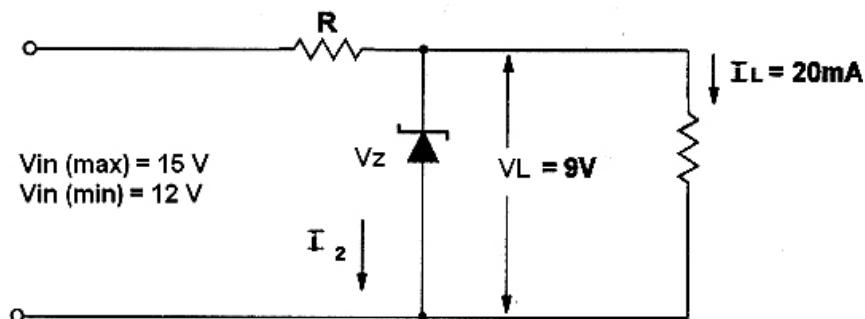


Figura 63 – Circuito para o exemplo de cálculo

Dados: $I_L = 20 \text{ mA}$

$V_L = 9 \text{ V}$

$V_{in}(\max) = 15 \text{ V}$

$V_{in}(\min) = 12 \text{ V}$

$I_z(\max) = 50 \text{ mA} = 0.05 \text{ A}$

$I_z(\min) = 10 \text{ mA} = 0.01 \text{ A}$

a) Calculando $R(\min)$ e $R(\max)$ - fórmula f2.3:

$$R(\min) = (15 - 9)/(0,05 - 0,02) = 6/0,03 = 200 \text{ ohms}$$

$$R(\max) = (12 - 9)/(0,02-0,01) = 3/0,01 = 300 \text{ ohms}$$

Podemos adotar um resistor de 220 ohms, que é valor comum mais próximo do calculado.

Determinando a potência dissipada pela fórmula f2.5.

$$P(\max) = 0.05 \times 9 = 0.45 \text{ Watt}$$

Um zener de 1 W é o recomendado para esta aplicação, com uma boa margem de segurança.

2.5.2 – Outros Componentes Reguladores

Se o diodo zener não puder sozinho regular toda a corrente que a carga exige, podem ser usados componentes adicionais que “ajudam” nesta função. Estes componentes adicionais serão estudados em lições posteriores, mas podemos adiantar que existem alguns muito simples, e que normalmente são ligados na saída de uma fonte, conforme o leitor constatará pela figura 64.

Reguladores Integrados

No final deste volume temos um capítulo completo que trata dos circuitos integrados reguladores de tensão, analisando seu funcionamento e dando as principais características.

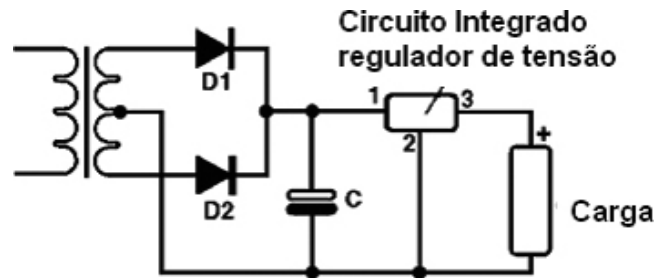


Figura 64 – Usando um circuito integrado (CI) regulador de tensão

Estes componentes, que contêm diodos zener de valores determinados, mais os componentes que podem controlar correntes elevadas, são os “circuitos integrados” reguladores de tensão. Uma série muito popular destes reguladores é a 78XX, onde XX é substituído pelo valor da tensão que ele regula.

Assim, o 7806 fornece uma saída regulada de 6 V, o 7812 uma saída de 12 V, havendo mais de 10 tipos na mesma série, todos com capacidade de regular correntes de até 1 ampère.

O único requisito para usar estes integrados é que a tensão aplicada na sua entrada seja pelo menos uns 3 V maior do que a que se deseja na saída.

2.5.3 – Fontes sem transformador

Numa fonte convencional analógica, conforme estudamos, o que temos é um transformador que abaixa a tensão da rede de energia e, ao mesmo tempo, funciona como elemento de isolamento, conforme mostra a figura 65.

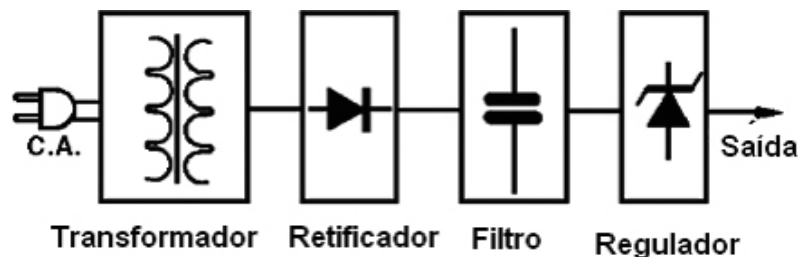


Figura 65 – Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação linear comum com transformador.

Depois desse transformador temos as etapas de retificação e filtragem, eventualmente seguidas por um circuito regulador de tensão.

O problema básico dessa arquitetura está no transformador que é um componente pesado e caro. Tanto maior e mais pesado será o transformador quanto maior for a potência exigida pelo circuito alimentado, ou seja, o produto da tensão pela corrente.

Estes transformadores são formados por pesados núcleos laminados de ferro em torno do qual são enroladas as bobinas que formam o primário e o secundário, eventualmente até mais enrolamentos.

Uma idéia inicial, para se eliminar o transformador, consiste em se fazer um divisor resistivo, de modo que a tensão da rede fique reduzida e depois disso, possa ser retificada e filtrada, conforme mostra a figura 66.

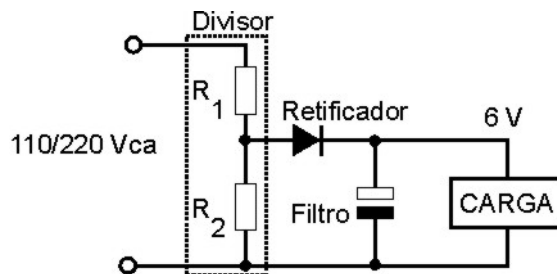


Figura 66 – Obtendo 6 V com um divisor resistivo.

No entanto, essa configuração tem vários problemas sérios. O primeiro deles, é que o resistor R_1 , normalmente por ser bem maior que R_2 , dependendo da corrente exigida pela carga, deve ter uma dissipação bastante alta. Mesmo para uma fonte de poucas dezenas de miliampères, alimentada numa rede de 110/220 V, esse resistor deve ter vários watts de dissipação. Além do tamanho que ele representa, temos o problema adicional do aquecimento e do desperdício de energia, inadmissível em nossos dias.

O outro problema é mais grave. A tensão no divisor não depende apenas da relação de valor entre os resistores que o formam, mas também do consumo da carga. Assim, quando a carga é ligada, ela representa a conexão de um resistor adicional em paralelo que consome energia e que, portanto, faz com que a tensão caia, conforme mostra a figura 67.

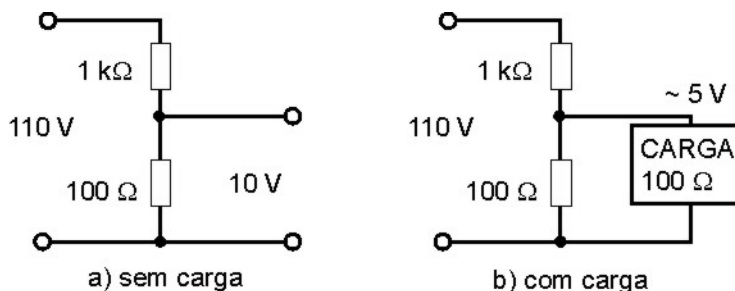


Figura 67 – A tensão cai quando a corrente de carga aumenta.

Divisor de tensão

Sugerimos consultar o volume anterior para mais detalhes sobre a ligação de resistores em série.

Uma fonte deste tipo deve então ser projetada para ter uma tensão bem mais alta e com a carga alimentada, cair para o valor desejado.

Um diodo zener ou um circuito regulador é, portanto, fundamental para esse tipo de configuração.

Uma alternativa interessante, para o lugar de R1, consiste em se aproveitar a reatância capacitiva de um capacitor. Um capacitor apresenta uma impedância (medida em ohms) que depende de seu valor, e da frequência do sinal que está sendo aplicado a ele. Podemos dizer, de uma forma mais simples, que um capacitor se comporta como um “resistor para corrente alternada”, conforme mostra a figura 68.

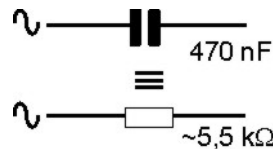


Figura 68 – Um capacitor de 470 nF comporta-se como um resistor de 5k5 ohms num circuito de corrente alternada de 60 Hz.

Essa impedância pode ser facilmente calculada pela fórmula;

$$Z_c = 2 \times \pi \times f \times C$$

Onde:

Z_c é a reatância apresentada pelo capacitor em ohms

π = constante = 3,14

f é a frequência da corrente em hertz (Hz)

C é a capacitância do capacitor em farads (F)

Veja então que podemos ligar um capacitor em série com um resistor, de modo a obter um divisor de tensão que funcionará normalmente com tensões alternadas. Qual é a vantagem dessa configuração?

A primeira está no fato de que o capacitor não dissipa potência na forma de calor, quando opera nesse divisor. Ele opera pela carga e descarga, não tendo, portanto, elementos resistivos para gerar calor.

Em outras palavras, não existe perda de energia nesse componente, o que faz com que além de não haver desperdício, ele não trabalha quente. Na prática, existe uma pequena perda, isso porque nenhum capacitor é perfeito, mas ela é muito pequena. As desvantagens existem, é claro. Uma delas está no fato de que o capacitor deve ser tanto maior quanto maior for a corrente desejada para alimentar a carga.

A corrente depende da reatância numa razão inversa. Maior a corrente, menor a reatância e menor a reatância implica em maior capacitância. A outra desvantagem está no fato de que os capacitores para essa aplicação precisam ter tensões de isolamento elevadas, e isso significa capacitores de construção especial, os quais são tanto

mais caros quanto maior for sua capacitância. Esses fatores limitam o uso dessa arquitetura à pequenas fontes, que não devam fornecer mais do que uns 100 mA sob tensões na faixa de poucos volts até perto de 30 ou 40 V.

Uma configuração básica para uma fonte desse tipo é então mostrada na figura 69.

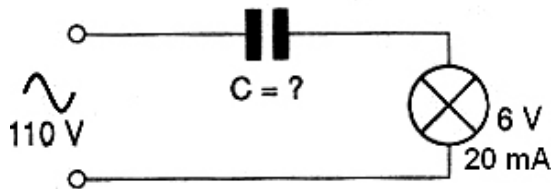


Figura 69 – Configuração básica para alimentar uma carga de corrente alternada com 6 V a partir de 110 V de entrada.

A partir dela, vamos ensinar o leitor a calcular os componentes que devem ser usados, para chegar a um projeto prático. Para isso vamos supor que desejamos alimentar uma pequena lâmpada de 6 V com uma corrente da ordem de 20 mA. Nosso primeiro passo consiste em se calcular qual é a reatância que deve apresentar o capacitor para formar um divisor conforme mostra a figura 70.

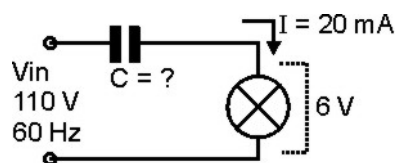


Figura 70 – Valores utilizados nos cálculos.

Nesse problema temos:

$$V = 6 \text{ V}$$

$$V_{in} = 110 \text{ V}$$

$$I = 0,02 \text{ A (20 mA)}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$C = ?$$

Começamos por determinar qual é a resistência que a carga (lâmpada) apresenta, quando alimentada por uma tensão de 6 V e é percorrida por uma corrente de 20 mA.

$$R = V/I$$

$$V = 6 \text{ V}$$

$$I = 0,02 \text{ A (20 mA)}$$

$$R = 6/0,02$$

$$R = 300 \text{ ohms}$$

A seguir, determinamos a impedância que o circuito todo deve ter quando fornecendo 0,02 A em 110 V:

$$Z = 110/0,02$$

$$Z = 5\,500 \text{ ohms}$$

A partir daí, podemos calcular a reatância capacitiva que o circuito deve apresentar, a qual é dada pela fórmula e cálculos a seguir:

$$Z_c = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$Z_c = \sqrt{(5500)^2 - (300)^2}$$

$$Z_c = \sqrt{30,25 \times 10^6 - 0,09 \times 10^6}$$

$$Z_c = \sqrt{30,16 \times 10^6}$$

$$Z_c = 5,5 \times 10^3$$

$$Z_c = 5500 \text{ ohms}$$

A reatância capacitiva do capacitor deve ser 5 500 ohms. Na rede de 110 V x 60 Hz, ela corresponde a um capacitor de:

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times Z_c}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 60 \times 5,5 \times 10^3}$$

$$C = \frac{1}{2,072 \times 10^6} \quad |$$

$$C = \frac{1}{2,072} \times 10^{-6}$$

$$C = 0,482 \times 10^{-6}$$

$$C = 0,482 \mu F = 482 nF$$

Um capacitor de 470 nF atenderá às nossas necessidades. A tensão de pico na rede de 110 V é de:

$$V_p = 110 \times 1,41 = 155,1 \text{ V}$$

Isso significa que deve ser usado um capacitor de poliéster com pelo menos 200 V de tensão de trabalho. Como a tensão nesse tipo de divisor varia conforme a corrente na carga, poderemos adicionar uma etapa reguladora, usando um diodo zener. A tensão será de 6 V e a dissipação será dada pela corrente máxima que circula pelo circuito regulador quando na ausência da carga, da ordem de 0,02 a (20 mA). Na figura 71 mostramos como agregar esse diodo.

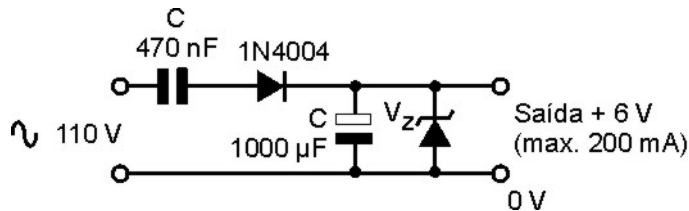


Figura 71 – Circuito final com regulagem por diodo zener para correntes até 20 mA.

Assim, nessa condição, a potência dissipada no diodo será:

$$P = 6 \times 0,02 = 0,12 \text{ W ou } 120 \text{ mW}$$

Dando uma tolerância, para que o diodo não aqueça demais, quando não houver carga a ser alimentada, podemos usar um tipo de 400 mW ou mesmo 500 mW.

2.6 - Circuitos com diodos

Podemos citar muitas outras aplicações para os diodos, além da retificação. Os diodos de pequena capacidade de corrente, por exemplo, chamados de diodos de sinal podem ser usados como “detectores de envolvente” em circuitos de rádio.

Para mostrar como isso pode ser feito, damos como exemplo um circuito muito simples de um rádio de AM, conforme mostra a figura 72.

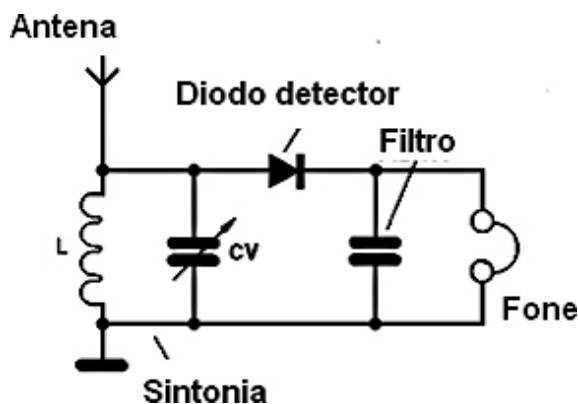


Figura 72 – Um diodo usado como detector de sinais

Fontes sem transformador consistem numa excelente alternativa para a alimentação de aparelhos de baixo consumo, a partir da rede de energia. No entanto, é preciso ter muito cuidado com o seu isolamento, pois o aparelho alimentado estará conectado diretamente à rede. Da mesma forma, as limitações do capacitor impedem que esse tipo de fonte seja usada para alimentar aparelhos que tenham consumo de mais de 100 mA tipicamente.

Rádio

Nas lições futuras deste curso, teremos mais algum detalhamento do funcionamento do rádio, mas o leitor poderá saber muito mais se acompanhar nosso Curso de Telecomunicações – Volume Radio Comunicações.

A antena capta os sinais emitidos pela estação, havendo então a indução de uma corrente de alta frequência, que deve circular em direção à terra passando pela bobina e capacitor que formam o circuito de sintonia:

Este circuito se caracteriza por impedir a passagem dos sinais de uma única frequência, ou seja, da estação sintonizada, que são desviados para o diodo. O diodo funciona como retificador de alta frequência, deixando passar apenas os semiciclos positivos do sinal, ou seja, fazendo sua detecção.

Este sinal que é composto de duas partes, uma de alta frequência, que é a “portadora”, e outra baixa, que é a “modulação”, pode ser levado a um processo de separação. O capacitor depois do diodo filtra o sinal, desviando para a terra a componente de alta frequência deixando apenas a envolvente, ou seja, a modulação. Esta modulação corresponde justamente ao som que é captado nos microfones da emissora, ou obtido de um toca-discos ou toca-fitas.

Aplicando este sinal de baixa frequência a um fone de ouvido, ou então a um amplificador, podemos ouvir os sons originais. Os primeiros receptores tinham uma estrutura bastante semelhante a esta, não usando mais do que um diodo, que naquele tempo era um cristal de galena (um sal de chumbo), não precisando de fonte de alimentação para funcionar.

Estes receptores, por este motivo, precisam captar o máximo de energia do próprio sinal, o que exige o uso de longas antenas. O fone, por outro lado, tinha de ser muito sensível e mesmo assim a escuta era difícil.

Nos receptores de rádio modernos, entre os circuitos que amplificam os sinais de altas frequências e os sinais de baixas frequências, há normalmente um diodo que faz a detecção, ou seja, corresponde a um ponto de transição do aparelho.

Até antes do diodo encontramos sinais de altas frequências, e depois do diodo passamos a ter sinais de baixas frequências ou áudio, conforme o exemplo de circuito de rádio que pode ser visto na figura 73.

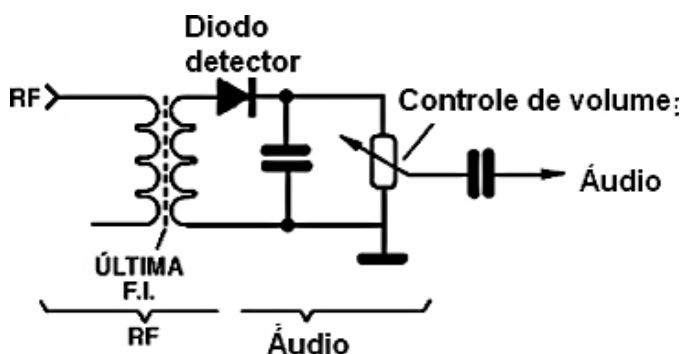


Figura 73 – Um diodo detector num receptor de rádio AM comum

Outra função importante do diodo é nos circuitos de proteção. Quando uma carga indutiva como, por exemplo, a bobina de um relé ou ainda um pequeno motor é acionada, conforme estudamos, um forte campo magnético é criado. Ao ser desligada, com a contração do campo magnético, é induzida na carga uma tensão oposta. A figura 74 mostra o que ocorre.

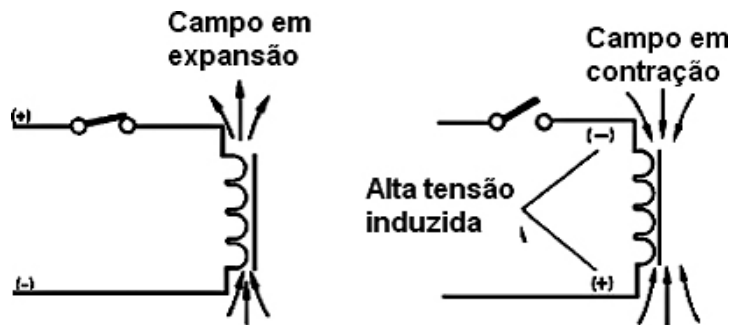


Figura 74 - Quando uma carga indutiva é desligada, uma tensão é induzida

Dependendo do tipo de carga, ou seja, de sua indutância, a tensão induzida, quando no desligamento, pode ser muitas vezes maior do que a aplicada quando o ligamos. O componente que fez acionamento pode então ser danificado com a presença desta tensão. Com a ligação de um diodo, conforme o leitor verá na figura 75, temos uma proteção contra um possível dano para o componente.

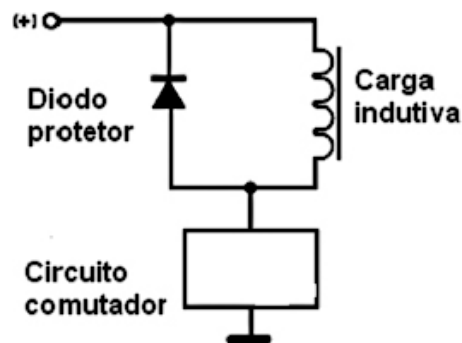


Figura 75 – Usando um diodo como protetor na comutação de cargas indutivas

O diodo é polarizado inversamente quando a carga é acionada, de modo que ele não conduz a corrente e, com isso, não influi no processo. No entanto, ele fica polarizado no sentido direto com a tensão que é induzida quando a carga indutiva é desligada, conduzindo então a corrente, evitando que ocorram danos ao componente de acionamento. O diodo absorve a energia que poderia causar danos ao circuito.

Outro tipo de proteção exercida por diodos pode ser vista se na figura 76.

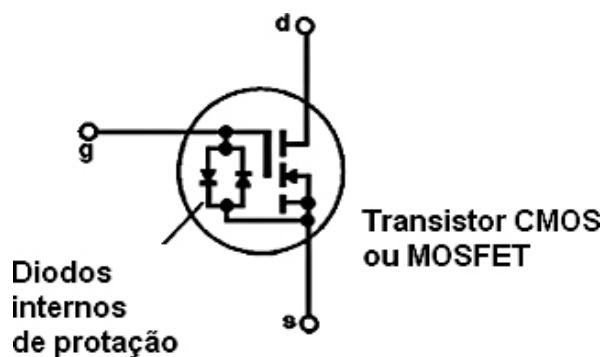


Figura 76 – diodos protegendo um componente sensível

O componente “estranho”, representado na figura, é um transistor de efeito de campo MOS (MOSFET). Trata-se de um componente extremamente delicado que estudaremos em lições futuras.

Tensões mais altas que sejam aplicadas a sua comporta (gate) podem facilmente causar sua queima, e isso ocorreria com facilidade até mesmo quando tocamos os dedos em seus terminais. A carga estática de nosso corpo é suficiente para causar a sua queima!

Para proteger este componente, é comum que o fabricante inclua no próprio projeto, ou seja, no processo de fabricação do componente dois diodos que são ligados em oposição, conforme mostra a figura 77.

Se a tensão que tender a “queimar” o componente tiver uma polaridade, é um dos diodos que fica polarizado no sentido direto, desviando-a. Se tiver a polaridade oposta, o outro diodo é polarizado e conduz a corrente, evitando danos ao componente. Estes componentes são comumente chamados de transistores de efeito de campo com comporta ou gate protegidos.

Existem muitos outros circuitos em que os diodos podem ser usados como, por exemplo, o que pode ser visto na figura 75 em que o componente é usado para evitar uma inversão accidental da bateria, que poderia causar a queima dos componentes. Se isso ocorrer, o diodo simplesmente não conduz e o circuito não recebe a alimentação.

Na Prática

Em muitos equipamentos delicados, encontramos componentes extremamente delicados como, por exemplo, os transistores de efeito de campo (que serão estudados nas lições futuras), e que precisam ser protegidos. As tensões que são induzidas quando cargas indutivas, como os motores, solenóides e relés são acionados, são perigosas para estes componentes. Assim, nesses equipamentos encontramos diversos diodos que são usados como elementos de proteção na configuração indicada. Nas lições futuras devem aparecer muitos outros exemplos de utilização dos diodos.

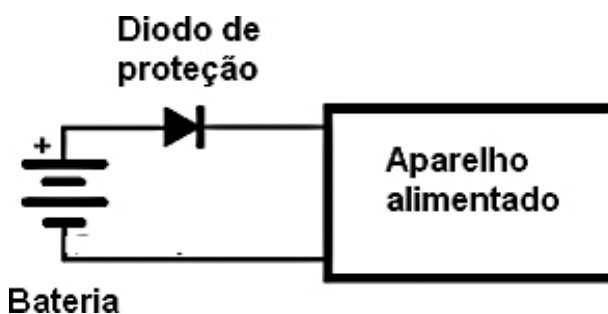


Figura 77 – Diodo como proteção contra inversão de polaridade

2.7 – Multiplicadores de tensão

Diodos e capacitores podem ser interligados em configurações capazes de fornecer em sua saída tensões que sejam o dobro, o triplo, o quádruplo e mesmo, muito mais vezes, a tensão de pico da entrada alternada.

Estas configurações, denominadas “multiplicadores de tensão”, são muito úteis, podendo ser encontradas principalmente nos monitores de vídeo do tipo antigo com cinescópios de alta tensão e em televisores, além de muitos outros aparelhos eletrônicos. Vejamos como funcionam e quais são.

2.7.1 – Dobradores de tensão

Podemos obter uma tensão de saída contínua que tenha um valor que seja o dobro da tensão de pico aplicada na entrada, utilizando três configurações básicas, mostradas na figura 78.

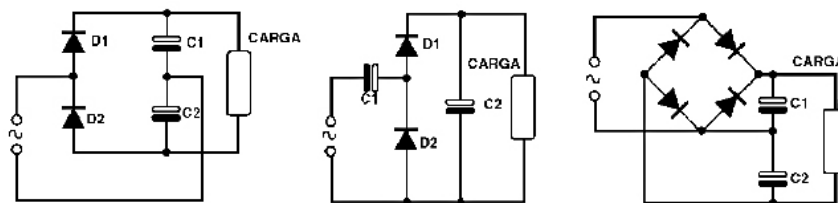


Figura 78 – Configurações de dobradores de tensão

Os funcionamentos das três configurações são semelhantes de modo que, estudando uma, será muito fácil entender as demais.

Nos semiciclos positivos carrega-se o capacitor C1, enquanto que nos negativos carrega-se o capacitor C2. Como esses capacitores estão em série com a carga, a descarga dos dois, que ocorre para um capacitor num semiciclo, e para outro, no outro semiciclo em que não se carregam, é em série o que quer dizer que suas tensões se somam.

A carga fica então com aproximadamente igual ao dobro da tensão de pico ou a tensão com que os capacitores se carregam.

2.7.2 – Triplicadores de tensão

As duas configurações, apresentadas na figura 79, fornecem uma tensão de saída que é aproximadamente o triplo do valor de pico da tensão alternada aplicada á entrada.

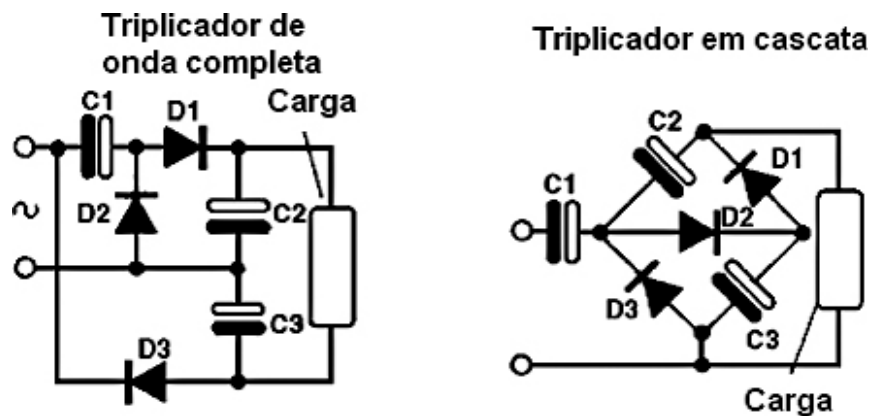


Figura 79 – Triplicadores de tensão

O funcionamento é semelhante a do dobrador, com a diferença de que os três capacitores são carregados e, como estão ligados em série, teremos o triplo da tensão na carga.

2.7.3 – Quadruplicadores de tensão

Na figura 80 temos dois circuitos de quadruplicadores de tensão.

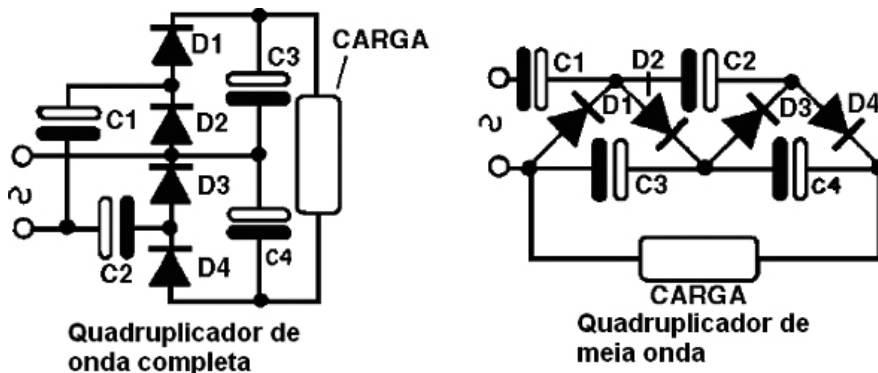


Figura 80 – Triplicadores de tensão

Os quatro capacitores estão ligados em série com a carga, descarregando-se de modo que suas tensões se somam. A carga e descarga dos capacitores ocorrem de modo alternado.

2.7.4 – Multiplicador de tensão por n

Podemos multiplicar por qualquer valor inteiro a tensão de entrada num circuito do tipo mostrado na figura 81.

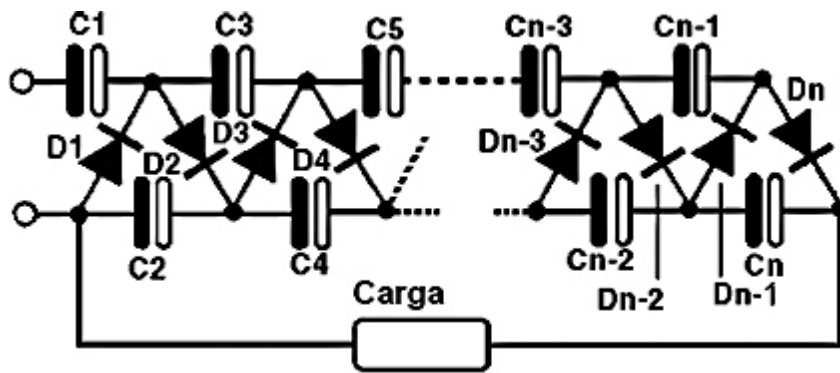


Figura 81 – Multiplicador de tensão por n

Se o circuito tiver 12 seções, teremos uma tensão de saída 12 vezes maior que o valor de pico de entrada. É preciso observar que em todos os circuitos, quando ganhamos em tensão, perdemos em corrente, já que energia não pode ser criada nem destruída.

Triplificador de tensão de TV

Televisores analógicos antigos utilizam triplicadores de tensão, como o da figura, para obter a alta tensão do cinescópio.

Termos em Inglês

Muitos termos em inglês são associados às fontes de alimentação e também aos circuitos que usam diodos. Alguns deles merecem destaque:

Ripple – ondulação

Rectifier – retificador

Filtering – filtragem

Voltage regulator – regulador de tensão

Diode – diodo

Voltage doubler – dobrador de tensão

Power supply – fonte de alimentação

Vacuum diode – diodo a vácuo (válvula)

Full wave – onda completa

Hal wave- meia onda

Bridge rectifier -retificador em ponte

Temas para pesquisa:

- Diodos de germânio e silício
- Diodos Impatt
- Diodos a vácuo
- Fontes de alimentação
- Estabilizadores de tensão
- Auto-transformadores
- Reatância capacitiva
- Fontes sem transformador

QUESTIONÁRIO

1. Com que tipo de corrente normalmente operam os circuitos dos aparelhos eletrônicos?
 - a) alternada
 - b) contínua
 - c) contínua pulsante
 - d) correntes de altas frequências

2. Qual é o componente que normalmente é usado na retificação da corrente numa fonte de alimentação?
 - a) capacitor
 - b) transformador
 - c) diodo semicondutor
 - d) transistor de efeito de campo

3. Para retificação de onda completa precisamos de quantos diodos, se dispusermos de um transformador com um único enrolamento secundário?
 - a) 1
 - b) 2
 - c) 3
 - d) 4

4. Na retificação em ponte em cada semiciclo quantos diodos conduzem a corrente?
 - a) 1
 - b) 2
 - c) 3
 - d) 4

5. Qual é o componente responsável pela filtragem numa fonte de alimentação simples?
 - a) transformador
 - b) diodo semicondutor
 - c) diodo zener
 - d) capacitor eletrolítico

6. Qual é o componente que basicamente usamos na regulagem da tensão de uma fonte de alimentação?
 - a) transformador
 - b) diodo semicondutor
 - c) diodo zener
 - d) capacitor eletrolítico

7. As variações da tensão de saída de uma fonte que ocorrem devidas à imperfeições da filtragem recebem o nome de:
 - a) tensão de pico
 - b) tensão contínua pulsante
 - c) ripple
 - d) ruído térmico



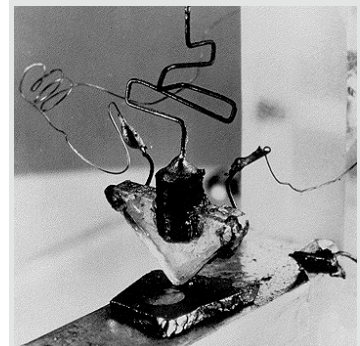
» Transistores Bipolares

Vimos nos capítulos anteriores como funcionam e como são usados dispositivos semicondutores simples, porém de grande importância na Eletrônica. O diodo é o dispositivo semicondutor mais simples, assim como alguns componentes derivados que estudamos, já que possuem uma única junção. No entanto, com o passar do tempo, novos dispositivos semicondutores mais complexos foram desenvolvidos a partir dos diodos. Um destes dispositivos, talvez o mais importante, é o que veremos nesta lição. Falamos do transistor, que possui 2 junções semicondutoras e é utilizado na maioria dos projetos eletrônicos. Sem ele, a construção da maioria dos equipamentos eletrônicos não seria possível. Realizando funções importantes, como a amplificação de sinais, a produção de sinais, o controle de diversos dispositivos como chave eletrônica no processamento de dados, o transistor está presente em todos os equipamentos eletrônicos. Conhecendo o transistor, os leitores já poderão ter uma atuação prática na Eletrônica muito mais intensa, com o entendimento um pouco mais profundo de algumas funções dos circuitos e até mesmo, de seu funcionamento, assim como a elaboração de centenas de projetos simples, como os encontrados em publicações técnicas e no site do autor deste livro. Nesta lição teremos os seguintes itens:

- 3.1- A estrutura do transistor
- 3.2 – Polarização
- 3.3 – Configurações
- 3.4 - O transistor na prática
- 3.5 - Tipos e identificação de terminais.
- 3.6 - Especificações

O primeiro transistor

O primeiro transistor foi inventado nos laboratórios da Bell no dia 16 de dezembro de 1947 por William Shockley, John Bardeen e Walter Brattain. Este transistor era do tipo “de contato de ponto” e utilizava o germânio como material semicondutor.



O primeiro transistor

Transistores em Toda Parte

Sem os transistores toda a eletrônica moderna não existiria. O que denominamos de “chip”, é na verdade a pastilha do circuito integrado contendo centenas, milhares ou mesmo milhões de transistores. O chip é o componente mais comum e mais importante de todos os equipamentos modernos, incluindo televisores, telefones celulares, computadores, etc. Isto significa que praticamente tudo que os equipamentos eletrônicos modernos fazem, em última análise, depende de transistores. Não resta dúvida então, que é de extrema importância entender o funcionamento dos transistores, para podermos chegar ao conhecimento do princípio de funcionamento de qualquer equipamento eletrônico, por mais simples ou complexo que seja.

3.1- A estrutura do transistor

A palavra transistor deriva de “transference resistor”, um dispositivo anunciado pelos pesquisadores Bardeen, Brattain e Shockley, nos Estados Unidos, nos laboratórios da Bell Telephone, em junho de 1948.

O transistor original, que era do tipo “ponto de contato”, logo foi aperfeiçoado com a elaboração de novos tipos, muitos dos quais até hoje são utilizados amplamente nas aplicações práticas.

A capacidade do transistor de amplificar sinais elétricos permitiu que em pouco tempo este dispositivo, muito menor e consumindo muito menos energia, viesse a substituir as antigas válvulas na maioria das aplicações eletrônicas, conforme o leitor poderá ver na figura 82.



Figura 82 – Válvula comparada a um transistor de uso geral

O transistor, diferentemente das válvulas, não necessita de uma corrente adicional para aquecê-lo, e é muito menor que a válvula “equivalente”.

Para entender como funciona um transistor vamos partir da análise de sua estrutura básica, conforme mostra a figura 83.

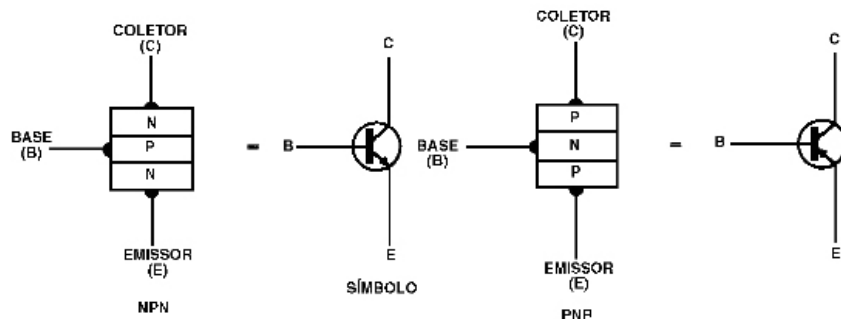


Figura 83 – Podemos elaborar duas estruturas com materiais P e N alternados

Conforme podemos ver, para obter uma estrutura equivalente a um transistor, devemos “empilhar” ou “formar” três regiões semicondutoras de polaridades alternadas, de modo que entre elas existam duas junções. As regiões semicondutoras receberão os nomes de emissor (E), base (B) e coletor (C).

Podemos obter a estrutura indicada de duas formas diferentes, o que leva a dois tipos de transistores. Podemos formar regiões na sequência N-P-N ou P-N-P. Para efeito do estudo inicial, vamos tomar como exemplo uma estrutura NPN, ou seja, um transistor NPN.

Cada uma das junções do transistor se comporta como um diodo, mas quando aplicamos tensões no dispositivo de determinada maneira, e as duas junções podem entrar em ação ao mesmo tempo, o comportamento da estrutura passa a ser um pouco mais complexo do que simplesmente dois diodos ligados juntos. Para que tenhamos a ação diferenciada destas junções, vamos partir da situação em que o transistor seja alimentado com fontes externas de determinadas polaridades e características. Em suma, para que o transistor funcione, precisamos “polarizá-lo convenientemente.

3.2 – Polarização

Polarizar um transistor é aplicar em seus terminais tensões de polaridades apropriadas que o levem às condições normais de funcionamento. Inicialmente vamos fazer uma polarização que nos permite apenas estudar o seu funcionamento. Na prática, existem diversas outras maneiras de polarizar o transistor e que estudaremos nos capítulos posteriores desta lição, e mesmo de outras.

Tomando o nosso transistor NPN como exemplo, para polarizá-lo, ligamos uma bateria de tensão maior (B2) entre o coletor e o emissor, e uma bateria de tensão menor (B1), através de um potenciômetro na sua base, conforme mostra a figura 84.

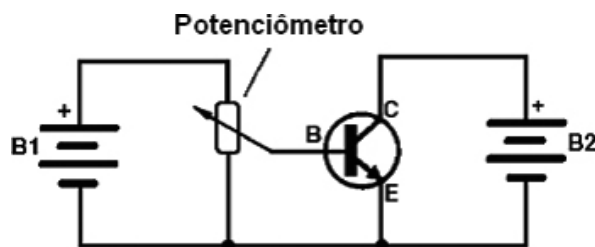


Figura 84 – Polarizando o transistor

Para que o leitor entenda como isso é feito, partimos inicialmente da condição em que o cursor do potenciômetro está todo para o lado negativo da bateria B1, ou seja, a tensão aplicada à base do transistor é 0.

Nestas condições, a junção que existe entre a base e o emissor, que seria o percurso para uma corrente da bateria B1, não tem polarização alguma e nenhuma corrente pode fluir. A corrente de base do transistor é zero.

Da mesma forma, nestas condições a corrente entre o coletor e o emissor do transistor, percurso natural para a corrente da bateria B2 é nula, conforme mostra a figura 85.

Transistores diferentes

Diversos outros materiais, além do silício e do germânio, tem sido utilizados na fabricação de transistores. Assim, já temos hoje os transistores orgânicos, baseados no carbono. Outra conquista da tecnologia são os nanotransistores, tão pequenos que podem controlar a passagem de correntes formadas por elétrons individuais. O transistor mostrado na foto é milhares de vezes menor que a espessura de um fio de cabelo.

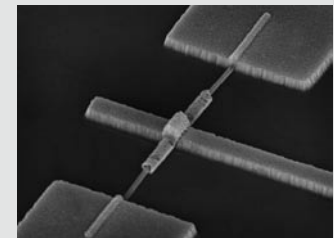


Foto de um nanotransistor feita com um microscópio eletrônico

Transistor bipolar

O transistor que estamos estudando é conhecido como “bipolar”. Com o tempo, novos tipos de transistores foram criados, com estruturas diferentes e princípios de funcionamento diferentes, mas sempre baseados nas propriedades das junções semicondutoras e dos materiais P e N. Outros tipos de transistores serão estudados nesta e nas próximas lições deste curso.

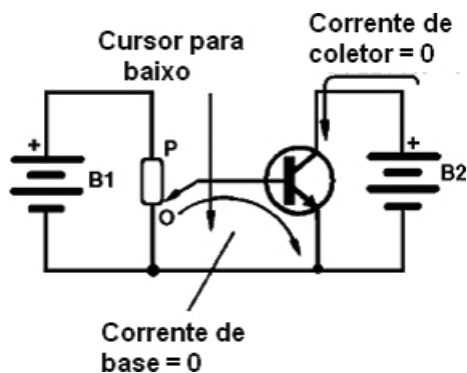


Figura 85 – Condição inicial em que a corrente de base é nula

Movimentando gradualmente o cursor do potenciômetro no sentido de aumentar a tensão aplicada à base do transistor, vemos que nada ocorre de anormal até atingirmos o ponto em que a barreira de potencial da junção emissor-base do transistor é vencida. A tensão que precisamos para iniciar a condução é a mesma que estudamos no caso dos diodos.

Precisamos de aproximadamente 0,2 V, se o transistor for feito de germânio, e de aproximadamente 0,6 V, se o transistor for de silício. Com uma tensão desta ordem, começa a circular uma pequena corrente entre a base e o emissor. Esta corrente, entretanto, tem um efeito interessante sobre o transistor: uma corrente também começa a circular entre o coletor e o emissor e esta corrente é proporcional à corrente de base, conforme mostra a figura 86.

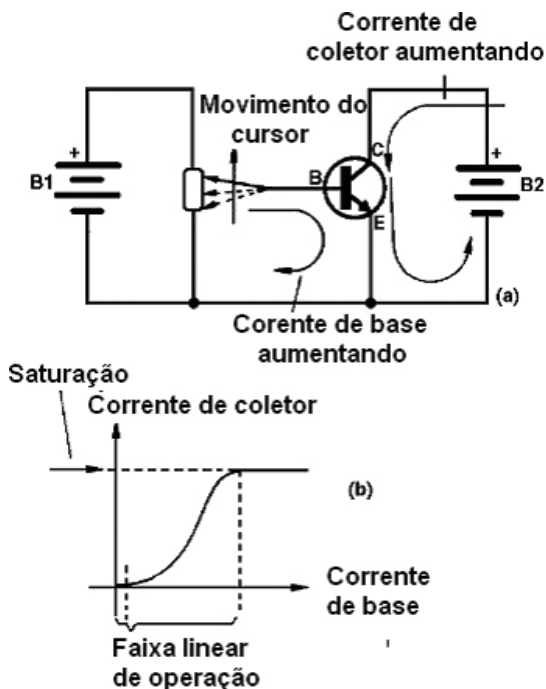


Figura 86 – Alteração da corrente de coletor pela mudança da corrente de base

À medida que movimentamos mais o potenciômetro, no sentido de aumentar a corrente de base, observamos que a corrente do coletor do transistor aumenta na mesma proporção.

Se uma corrente de base de 0,1 mA provoca uma corrente de coletor de 10 mA, dizemos que o ganho de corrente, ou fator de amplificação do transistor, é 100 vezes. A corrente de coletor é 100 vezes maior que a corrente de base. A proporcionalidade entre a corrente de base e a corrente de coletor não se mantém em toda a faixa possível de valores.

Há um ponto em que um aumento de corrente de base não provoca mais um aumento na corrente de coletor que então se estabiliza.

Dizemos que chegamos ao ponto de saturação, ou seja, o transistor “satura”. Na figura 80(b) temos um gráfico mostrando este fenômeno.

Observe então que existe um trecho linear deste gráfico, que é denominado “curva característica do transistor”, em que existe uma proporção direta entre a corrente de base e a corrente de emissor que ela provoca. Transistores comuns podem apresentar “ganhos” de corrente entre 2 e 800, dependendo do modo como são fabricados e a finalidade a que se destinam.

O que vimos nestas explicações é que a corrente contínua do coletor do transistor, na verdade, consiste numa corrente contínua aplicada à base que é amplificada.

No entanto, podemos levar um pouco adiante nosso raciocínio e analisar o que ocorre se aplicarmos uma corrente alternada à base do transistor, ou seja, um sinal que pode vir de um microfone por exemplo.

Para isso, ajustamos inicialmente o potenciômetro que polariza a base do transistor através de B1 de modo que ele aplique uma corrente que fique a meio caminho da saturação, conforme poderemos na figura 87.

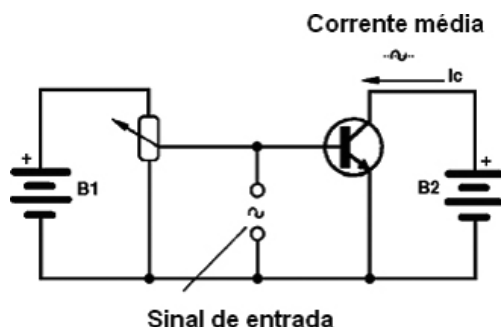


Figura 87- Ajustando a polarização para um ponto intermediário entre o corte e a saturação

Aplicando então um sinal senoidal na base do transistor, ele provocará variações desta corrente, no sentido de aumentá-la e diminuí-la em torno do valor previamente fixado. O resultado é que a cor-

Operação do transistor
Dependendo da aplicação, conforme veremos, o transistor pode operar tanto na região linear como na região de saturação.

rente obtida no coletor, também vai variar acompanhando a corrente de base, mas numa proporção muito maior, pois o transistor “amplifica” a corrente. Teremos então uma amplificação do sinal conforme é possível observar na figura 88.

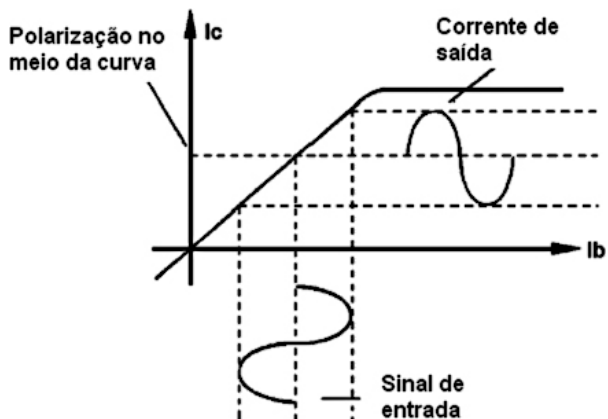


Figura 88 – A amplificação de um sinal senoidal

Na prática, os circuitos amplificadores com transistores levam componentes adicionais, tanto para limitar, como para estabelecer as correntes em cada eletrodo (terminal) do transistor, e ainda para fazer com que os sinais cheguem até os pontos desejados. São usados então resistores e capacitores nestes circuitos.

Na figura 89 temos o funcionamento de um transistor PNP, observando-se que a única diferença em relação ao transistor NPN está no sentido de circulação das correntes e, portanto, na polaridade das baterias usadas.

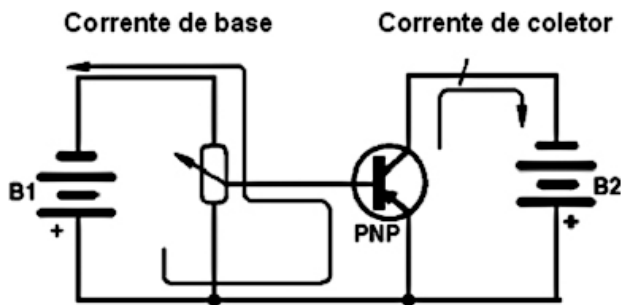


Figura 89 – Polarização de um transistor PNP

A presença de resistores nos circuitos com transistores nos leva a uma análise um pouco mais profunda de suas aplicações na Eletrônica. Para isso vamos tomar inicialmente o circuito que pode ser visto na figura 90.

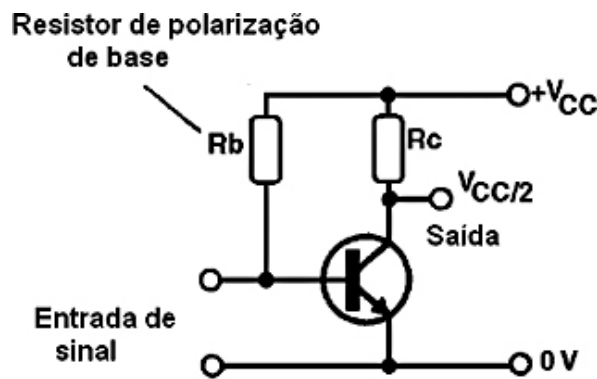


Figura 90 – Polarização com resistores

Neste circuito, a corrente no coletor é limitada por um resistor de carga ou resistor de coletor R_c . Este resistor impede que a corrente suba muito no coletor do transistor quando na aplicação de uma corrente de base mais alta e, com isso, o componente venha a se queimar.

A corrente na base do transistor é determinada na condição de repouso por um resistor de polarização de base. Como a corrente de base é muito menor que a corrente de coletor, o resistor usado na base do transistor tem valor muito maior que o ligado ao coletor.

Vamos supor que o resistor colocado para polarizar a base do transistor tenha tal valor que a corrente que circule no resistor de carga (R_c) provoque uma queda de tensão neste componente igual à metade da tensão de alimentação. Isso significa que teremos no coletor do transistor, na condição de ausência de sinal, uma tensão fixa igual à metade da tensão de alimentação, conforme o leitor poderá ver na figura 91.

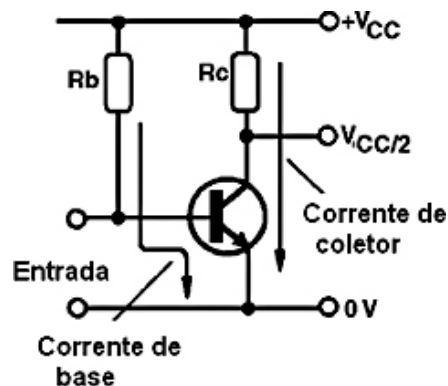


Figura 91 – A corrente de base e a corrente de coletor

Quando aplicamos na entrada do circuito, ou seja, na sua base, um sinal senoidal de pequena intensidade, conforme sejam os semiciclos positivos ou negativos, haverá um aumento ou diminuição da corrente de base.

Assim, nos semiciclos positivos, a corrente de base aumenta, pois temos a soma da corrente do sinal com a de polarização, e com

isso, a corrente de coletor tende a aumentar. É como se o transistor passasse a apresentar uma resistência menor entre o coletor e o emissor. O resultado é que, acompanhando este aumento da corrente de coletor, temos uma queda da tensão neste mesmo elemento.

Por outro lado, nos semiciclos negativos, a corrente de base diminui e o resultado é um aumento da resistência que o transistor passa a apresentar entre o coletor e o emissor. A tensão neste ponto do circuito sobe, conforme mostra a figura 92.

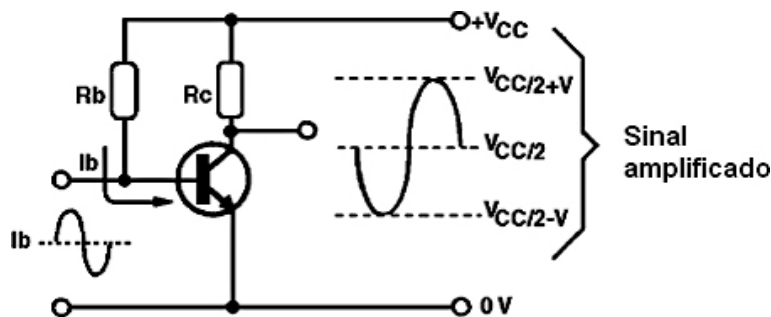


Figura 92 – A amplificação do sinal

Fazendo um gráfico do que ocorre com a corrente na base do transistor que corresponde ao sinal de entrada, e da tensão na saída do transistor, temos uma visão interessante, mostrada na figura 93.

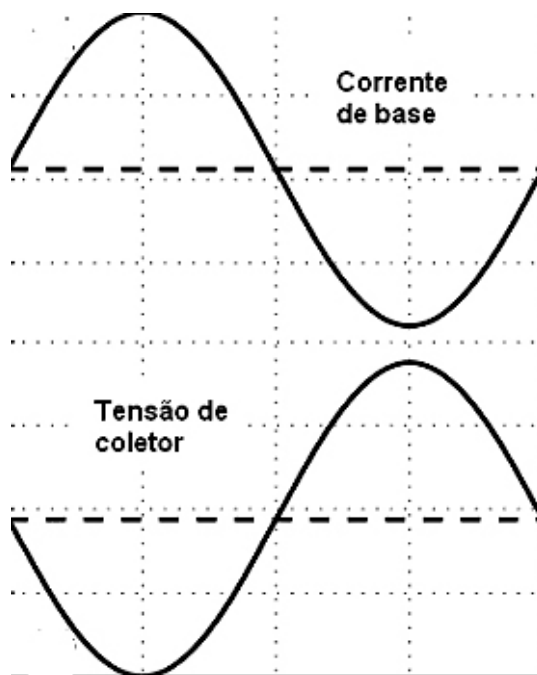


Figura 93 – A inversão de fase do sinal amplificado

Outros sinais

No exemplo, descrevemos como o transistor amplifica um sinal senoidal. No entanto, a operação do transistor é a mesma com sinais de outras formas de onda como, por exemplo, o sinal de um microfone que capta a voz humana ou o som de um instrumento musical.

A fase do sinal de saída é oposta à do sinal de entrada. Em outras palavras, quando usamos o transistor desta forma, ele amplifica um sinal, mas inverte sua fase. Conforme veremos mais adiante, existem modos de se usar o transistor em que não ocorre esta inversão.

Outro ponto importante a ser considerado, quando falamos de um transistor como amplificador, refere-se ao tipo de ganho que obtemos.

Já vimos que ligando o transistor da maneira indicada, as variações da corrente na base provocam variações muito maiores da corrente no coletor do transistor. Isso significa que temos um “ganho” ou amplificação da corrente.

Se considerarmos agora que precisamos de uma pequena variação de tensão na base do transistor para provocar a variação de corrente suficiente para o transistor funcionar, e como o resistor de coletor é menor e a variação de corrente maior, vemos que a tensão no coletor varia segundo uma faixa de valores muito maior.

Assim, nesta configuração também temos ganho de tensão no sentido de que pequenas variações da tensão de entrada produzem variações maiores da tensão de saída.

O produto tensão x corrente, conforme já estudamos caracteriza a potência elétrica. Assim, se num transistor temos, tanto a corrente de saída, como a tensão de saída, maiores que as correntes e tensões de entrada, isso significa que no circuito dado temos um ganho de potência.

Nas aplicações de um transistor num circuito amplificador não é preciso ter necessariamente ganho de tensão e de corrente. Se um dos ganhos for suficiente para compensar o outro, de modo que o ganho de potência seja maior que 1, o transistor já pode ser usado como amplificador. Isso nos leva a três modos de ligação ou configurações do transistor que serão vistas a seguir:

3.3 – Configurações

A configuração básica que estudamos é a mais comum, e como proporciona tanto ganho de tensão como de corrente, é a que produz maior ganho de potência. Uma representação simples para esta configuração poderá ser vista clicando-se na figura 94.

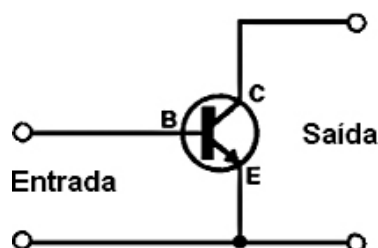


Figura 94 – A configuração de emissor comum

Como o sinal entra, entre a base e o emissor, e sai entre, o coletor e o emissor, sendo o emissor um elemento comum à entrada e saída, dizemos que se trata de uma configuração de Emissor Comum. No desenho são eliminados os resistores de polarização.

Ganho de potência

Quando um circuito tem ganho de potência, isso não significa necessariamente que a amplitude do sinal de saída é maior do que a entrada em termos de tensão ou de corrente. Significa que a energia carregada pelo sinal de saída é maior do que a do sinal de entrada. Este ganho, obrigatoriamente deve ser proporcionado por energia entregue pelo circuito, pois conforme vimos, energia não pode ser criada.

Conforme já vimos, a fase do sinal de saída é invertida em relação a fase do sinal de entrada e, com isso, temos tanto ganho de tensão como ganho de correntes, elevados.

Como características importantes adicionais temos ainda que a impedância de entrada do circuito é baixa, isso significa que um circuito externo, que vai aplicar sinal a um transistor nesta configuração, “vê” o transistor como se ele fosse uma resistência relativamente baixa, conforme o leitor poderá na figura 95.

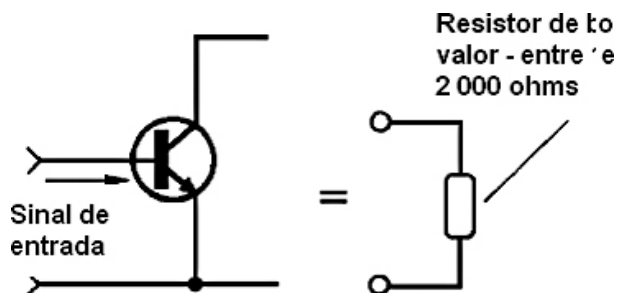


Figura 95 – O transistor se comporta como um resistor cuja resistência varia com o sinal de entrada

Esta informação é muito importante num projeto, pois se a impedância do circuito que fornece o sinal não for a mesma da entrada da etapa em que está o transistor, o sinal não será totalmente transferido e teremos uma perda de rendimento. Para que o transistor tenha o máximo rendimento (ou qualquer outro circuito amplificador), é preciso que a impedância da fonte de sinal seja igual a da sua entrada.

Por outro lado, uma etapa deste tipo tem uma alta resistência de saída, ou alta impedância de saída, o que também deve ser levado em conta em muitos projetos. Quando acoplarmos um transistor a outro, ou seja, interligarmos os transistores, veremos oportunamente como pode ser feita uma adaptação destas características, levando o circuito sempre ao melhor rendimento.

Uma outra configuração importante muito usada poderá ser vista pelo leitor na figura 96.

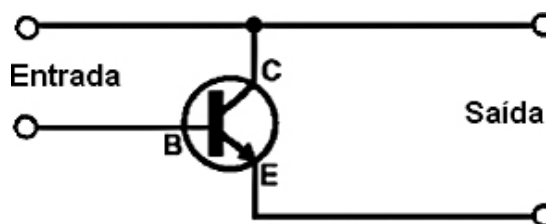


Figura 96 – Configuração de coletor comum ou seguidor de emissor

Nesta configuração, o sinal é aplicado entre a base e o coletor e é retirado entre o emissor e o coletor. O coletor é então o elemento comum à entrada e saída, sendo por isso denominada a configuração de “Coletor Comum”.

Nela temos um ganho de corrente muito alto, o que quer dizer que pequenas variações da corrente de base provocam variações muito maiores da corrente de emissor. No entanto, se levarmos em conta que a corrente no emissor circula por um resistor de carga de valor baixo, as variações de corrente neste resistor produzem pequenas variações de tensão.

Na verdade, as variações de tensão no resistor de saída são menores que as variações da tensão do sinal de entrada. Dizemos que o ganho de tensão é menor que 1, neste caso.

Apesar disso, o transistor nesta configuração apresenta ganho de potência (não muito alto) e outras características que são muito importantes em projetos eletrônicos. Além disso, a fase do sinal de saída é a mesma do sinal de entrada, ou seja, não há inversão de fase.

A impedância de entrada desta configuração é muito alta, enquanto que a impedância de saída é muito baixa. Esta configuração também é chamada de “seguidor de emissor”.

Finalmente, temos a configuração mostrada na figura 97.

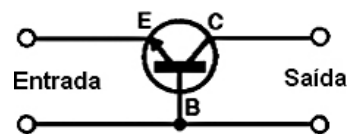


Figura 97 – A configuração de base comum

Nesta configuração, o sinal é aplicado entre o emissor e a base e retirado entre a base e o coletor. A base é o elemento comum, pelo que a denominação dada ao circuito é “base comum”.

Na configuração de base comum temos um bom ganho de tensão, mas o ganho de corrente é inferior à unidade. No geral, obtemos então um ganho de potência menor que o da configuração de emissor comum, porém maior do que o da configuração de coletor comum.

Não há inversão de fase para o sinal amplificado, e a impedância de entrada é muito baixa. A impedância de saída, por outro lado, é muito alta.

Nos circuitos eletrônicos encontramos transistores tanto NPN como PNP ligados nas três configurações, dependendo da aplicação. Na figura 98 temos transistores PNP nas três configurações, observando-se que, o que se inverte é apenas a polaridade da alimentação e, portanto, o sentido de circulação das correntes.

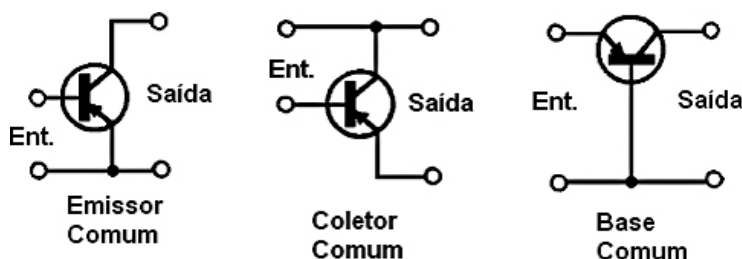


Figura 98 – As configurações para os transistores PNP

Onde estão os Transistores

Os circuitos integrados são formados por pequenas pastilhas (chips) em que são implantados num processo único de fabricação os transistores e outros componentes. Os transistores consistem na grande maioria dos componentes destes chips e podem ser tanto do tipo NPN como PNP. Uma característica importante da maioria dos chips é que a configuração, e o modo de ligação dos transistores, se repetem muitas vezes. Assim, a complexidade de um chip normalmente não é dada pela maneira como os transistores são ligados, mas sim pela quantidade deles. No entanto, em muitos aparelhos de uso comum como televisores, rádios, aparelhos de som, circuitos de controle, telecomunicações, computadores e periféricos também existem funções em que necessitamos apenas de um transistor. Neste caso, podemos encontrá-lo como componente isolado numa placa, ou ainda dentro de algum dispositivo, como uma fonte, um drive, etc. O importante para o leitor é saber que, falando de Eletrônica, os transistores certamente estarão presentes.

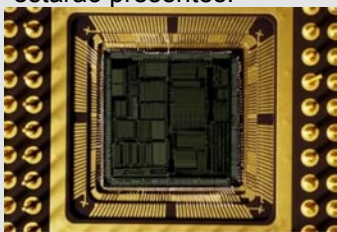


Figura A – Chip de um microprocessador contendo milhões de transistores

As configurações que estudamos apresentam características diferentes que são dadas na seguinte tabela:

a) base comum	Impedância de entrada baixa: 30 a 200 ohms Impedância de saída alta: 200 k a 2 M ohms Ganho de corrente: menor que 1 Ganho de tensão: alto Ganho de potência: médio
b) Emissor comum	Impedância de entrada média: 500 a 2000 ohms Impedância de saída média: 30 k a 5 k ohms Ganho de corrente: 10 a 500 Ganho de tensão: médio Ganho de potência: alto
c) Coletor comum	Impedância de entrada alta: 100 a 800 k ohms Impedância de saída baixa: 100 a 1000 ohms Ganho de corrente: 10 a 500 Ganho de tensão: menor que 1 Ganho de potência: baixo

3.4 - O transistor na prática

Os primeiros transistores eram dispositivos simples, destinados a operar apenas com correntes de baixas intensidades, sendo por isso quase todos iguais nas principais características.

No entanto, com o passar do tempo ocorreram muitos aperfeiçoamentos nos processos de fabricação levando os fabricantes a produzirem uma enorme quantidade de tipos de transistores, capazes de operar não só com pequenas intensidades de corrente, como também com correntes elevadas, o mesmo ocorrendo em relação às tensões e até mesmo às velocidades.

Assim, de modo a facilitar um estudo do transistor na prática, será conveniente dividir estes dispositivos em “famílias”, nas quais as características principais se mantêm.

Para as outras características, as diferenças são normalmente fornecidas pelos fabricantes na forma de folhas de dados (datasheets), manuais e pela internet. A internet é especialmente interessante para a consulta, pois nela pode-se facilmente procurar todos os componentes de determinado tipo, quando digitamos suas características ou tipo.

Essas características também são disponíveis pela Internet diretamente, a partir dos endereços dos fabricantes. Até mesmo digitando o número (tipo) do transistor em mecanismos de busca da Internet como o Google, é possível chegar diretamente às folhas dos fabricantes que fornecem todas as suas características.

E, conforme o leitor vai perceber, além das correntes, tensões e ganhos, existem muitas outras informações importantes na forma de gráficos que, com o tempo o leitor aprenderá a interpretar.

Para que o leitor tenha uma idéia de como podem variar as características dos transistores, basta dizer que dezenas de tipos são lançados diariamente com novas especificações, novas aplicações aumentando ainda mais a enorme lista destes componentes. A lista de tipo de transistores disponíveis já ultrapassou há muito tempo a casa de 10 milhões.

No entanto, na prática apenas algumas centenas podem ser considerados “principais” de forma que, possuindo um bom manual, o praticante dotado de suficiente conhecimento técnico consegue encontrar sempre um nestas centenas, capaz de substituir tipos considerados difíceis, fora de linha, dos milhões que existem por aí. Manuais de substituição de transistores, ou o acesso a informações sobre transistores são muito importantes neste momento, tanto que falaremos deles oportunamente.

Mais na internet

No site do autor deste curso nas seções de Idéias Práticas e Informações (IP) e na seção de componentes (COM) pode-se encontrar informações sobre características e uso dos principais tipos de transistores.

Também podem ser obtidas as características no recurso “localizar data-sheet” digitando-se o tipo do transistor

3.4.1 – Transistores de Uso Geral

Estes são transistores destinados a gerar ou amplificar sinais de pequena intensidade e de frequência relativamente baixa. As pequenas pastilhas de silício ou germânio, que formam estes transistores, são encerradas em invólucros plásticos ou de metal conforme mostra a figura 99.



Figura 99 – Transistores de uso geral

Os três terminais que saem destes invólucros correspondem ao emissor (E), coletor (C) e base (B), devendo sua identificação ser feita a partir do tipo, pois pode variar bastante tanto em relação ao fabricante como ao invólucro.

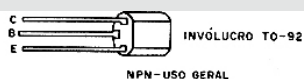
Observe a existência de tipos extremamente pequenos em invólucros SMD (Surface Mounting Device), para Montagem Em Superfície. São componentes soldados nas placas “por cima” e através de máquinas, no processo de fabricação.

Podemos encontrar transistores de uso geral, tanto do tipo PNP como NPN e, tanto de germânio como de silício. A maioria dos transistores modernos é de silício, sendo que os de germânio são encontrados apenas em aparelhos antigos ou em aplicações onde as características especiais deste material possam ser necessárias.

Para melhor definir estes transistores, podemos dar as características principais da maneira como são encontradas nos manuais.

Transistores NPN e PNP de uso geral

A seguir, duas tabelas com transistores NPN e PNP de uso geral, muito comuns. Esta série de transistores NPN de baixa potência, de uso geral, é a mais utilizada atualmente em projetos de todos os tipos. Os transistores podem oscilar em frequências relativamente elevadas e se prestam a uma infinidade de aplicações em áudio e corrente contínua. A diferença dos diversos tipos está no ganho, na tensão máxima de coletor e também no fator de ruído, sendo que o BC549 é o mais utilizado em aplicações em que esse fator é importante como, pré-amplificadores de áudio. Na tabela abaixo a pinagem e as características dos diversos tipos da série.



	BC546	BC547	BC548	BC549	BC550	
V _{CES} máx	80	50	30	30	50	V
V _{CEO} máx	65	45	30	30	45	V
I _{CM} (pico)	200	200	200	200	200	mA
P _{TOT}	500	500	500	500	500	mW
f _T	300	300	300	300	300	MHz
h _{FE}	125	125	125	240	240	mín
	500	900	900	900	900	máx

Os transistores BC556, BC557, BC558, BC559 e BC560 são os complementares (PNP) destes tipos, com as mesmas características.

I_c - esta é a abreviação da corrente de coletor. Para os transistores de uso geral temos um I_c(max), ou seja, corrente de coletor máxima, que varia entre 20 mA e 500 mA.

V_{CEO} - esta sigla significa a tensão que existe entre o coletor e o emissor do transistor, quando sua base está desligada. Para os transistores de uso geral, temos V_{CEO} (max) ou tensões máximas de operação entre 10 V e 80 V.

f_T - esta é uma abreviação que nos diz qual é a frequência máxima que o transistor pode operar, ou seja, a frequência de transição. Veja que à medida que a frequência de operação do circuito se aproxima de f_T, o ganho do transistor cai, até que ele não mais consegue amplificar os sinais. Para os transistores de uso geral, esta frequência pode ficar entre 1 e 200 MHz. Tipos comuns desta família são os: BC548, BC558, BC107, 2SB75, OC74, 2N2222, 2N107 etc.

3.4.2 – Transistores de Potência

Estes são transistores destinados a operar com correntes intensas, mas ainda com sinais de baixas frequências como, por exemplo, nos amplificadores de áudio, excitando diretamente os alto-falantes, fontes chaveadas, excitadores de motores em controles industriais, etc.

Como as pastilhas de silício de que são feitos os transistores tendem a se aquecer bastante, quando em funcionamento, devido à intensidade da corrente com que devem trabalhar, elas são encerradas em invólucros que permitem a montagem num radiador de calor.

Na figura 100 temos alguns tipos de invólucros usados para os transistores de potência e também a sua montagem radiador de calor.

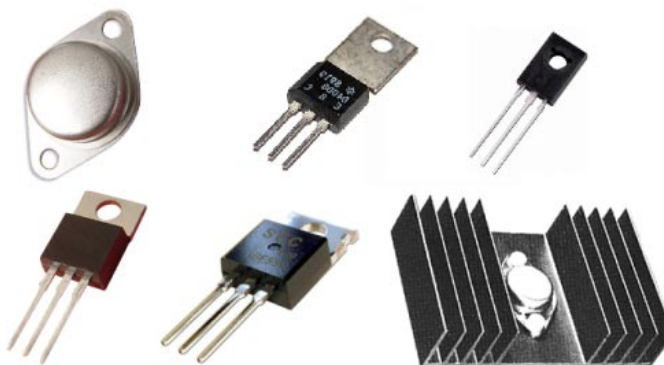


Figura 100 – Transistores de potência

Entre o transistor e o radiador de calor, é comum a colocação de um pequeno isolador de mica ou plástico especial. Este isolador isola eletricamente o transistor do radiador, mas deixa passar o calor gerado. Para ajudar na transferência de calor é também comum o uso de uma pasta térmica a base de silício. A figura 101 mostra a montagem num dissipador.

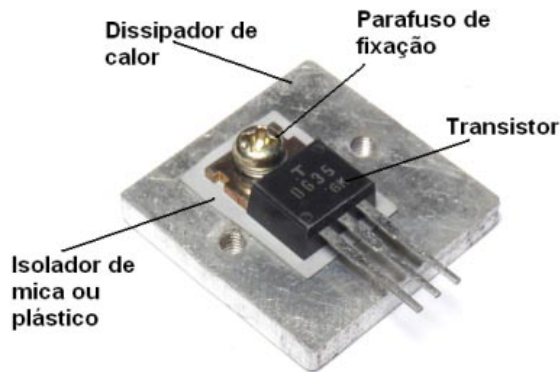


Figura 101 – Montagem de transistor em dissipador de calor

Os transistores desta família operam com correntes de coletor máximas até 15 ampères. Tensões máximas entre coletor e emissor na faixa de 20 V a 500 V são comuns e a frequência de transição para os tipos desta família varia entre 100 kHz, até perto de 40 MHz. Podemos citar como exemplo de transistores de potência os TIP31, TIP32, 2N3055, BD135, BD136, AD142 BU205, etc.

3.4.3 – Transistores de RF

Nesta família, incluímos transistores destinados a amplificar ou gerar sinais de frequências elevadas, mas com pequenas intensidades. São transistores que operam com correntes de baixa intensidade e, por isso, possuem invólucros de pequenas dimensões, como os mostrados na figura 102.

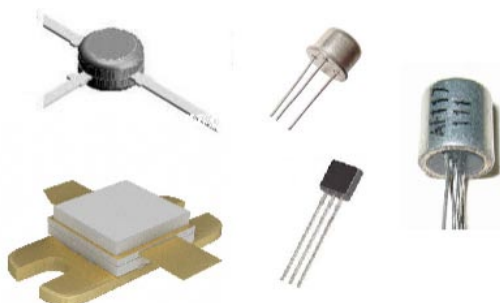


Figura 102 – Transistores de RF

BD135 – BD137 – BD139

Transistores NPN de média potência para aplicações de áudio, circuitos de baixas frequências e corrente contínua. Encontramos estes transistores em pequenas interfaces de motores e solenóides até 1 A e em amplificadores de áudio de baixa potência. Também são usados em circuitos osciladores e na amplificação de sinais. Na tabela abaixo temos suas características. Os complementares (PNP) são os BD136, BD138 e BD140.

	BD135 – BD137 – BD139			
	BD135	BD137	BD139	
V_{CBO} máx	45	60	100	Volts
V_{CEO} máx	45	60	80	Volts
P_{TOT} máx	8	8	8	Watts
h_{FE}	40	40	40	mín
	250	160	160	máx
I_C máx	1	1	1	Ampère

Os tipos modernos são em sua maioria de silício, mas nos aparelhos antigos, e em algumas aplicações especiais, ainda encontramos alguns transistores de germânio. Observe que existem transistores que são dotados de 4 terminais.

Assim, além do coletor, base e emissor, encontramos um terminal ligado a própria carcaça do transistor, de metal, e que serve de blindagem.

As tensões máximas de operação destes transistores estão na faixa de 10 V a 30 V e as correntes máximas não superam os 200 mA. As frequências de transição são muito altas, chegando a valores como 1500 MHz para transistores usados em seletores de TV de UHF e outras aplicações semelhantes.

O que diferencia o modo de construção dos diversos transistores não é somente as intensidades de corrente e calor gerado. Se analisarmos um transistor comum, veremos que a região da junção entre o emissor e a base e entre a base e o coletor se comporta como um capacitor. Na verdade, estudamos na lição anterior que existem componentes (diodos varicaps) que justamente se aproveitam deste fato na sua operação.

É muito importante o efeito dessa capacitância, denominada “parasita” num transistor, pois na realidade ela é indesejável, conforme mostra a figura 103.

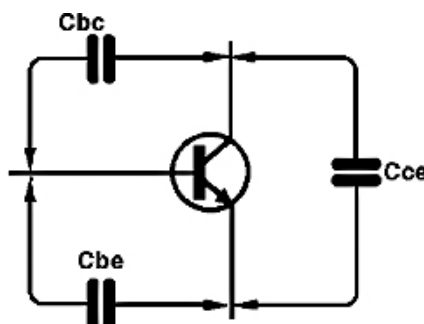


Figura 103 – Capacitâncias parasitas num transistor

Ligando um transistor como amplificador, o sinal aplicado deve, ao mesmo tempo polarizar a junção base-emissor (supondo a configuração de emissor comum), como também “carregar” e “descarregar” o pequeno capacitor parasita que ali existe. Ora, como demora um certo tempo para esta carga e descarga, antes do transistor entrar em operação, existe um pequeno retardo que torna o componente algo lento.

Assim, se o sinal aplicado na entrada for de muita alta frequência, ou seja, apresentar variações muito rápidas, o transistor não consegue acompanhá-las, pois não há tempo para o capacitor formado pelas suas junções carregar-se e descarregar-se. O resultado é que não temos as variações esperadas da tensão e da corrente de saída, ou seja, o transistor não amplifica, conforme o leitor poderá observar clicando na figura 104.

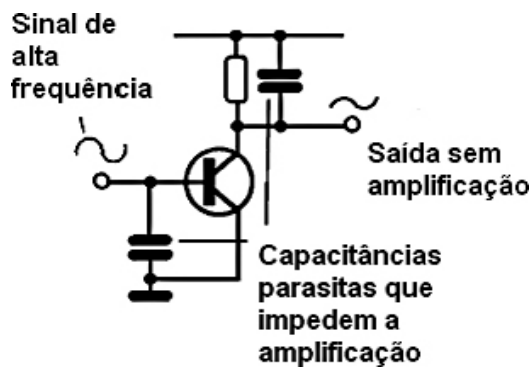


Figura 104 – Perdas em altas frequências

Por este motivo, ao se projetar um transistor para aplicações em frequências muito altas, têm-se o máximo cuidado em reduzir todas as chamadas capacitâncias, parasitas, com regiões entre as junções muito pequenas, minimizando assim este efeito.

As próprias configurações dos transistores podem ainda ajudar a aumentar ou diminuir este efeito. Assim, para amplificação de sinais de frequência muito altas, prefere-se a configuração de base comum onde as capacitâncias das junções têm seus efeitos minimizados e o transistor atinge sua máxima “velocidade” de operação.

3.4.4 - Aplicações de Alta Velocidade

A velocidade máxima de operação de diversos tipos de equipamentos eletrônicos é, em grande parte, limitada pelos efeitos que estudamos. Os microcontroladores e microprocessadores, por exemplo, contêm milhões de transistores e as capacitâncias que eles apresentam influem muito na sua velocidade de comutação, ou seja, na velocidade que eles processam os sinais que correspondem às informações.

O segredo dos fabricantes, para se aumentar a velocidade, está basicamente na diminuição dessas capacitâncias, o que é conseguida com a elaboração de transistores cada vez menores na pastilha de silício dos chips. No entanto, esta diminuição traz problemas adicionais que o leitor conhecerá nas próximas lições. Outro fato interessante que deve ser observado quando analisamos um transistor na prática, é que os portadores de carga nos materiais P são mais lentos do que nos materiais N. Em outras palavras, os elétrons são mais rápidos que as lacunas.

Assim, se considerarmos um transistor PNP e um NPN, o NPN será mais rápido, pois a corrente deve passar por apenas um pedaço de material P, onde ela é mais lenta, diferentemente do PNP, onde ela deve passar por duas regiões P. Claro que isso é válido apenas para a comparação entre transistores com as mesmas dimensões de pastilha, conforme o leitor poderá observar na figura 105.

BF494

O BF494 é um transistor oscilador, amplificador de alta frequência para a faixa de TV, FM e VHF. Este transistor é encontrado em receptores de AM e também em pequenos transmissores. Na figura abaixo temos a sua pinagem e também suas principais características.

SOT-54(4)



Características:

- V_{CEO} 20V
- I_C 30mA
- P_{tot} 300mW
- h_{FE} (I_C = 1mA) 66 – 222
- f_T 260MHz
- F (tip) a 100MHz ... 4dB

Ainda a Questão da Velocidade

A mobilidade das cargas, que correspondem aos sinais no silício, é outro fator que limita a velocidade de equipamentos que processam sinais, como os computadores. A diminuição do tamanho dos transistores integrados nas pastilhas de silício em diversos tipos de equipamentos, incluindo-se os computadores, reduz a distância que os portadores percorrem, e isso significa um aumento da velocidade, mas ao mesmo tempo torna mais difícil sua elaboração e também implica na necessidade de trabalharem com tensões menores.

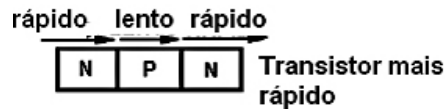
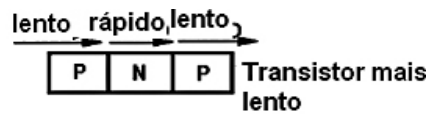


Figura 105 – Comparação de velocidade entre transistores NPN e PNP

Novos materiais, como o Arseneto de Gálio (Ga-As), já estão sendo usados para a fabricação de transistores e mesmo chips extremamente rápidos, capazes de gerar, ou amplificar, sinais de milhares de megahertz (gigahertz). Os portadores de carga tanto N como P nestes materiais são dezenas de vezes mais rápidos do que no silício, o que os tornam ideais para a construção de transistores rápidos. Transistores de RF comuns são os BF494, BF254, 2N2218, etc.

3.5 - Tipos e identificação de terminais.

Para usar um transistor, é fundamental que saibamos para que serve um determinado tipo, e também como identificar seus terminais.

Os transistores de procedência norte-americana usam na sua codificação a sigla “2N” para diferenciar dos diodos que usam “1N”, mas esta sigla seguida de um número não serve para nos informar que tipo de transistor temos: se é de áudio, RF ou potência, se é NPN ou PNP, se é de germânio ou silício. (ver código Pro-Electron, na lição que trata dos diodos semicondutores).

Para os transistores com a indicação “2N” é preciso dispor de um manual, ou acessar estas informações pela Internet, o que é possível em alguns casos. Veja na figura 106 alguns transistores “2N” com a disposição de seus terminais.

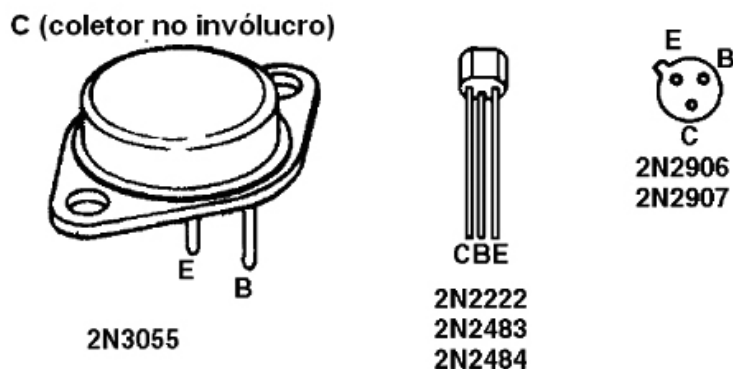


Figura 106 – Transistor 2N com a pinagem

Para os transistores com nomenclatura européia, o próprio tipo do transistor já dá muitas informações sobre o que ele é. Assim, para a primeira letra, já temos a indicação do material usado na sua fabricação:

- B - silício
- A - germânio

Para a segunda letra, temos informações se o transistor é de áudio, RF ou potência:

- C - uso geral ou áudio
- D - potência
- F - RF

Os transistores para aplicações profissionais possuem uma terceira letra indicativa. Para os comuns, temos um número. Damos a seguir alguns exemplos:

- BC548 - transistor NPN de uso geral de baixa potência ou áudio
- BD136 - transistor PNP de potência
- BF254 - transistor NPN de RF

Veja que esta maneira de indicar os tipos ainda não diz se ele é NPN ou PNP. Para estes transistores, o manual ainda será necessário para identificar os terminais. Na figura 107 o leitor poderá ver alguns transistores desta série com a disposição de terminais.

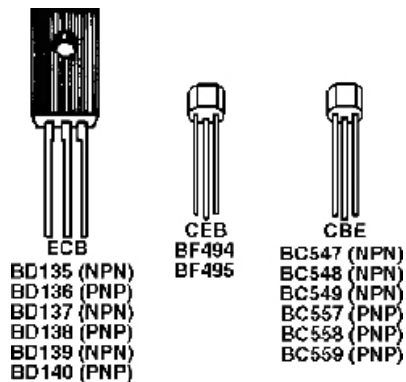


Figura 107 – Transistores com nomenclatura européia

3.6 – Especificações

Um problema que os praticantes da eletrônica encontram, ao trabalhar com transistores, é encontrar um substituto para um determinado tipo que tenha problemas e que não possa ser encontrado facilmente.

De posse do número original, pode-se chegar às especificações e, com isso, sair em busca de um que seja considerado equivalente. As principais especificações dos transistores são:

a) Tensões máximas

$V_{ce(max)}$ é a tensão máxima entre coletor e emissor; $V_{cb(max)}$ é a tensão máxima entre coletor e base; $V_{be(max)}$ é a tensão máxima entre base e emissor. Quando acrescentamos o “o” ele indica que o terceiro terminal está desligado.

Exemplo: $V_{ceo(max)}$ é a tensão máxima entre coletor e emissor com a base desligada (aberta). Em alguns casos, pode ser indicada a tensão absoluta, como V_c , V_b e V_e .

b) Correntes máximas

As correntes máximas são indicadas pelos terminais. Por exemplo, $I_c(max)$ é a corrente máxima de coletor de um transistor.

c) Potências máximas

É a máxima potência que o transistor pode dissipar, sendo indicada como P_{tot} ou P_{max} ou ainda P_t .

d) Ganho

O ganho do transistor pode ser dado como β ou como h_{FE} e pode variar entre 5 e 10 000 conforme o tipo de transistor.

Em alguns casos, os fabricantes dão para determinado tipo a faixa de ganhos que uma unidade pode ter. Por exemplo, o BC548 pode ter ganhos entre 125 e 900.

e) Frequência de transição

É a máxima frequência em que o transistor ainda pode funcionar como amplificador e, portanto, como oscilador. Esta frequência é dada em Hertz (quilo ou mega) e varia bastante conforme o tipo de transistor.

Termos em inglês

Alguns termos importantes em inglês usados em documentação relacionada aos transistores:

Dissipation – dissipação

Junction – junção

Contact point - ponto de contato

Bipolar transistor – transistor bipolar

Silicon – silício

Germanium - germânio

Para pesquisar:

- Junções
- Historia do transistor
- Válvulas eletrônicas
- Portadores de carga
- Transistores de RF
- Transistores e válvula em circuitos de áudio
- Ganho de um transistor
- Frequência de corte

QUESTIONÁRIO

1. Quantas junções existem num transistor?
a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

2. Para polarizar um transistor NPN a base deve ficar como em relação ao emissor para que ocorra a condução?
a) neutra
b) positiva
c) negativa
d) positiva ou negativa, dependendo da configuração

3. Em que configuração amplificadora com transistores ocorre uma inversão de fase do sinal?
a) emissor comum
b) base comum
c) coletor comum
d) em todas elas

4. Na configuração de seguidor de emissor ou coletor comum a impedância de entrada é alta ou baixa? E a de saída?
a) muito baixa
b) muito alta
c) nula
d) infinita

5. A sigla 2N é usada para transistores de que procedência?
a) europeus
b) americanos
c) japoneses
d) brasileiros

6. Qual é a aplicação básica do transistor BF494 e seu material de construção?
a) potência de áudio
b) comutação
c) RF de baixa potência
d) Uso geral

7. Num transistor corretamente polarizada, uma corrente de base de 0,02 A produz uma corrente de coletor de 100 mA. O ganho desse de tensão (beta ou h_{fe}) transistor é:
a) 50 b) 100 c) 200 d) 500



» Circuitos com transistores

No capítulo anterior, estudamos o funcionamento dos transistores, os principais tipos, sua polarização e até a nomenclatura utilizada na sua especificação. Realmente, o assunto envolvido no capítulo anterior, não pode ser considerado encerrado já que, como vimos, atualmente existem milhões de tipos de transistores disponíveis, de modo que uma eventual complementação deve ser feita paralelamente a este curso com a leitura de livros apropriados, principalmente os que tratam de cálculos completos que permitam a realização de projetos, o que será dado em outros volumes desta série. Evidentemente, para os leitores que desejam conhecer apenas os fundamentos da Eletrônica, para trabalhar com equipamentos eletrônicos comuns e profissionais, o que vemos neste curso pode ser considerado suficiente. Neste capítulo, o assunto ainda é o transistor, prosseguindo agora com circuitos que os utilizem. Os circuitos serão estudados individualmente de maneira superficial, de modo que ao se deparar com configurações semelhantes, o leitor seja capaz de dizer exatamente como funcionam, para que servem e principalmente encontrar eventuais problemas de funcionamento. Os itens deste capítulo são:

- 4.1 - O transistor como chave
- 4.2 - Polarização do transistor como amplificador
- 4.3 - Ganhos alfa e beta
- 4.4 - Reguladores de Tensão
- 4.5 – Acoplamentos
- 4.6 - Desacoplamentos

4.1 - O Transistor como chave

A aplicação mais simples e imediata do transistor é como uma chave, simplesmente ligando ou desligando uma carga que seja colocada em seu coletor.

Na verdade, se bem que seja a mais simples, é a mais importante para os circuitos de controle, como sistemas de automação, microcontroladores, microprocessadores e circuitos digitais, que têm praticamente todo o seu modo de funcionamento baseado em transistores operando como chaves.

Nesta modalidade de operação, o transistor não atua na região linear de sua característica, ou seja, naquela região em que temos variações proporcionais da corrente de coletor em função da corrente de base. Nesta modalidade, o transistor opera no corte e na saturação, termos que ficarão mais claros com as explicações a seguir.

Damos então um circuito básico na figura 108, em que temos no coletor do transistor uma carga que pode ser uma lâmpada, um relé, um LED, ou qualquer outro dispositivo que necessite de uma alimentação fixa para funcionar.

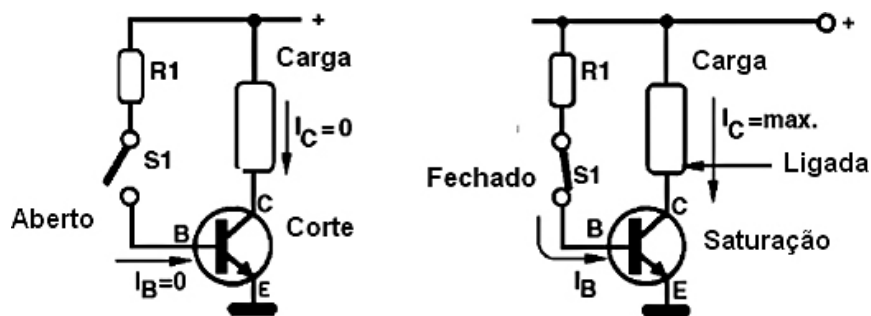


Figura 108 – O transistor no corte e na saturação

Quando não flui corrente alguma pela base do transistor, ou seja, quando o interruptor S1 está aberto, não temos também corrente alguma no coletor do transistor, ou seja, ele está no CORTE, funcionando como um interruptor aberto.

Para acionar o transistor, de modo que ele se comporte como uma chave, deveremos atuar sobre sua base de modo que, de imediato, tenhamos a corrente de coletor máxima, que é, aquela que a carga exige para o seu funcionamento. Em outras palavras, o transistor deve passar rapidamente do CORTE para a SATURAÇÃO.

Deveremos então aplicar na sua base uma tensão que cause a circulação de uma corrente com a intensidade mínima que leve a saturação. Isso é feito fechando-se a chave S1, conforme o leitor poder ver na figura 109.

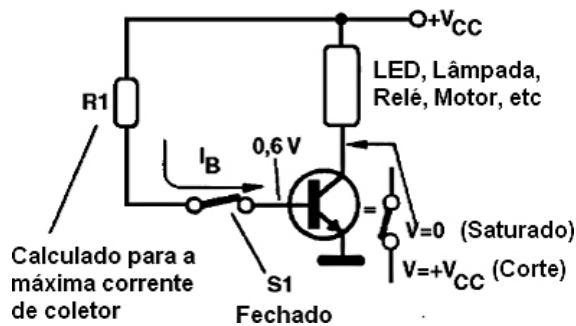


Figura 109 – Circuito de acionamento do transistor como chave

Nestas condições, a corrente de base provoca uma forte corrente de coletor ligando então a carga. O transistor se comporta como uma chave fechada.

Veja que neste modo de operação, o transistor opera apenas com duas modalidades de sinal na sua entrada: tensão nula ou ausência de tensão, quando deve permanecer no corte, e tensão suficiente para a saturação (o valor mínimo é determinado pelas características do circuito).

Esta modalidade de operação aparece muito nos circuitos denominados lógicos digitais, como os dos computadores, microprocessadores, instrumentos digitais, automatismos digitais, etc. onde temos apenas duas modalidades de sinais: o chamado nível baixo ou 0 ou ainda LO, em que a tensão é nula, e o chamado nível alto, 1 ou ainda HI, em que temos uma tensão positiva fixa de determinado valor (normalmente entre 5 e 18 V, dependendo da “família” de componentes usados), conforme poderá ser visto na figura 110.

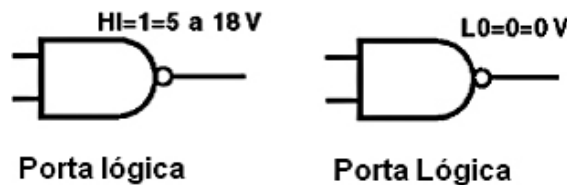


Figura 110- As portas são exemplos de circuitos lógicos digitais

4.1.2 - Chaves Eletrônicas na Prática

As duas condições dos transistores, SATURAÇÃO e CORTE, podem ser associadas a um bit. Assim, o estado de um transistor, conduzindo ou não, pode ser associado ao bit 0 ou 1. As mudanças de estado dos milhões de transistores de um equipamento digital determinam o processamento dos dados, ou seja, o que o circuito faz com as informações na forma de bits.

Assim, em cada instante, quando um desses equipamentos trabalha, seus milhões de transistores funcionam como chaves que abrem e fecham, mudando os bits conforme os cálculos que devem ser realizados, os comandos digitados ou ainda as imagens que devem ser apresentadas na tela, num display ou num monitor de vídeo.

Nos circuitos que operam segundo este princípio, e em muitos outros equipamentos, a saída que obtemos pode ser insuficiente para acionar dispositivos que exijam correntes mais intensas.

É comum então, ligarmos na saída destes circuitos um transistor como chave, para poder controlar um dispositivo externo de maior capacidade de corrente como, por exemplo: relé, lâmpada, motor, etc. Na figura 111, poderemos ver um exemplo desta aplicação.

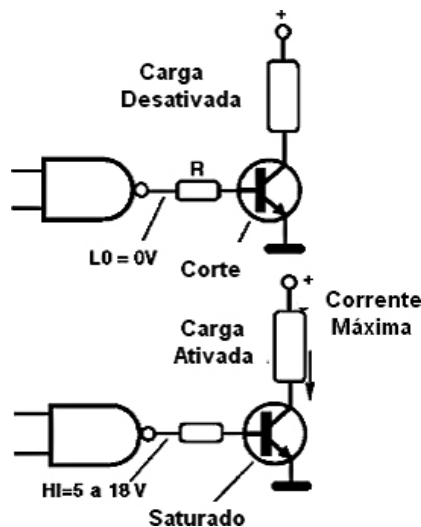


Figura 111 – Controlando cargas com um transistor, a partir de circuitos lógicos digitais

Quando a saída do “circuito lógico de controle” está no nível baixo, ou seja, apresenta $0V$, não há corrente na base do transistor. Dizemos que ele se encontra no corte. Consequentemente, não há corrente de coletor e o dispositivo de saída controlado está desligado. Se for uma lâmpada ou um LED, estará apagado, e se for um relé, estará com a bobina desenergizada.

Quando a saída tiver uma tensão positiva, então teremos uma corrente circulando pela base do transistor. Normalmente o resistor em série é calculado para possibilitar a saturação do transistor, de modo que a corrente de coletor será máxima, energizando o dispositivo alimentado. Se for uma lâmpada, ela acende, e se for um relé, terá a bobina percorrida pela corrente de acionamento.

Veja que podemos fazer as coisas operarem “ao contrário” se o transistor usado for do tipo PNP, conforme o leitor poderá ver na figura 112.

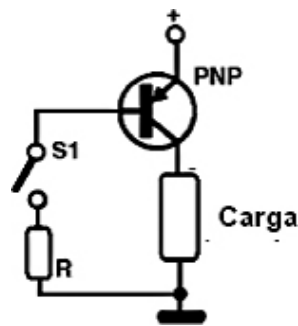


Figura 112 – Controle com um transistor PNP

As correntes num transistor PNP circulam em sentido oposto ao das correntes num transistor NPN. Desta forma, conforme o circuito que o leitor poderá ver na figura 113, o transistor estará no corte quando a tensão de base for igual a do emissor, ou seja, aproximadamente o valor positivo da tensão de alimentação (representamos por +V), ou sem corrente alguma.

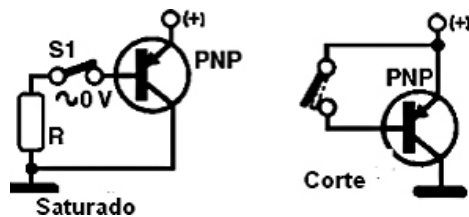


Figura 113 – Corte e saturação num transistor PNP

Para levar o transistor à saturação, ou seja, com a corrente máxima de coletor, temos de levar a base aos 0 V. Se ligarmos, então, um transistor PNP na saída de um circuito lógico de controle, o acionamento será de modo contrário ao que obtemos com um transistor NPN, conforme o leitor verá na figura 114.

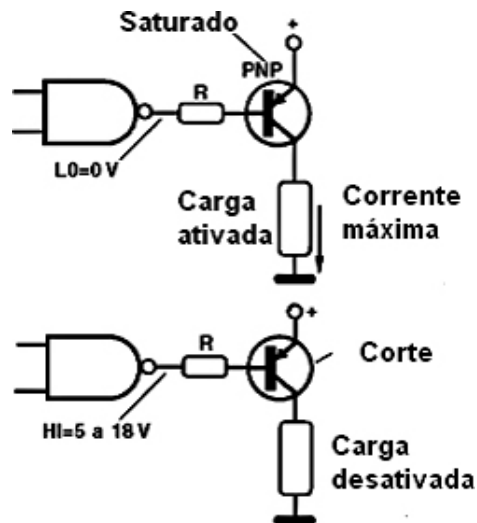
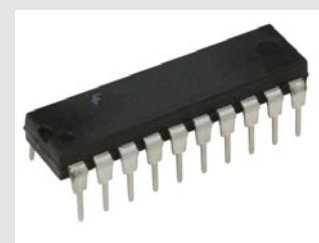


Figura 114 – Controle lógico com transistor PNP

Circuito lógico integrado

O componente mostrado na foto é um circuito integrado que contém diversos transistores em funções lógicas para controle de sinais. Este componente será estudado nas lições futuras.



Teremos a carga sem alimentação, ou seja, o transistor no corte, quando o nível de tensão da saída aplicada na base do transistor for alto, ou correspondendo à tensão positiva de alimentação. Por outro lado, o transistor irá à saturação, quando a saída do circuito de controle for a zero V, ou seja, ao nível baixo. A utilização de um tipo de circuito ou de um outro dependerá da aplicação que se tem em mente ao realizar o projeto.

4.1.3 - No Computador e circuitos lógicos

É interessante observar que, baseados no fato de que podemos associar aos bits 0 e 1 ao estado de um transistor, usando transistores NPN ou PNP, podemos acionar dispositivos quer seja com o bit 0, quer seja com o bit 1. Isso é muito importante quando desejamos que o computador realize o acionamento de dispositivos externos e mesmo internos.

Isso significa que, estas configurações com os dois tipos de transistores podem ser encontradas em alguns pontos importantes, tanto dos circuitos lógicos, de controle, computadores e periféricos. Como calcular a saturação?

Saber calcular o valor do resistor de saturação pode ser interessante para a realização de projetos. O cálculo que damos a seguir é empírico, ou seja, simplificado, de modo a levar a resultados aproximados que serão satisfatórios na maioria das aplicações práticas. Para isso, tomemos como ponto de partida o circuito da figura 115.

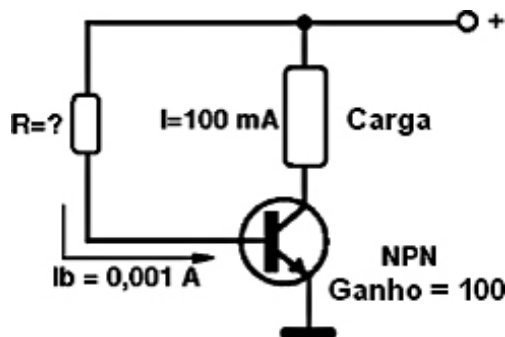


Figura 115 – Devemos calcular R neste circuito

Neste circuito, temos de acionar uma carga que exige uma corrente de 100 mA (0,1 A), que pode ser a bobina de um relé ou ainda uma pequena lâmpada.

Vamos supor que o transistor usado tenha um fator de amplificação de 100 vezes, ou seja, correntes de base provocam corrente de coletor 100 vezes maiores.

Como saber qual é o fator de amplificação de um transistor veremos mais adiante ainda nesta lição. Veremos também que existe para cada tipo de transistor uma margem muito grande de valores, de modo que ao realizar cálculos adotamos, por segurança, o valor menor.

Isso significa que, no nosso circuito precisamos de uma corrente de 1 mA ou 0,001 ampères aplicada na base, para obter a saturação. Se a tensão aplicada na entrada for, por exemplo, de 6 V para saber qual é o valor máximo de resistor que podemos usar, basta aplicar a lei de Ohm, ou seja, dividir a tensão pela corrente.

Obtemos então:

$$R = 6/0,001$$

$$R = 6\ 000 \text{ ohms}$$

Observe que este é o valor máximo a ser aplicado. Para maior segurança no acionamento e se obter uma saturação sob quaisquer condições, é comum adotarmos valores de 2 a 10 vezes menores. Usaremos então no circuito resistores entre 600 e 3000 ohms.

Obs.: os transistores bipolares não são os únicos que existem. Veremos nas próximas lições que existem outros tipos de transistores que podem ser utilizados nas mesmas funções.

4.2 – Polarização do transistor como amplificador

Se um transistor vai ser usado como amplificador de sinais, então a sua operação deve ser tal que tenhamos variações da corrente de coletor (ou emissor) que correspondam às variações da tensão (e, portanto, da corrente) aplicada à base.

Para isso, o transistor não trabalhará na região de saturação, mas sim na região linear da sua curva característica, conforme o leitor poderá ver na figura 116.

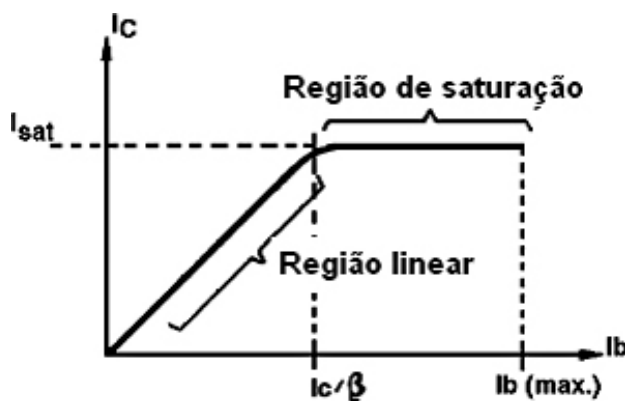


Figura 116 – Regiões, linear e saturação, da característica de um transistor

Isso significa que devemos fixar previamente a corrente em sua base de modo que a corrente de coletor fique em algum ponto intermediário entre o corte e a saturação. Para fazer isso, conforme já vimos temos diversas possibilidades, pois tanto podemos amplificar os ciclos completos de um sinal como só metade.

O importante é que, para termos um transistor como amplificador, será preciso polarizar sua base de modo conveniente, utilizando-se um ou mais resistores de valores calculados conforme a modalidade de operação, ou seja, o tipo de sinal a ser amplificado.

4.2.1 – Famílias de curvas

Para calcular de modo preciso o ponto de funcionamento de um transistor, fixando corretamente as suas correntes de polarização, são usados procedimentos mais complexos que fogem neste momento à finalidade deste curso, que é mais de conceitos. O estudo mais aprofundado destes procedimentos poderá ser encontrado nos volumes mais avançados desta série.

Para que o leitor tenha uma idéia de como isso deve ser feito, será interessante dar uma noção do que são as famílias de curvas dos transistores, que encontramos em todos os datasheets destes componentes.

As curvas características de transistores mostram como estes componentes se comportam quando temos uma polarização fixa de sua base e a tensão de coletor varia. A corrente de coletor vai variar em função do seu ganho gerando uma família de curvas, como a mostrada na figura 117.

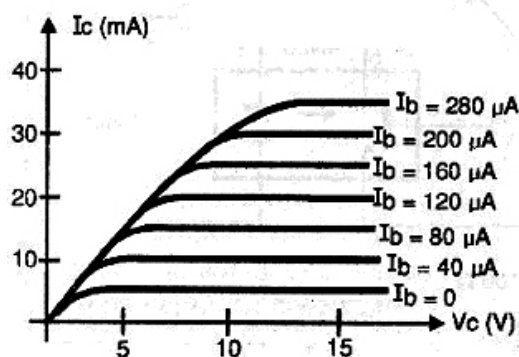


Figura 117 – Família de curvas de um transistor

Os manuais de transistores oferecem estas curvas, dada sua importância para a realização de projetos, ou mesmo para a determinação de substitutos para uma aplicação.

Estas curvas são obtidas com correntes fixas, normalmente a partir de correntes de base nulas e crescendo em passos com valores que dependem do transistor analisado.

Assim, pela família de curvas mostrada na figura 117, podemos fixar a corrente de coletor e a tensão de coletor, encontrando um ponto de operação na parte linear do componente, denominado reta de carga, conforme mostra a figura 118.

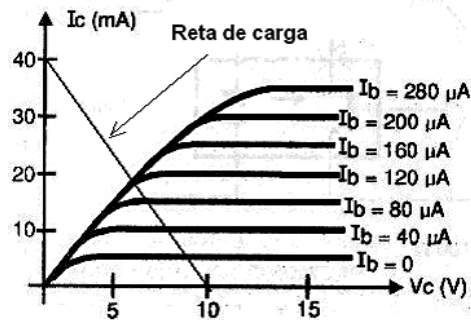


Figura 118 – A reta de carga

Os pontos em que a reta de carga corta cada curva da família de curvas, para diferentes polarizações, permitem ao projetista calcular os componentes de polarização.

4.2.2 – Os circuitos de polarização

Começamos então com a polarização mais simples que é feita com um único resistor, conforme pode-se observar na figura 119.

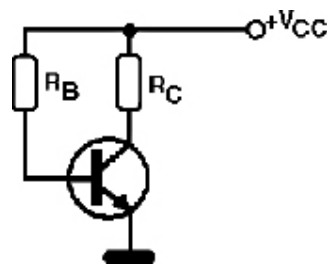


Figura 119 – Polarização de base com um resistor

O resistor ligado à base, neste circuito, é calculado de modo a manter a corrente num valor que corresponda ao ponto de operação desejado na curva característica. Na figura 121 (a) temos o caso de um resistor de valor relativamente baixo que mantém a corrente elevada, próxima da saturação e, com isso, só temos a amplificação dos semiciclos negativos de um sinal quando ele faz com que tenhamos uma diminuição da corrente de base e, conseqüentemente, da corrente de coletor.

Veja que neste caso, o transistor não responde aos semiciclos positivos do sinal de entrada, pois eles significam um aumento da corrente de coletor e o transistor está muito próximo da saturação. Veja na figura 120 o que ocorre neste caso.

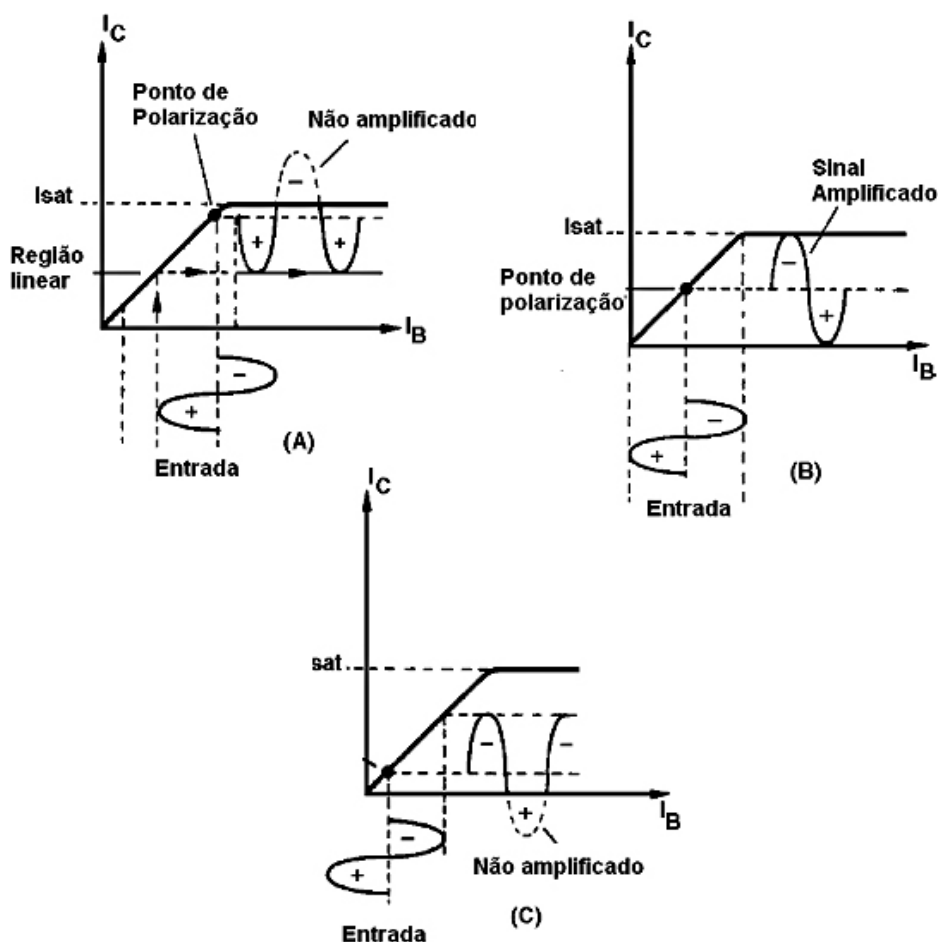


Figura 120 – Modos de polarização de um transistor

Em 120 (b) temos a polarização com um resistor que mantém a corrente de base em aproximadamente metade da corrente de saturação, ou seja, num ponto que corresponde ao meio da região de operação linear. Neste caso, tanto variações no sentido positivo como negativo do sinal, são “sentidas” pelo transistor, correspondendo a variações da corrente e tensão de coletor.

O transistor, desta forma, amplifica os dois semiciclos do sinal de entrada. Finalmente, temos em 120(c) a polarização próxima do corte, com um resistor de valor muito alto. Neste caso, as variações negativas da tensão de entrada, que ainda tenderiam a diminuir a corrente já pequena da base, não são respondidas.

Veja que, se pretendemos amplificar um sinal de áudio fraco como, por exemplo, num pré-amplificador, devemos escolher com cuidado a polarização, pois tanto no caso (a) como (c), o corte de um dos semiciclos significará uma distorção do sinal.

Por outro lado, se usarmos dois transistores, um operando como em (a) e o outro como em (b) da figura 120, podemos ter uma amplificação de uma forma “complementar”, e os dois semiciclos do sinal serão ampliados sem distorção. Veremos como fazer isso ao estudar os amplificadores!

O importante, entretanto, nesta polarização é que o cálculo do valor exato do resistor a ser usado é um procedimento que normalmente se encarrega de fazer o projetista. No nosso caso, é importante saber que o valor do resistor é essencial para a fidelidade de amplificação.

Na polarização que estudamos, existe um pequeno inconveniente que é a sua instabilidade. Os transistores podem apresentar pequenos desvios de suas características, que determinam os valores dos componentes externos em função das condições de operação como, por exemplo: variações da temperatura ambiente, da tensão de alimentação, etc. que o leitor poderá ver na figura 121.

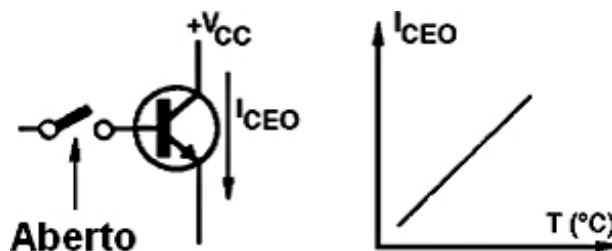


Figura 121 – A temperatura ambiente influi no comportamento do transistor

Estas variações podem ser suficientemente grandes para deslocar o ponto de funcionamento do transistor e, com isso, introduzir distorções. Uma primeira possibilidade de melhoria do desempenho do transistor é com a auto-polarização mostrada na figura 122.

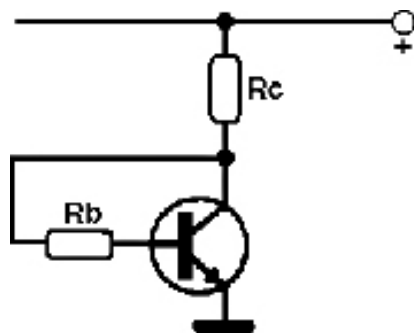


Figura 122- Auto-polarização de um transistor NPN

O resistor de polarização da base, que fixa a corrente na condição de repouso, é ligado ao coletor do transistor. Se a corrente de coletor tender a aumentar sozinha, pelo aquecimento do componente, por exemplo, isso vai causar uma diminuição da tensão neste ponto.

Lembramos que se a corrente no transistor aumenta, é como se sua resistência diminuísse e, portanto, há uma queda de tensão no componente. Ora, essa diminuição da tensão no coletor, aplicada ao resistor de base, faz com que a corrente de base também diminua. O resultado da redução da corrente de base é fazer cair a corrente no coletor, ou seja, compensa o efeito de seu aumento pelo calor.

Transistor como sensor

O fato da corrente entre o coletor e o emissor de um transistor depender da temperatura pode ter aplicações práticas importantes. Uma delas é que podemos usar o transistor como um sensível sensor de temperatura. Isso realmente é feito em muitas aplicações, inclusive de controle, quando se deseja desligar algum aparelho quando sua temperatura aumenta atingindo um ponto perigoso, ou para ligar um sistema de aquecimento, quando a temperatura cai.

Na Prática

As duas modalidades de operação do transistor, como chave e amplificando sinais, são importantes em todos os equipamentos eletrônicos. No setor digital, por exemplo, num microprocessador ou microcontrolador ou na unidade de sistema e no processamento de dados, a maior parte dos circuitos operam com transistores como chave, ou seja, denominados circuitos lógicos digitais, pois trabalham com bits. No entanto, existem também os circuitos que trabalham com o transistor amplificando sinais, ou seja, na forma analógica. É o caso de muitos circuitos do monitor de vídeo, do amplificador de som, multimídia, etc.

Válvulas

O que vimos para os transistores também é válido para as válvulas, levando em conta, é claro, suas características. Assim, as válvulas também podem ser utilizadas como chaves e como amplificadores.

Com esta configuração obtemos então uma maior estabilidade de funcionamento para o transistor. Outra forma de obter uma boa estabilização numa faixa mais ampla de operação é com a polarização que poderá ser vista na figura 123.

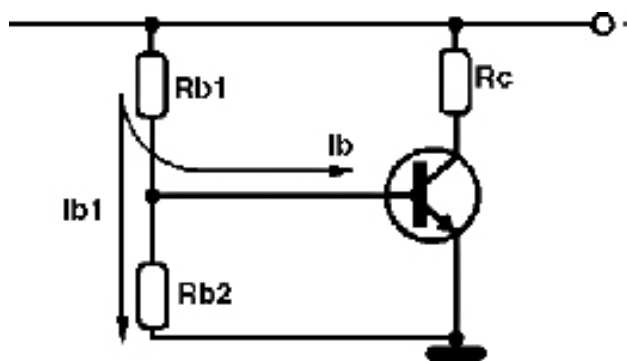


Figura 123 – Polarização com dois resistores

Usamos dois resistores na base do transistor formando um divisor de tensão, e para que a base não opere com uma tensão muito baixa, acrescentamos um resistor no emissor.

Lembramos que estas polarizações encontram disposições análogas em configurações de base comum e coletor comum, já que o que vimos foi mostrado nas configurações de emissor comum.

4.3 – Ganhos Alfa e Beta

Para especificar o fator de amplificação de um transistor, ou o seu “ganho”, utilizamos dois termos bastante importantes e que é bom que os leitores conheçam. Conforme estudamos, quando ligamos um transistor na configuração de emissor comum, pequenas variações da corrente de base provocam variações maiores da corrente de coletor.

Quantas vezes as variações da corrente de coletor são maiores que as variações da corrente de base nos dá o ganho Beta do transistor (B). Este fator é válido, portanto, para a amplificação de sinais de muito baixas frequências ou correntes contínuas. Para obter o fator beta, basta então aplicar a fórmula:

$$\beta = I_c / I_b$$

Onde : β = fator beta

I_c = corrente de coletor

I_b = corrente de base correspondente

Lembramos que as correntes devem ser expressas na mesma unidade.

Para os transistores comuns, os fatores Beta podem variar entre 2 ou 3 (transistores de alta tensão e alta potência) até mais de 1000

para tipos de baixos sinais, e mais de 10 000 para os chamados transistores Darlington.

Para a relação entre a corrente de coletor e corrente de base com sinais de baixas frequências ou corrente contínua, e para uma determinada intensidade de corrente de coletor, normalmente em torno de 1 mA, encontramos também a especificação “ganho estático de corrente” indicado por hFE. Outra forma de se indicar o ganho de um transistor é pelo fator Alfa (α).

Este fator corresponde à relação que existe entre a corrente de coletor e a corrente de emissor, na configuração de base comum, levando-se em conta que a corrente de emissor é sempre maior que a corrente de coletor, pois corresponde à soma da corrente de base com a própria corrente de coletor, conforme o leitor poderá ver na figura 124.

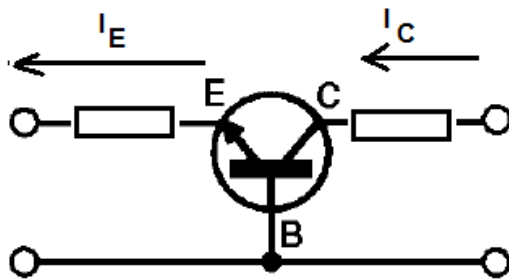


Figura 124 – As correntes num transistor

É fácil perceber que, quanto mais próximo de 1 estiver este valor, menor será a corrente de base em relação à corrente de coletor e, portanto, maior será o ganho do transistor. Também podemos perceber que, por maior que seja o ganho alfa de um transistor, ele nunca chegará a 1. Valores entre 0,9 e 0,999 são comuns nos transistores atuais.

Existe uma relação bem definida entre o fator beta e o alfa e que é dada pela fórmula :

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Alguns fornecedores vendem pares de transistores “casados”, já com os ganhos selecionados de modo a serem muito próximos

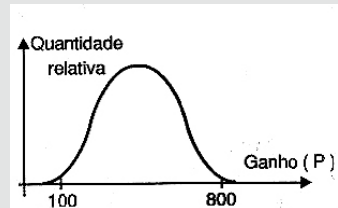
4.4 - Reguladores de Tensão

Uma aplicação importante para um transistor, num circuito que opera exclusivamente com corrente contínua, é como regulador em fontes de alimentação.

Quando estudamos o princípio de funcionamento dos diodos zener, vimos que aqueles dispositivos tinham por principal caracte-

Faixa de ganhos

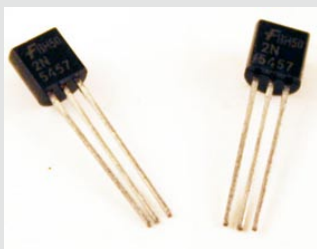
Os transistores de um mesmo tipo não têm exatamente o mesmo ganho. Quando pegamos um transistor de um determinado tipo, seu ganho poderá ter valores numa faixa determinada pelo fabricante. Por exemplo, os transistores BC548 podem ter ganhos entre 125 e 900. Isso significa que podemos pegar num mesmo lote, dois transistores do mesmo tipo, um com ganho 125 e outro com ganho 900. Nos projetos é comum trabalhar sempre com o ganho mínimo do tipo para se evitar problemas. Se precisamos de um transistor com ganho maior, devemos selecioná-los no lote.



Variação típica de ganho num lote de BC548

Transistores “casados”

Como os transistores do mesmo tipo podem ter ganhos diferentes, nas aplicações em que precisarmos de dois transistores exatamente com o mesmo ganho, ou seja, transistores ou pares casados, é preciso fazer uma seleção. Assim, pegamos uma boa quantidade de transistores do mesmo tipo e medimos os seus ganhos, escolhendo dois que estejam com os ganhos próximos.



rística manter constante a tensão entre seus terminais e assim funcionar como reguladores de tensão. No entanto, também vimos que estes componentes possuem uma capacidade limitada de conduzir corrente, ou seja, não podem estabilizar fontes de correntes muito intensas.

Se bem que atualmente sejam disponíveis zeners de altas potências, devido ao seu preço, nas aplicações mais comuns em que se deseja uma corrente maior e, conseqüentemente, em muitos circuitos de controle e potência, utiliza-se um artifício que veremos agora.

O que se faz é estabelecer a tensão desejada na saída de uma fonte através de um zener e utilizar um transistor de maior capacidade de corrente para mantê-la no valor desejado. Temos então a utilização de transistores como reguladores de tensão. Existem duas configurações em que podemos usar transistores com a finalidade indicada. A primeira, menos comum, que pode ser vista na figura 125, consiste no que é denominado “regulador paralelo”.

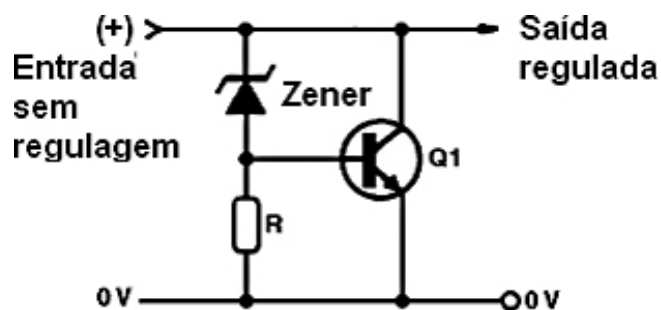


Figura 125 – Regulador ou estabilizador paralelo

Nesta configuração, o transistor é ligado de modo que a carga ou circuito externo alimentado fique entre o coletor e o emissor, ou seja, em paralelo. O zener estabelece na base do transistor a tensão que deve ser aplicada à carga.

Quando a tensão na carga varia, o zener “sente” esta variação atuando no sentido de fazer o transistor conduzir em maior ou menor intensidade, de modo a compensar a variação. Assim, se a tensão na carga aumenta, o zener atua fazendo o transistor aumentar sua condução. Com o aumento da corrente do coletor do transistor, cai ao valor normal a tensão na carga.

Um problema deste tipo de regulador é que sempre existe uma corrente relativamente intensa conduzida pelo transistor, causando a geração de uma boa quantidade de calor. Isso significa uma perda de energia muito grande na forma de calor. Este é um dos motivos que as fontes da maioria dos aparelhos eletrônicos modernos não emprega esta configuração em seus circuitos.

Um tipo de regulador de tensão mais comum é o que pode ser observado ao se na figura 126, sendo denominado “regulador série”.

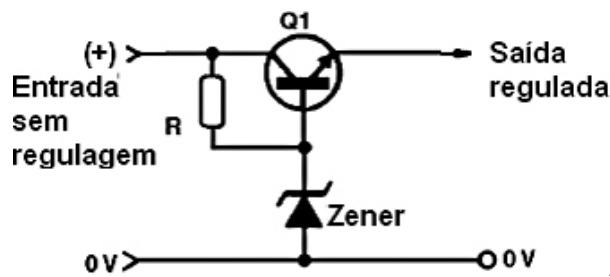


Figura 126 – O regulador série

Neste circuito, o diodo zener estabelece na base do transistor a tensão de referência. O transistor conduz então de modo a manter constante a tensão no seu emissor e, portanto, na carga alimentada.

Observamos que neste circuito, a tensão que aparece na saída, ou seja, no emissor, é aproximadamente 0,6 V mais baixa do que a tensão do zener, pois temos de compensar este valor para que a junção emissor-base seja polarizada no sentido direto.

Podemos perfeitamente usar transistores PNP nos mesmos circuitos, obtendo assim uma regulagem na linha negativa do circuito. Evidentemente o resultado final é o mesmo. Na figura 127 podemos ver a maneira de se fazer isso.

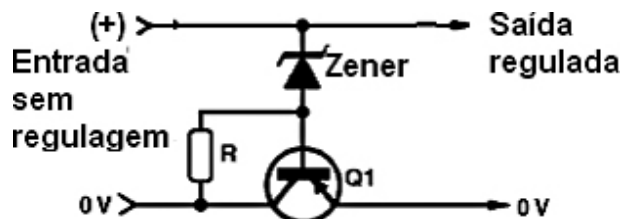


Figura 127 – Regulador série com transistor PNP

O valor do resistor utilizado neste circuito série é calculado de modo que tenhamos uma corrente compatível com o funcionamento do zener, e também que seja suficiente para polarizar a base do transistor, fornecendo a corrente desejada na saída.

Se um único transistor não for capaz de fornecer a corrente desejada, podemos associar diversas unidades em paralelo, conforme o leitor poderá ver na figura 128.

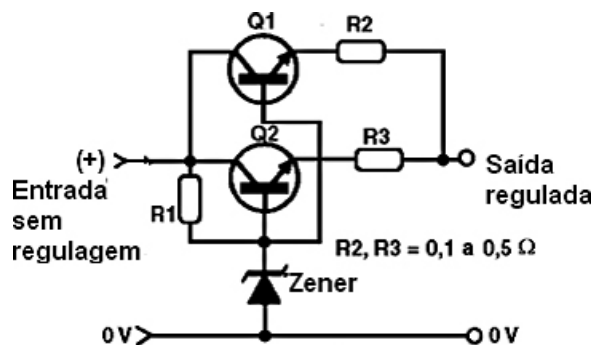
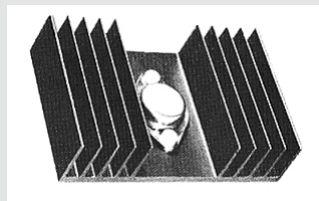


Figura 128 – Ligando transistores em paralelo

Radiadores de calor

Neste tipo de circuito, normalmente são usados transistores de potência montados em radiadores de calor, pois as correntes controladas são intensas.



Transistor de potência montado em radiador de calor

Na Prática

Há outra maneira de se regular a tensão num circuito, com muito menos perdas e, portanto, mais eficiente que é fazendo um transistor funcionar como chave (conforme já vimos). Esta modalidade de operação dá origem às chamadas fontes comutadas ou fontes chaveadas que alimentam a maioria dos equipamentos eletrônicos modernos como televisores, DVDs, computadores etc.

No entanto, para que as correntes tenham uma divisão que independa das pequenas diferenças de características que existem nos transistores, ainda que do mesmo tipo, os resistores em série são absolutamente necessários.

Também existe a possibilidade do uso de transistores intermediários para uma “pré-amplificação”, mas isso o leitor verá depois de conhecer as formas de acoplarmos os transistores. Para variar a tensão de um regulador deste tipo, há um artifício que será inclusive aproveitado em um de nossos projetos práticos.

O zener estabelece a tensão de referência e, em paralelo com ele, ligamos um potenciômetro que funciona como um divisor de tensão. Desta forma, girando o cursor do potenciômetro podemos variar a tensão na base do transistor entre 0 e o valor que corresponde à tensão do zener, conforme mostra a figura 129.

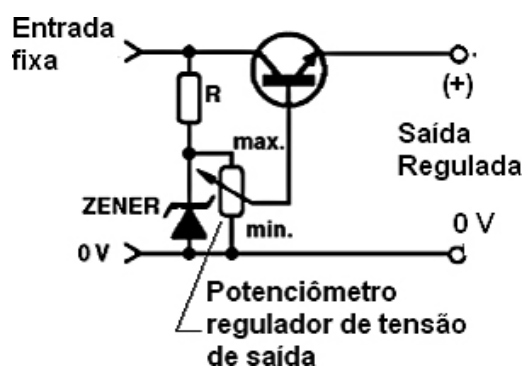


Figura 129 – Variando a tensão de saída

Levando em conta que o transistor começa a conduzir com aproximadamente 0,6 V, teremos na sua saída (emissor) uma tensão que irá ficar entre 0 e 0,6 V a menos que a tensão no diodo zener. Esta é uma forma muito simples de se obter uma fonte econômica de tensão variável.

Veja que a atuação do circuito será ainda de modo a manter constante na carga a tensão para a qual tenha sido o ajuste.

4.5 - Acoplamentos

Nos aparelhos eletrônicos que amplificam sinais, ou mesmo correntes contínuas, encontramos normalmente muitos transistores já que, dependendo da finalidade, um único transistor não proporciona a amplificação necessária.

Tais aparelhos são formados por diversas etapas, ou seja, circuitos de amplificação ou outras funções independentes, e que são interligados de modo que o sinal passe de um para outro, à medida que for sendo trabalhado.

A ligação de um circuito a outro, que é denominada ACOPLAMENTO, deve ser feita de modo que tenhamos a máxima transferência

de sinal de um para outro mas, ao mesmo tempo, seja proporcionada uma independência de funcionamento, ou seja, de polarização. Temos diversas maneiras de fazer isso e que serão analisadas a seguir.

4.5.1 - Acoplamento direto

A maneira mais simples de transferirmos o sinal de um transistor para outro, ou de uma etapa amplificadora para outra, é através do acoplamento direto. Na figura 130 observaremos duas maneiras de fazer isso.

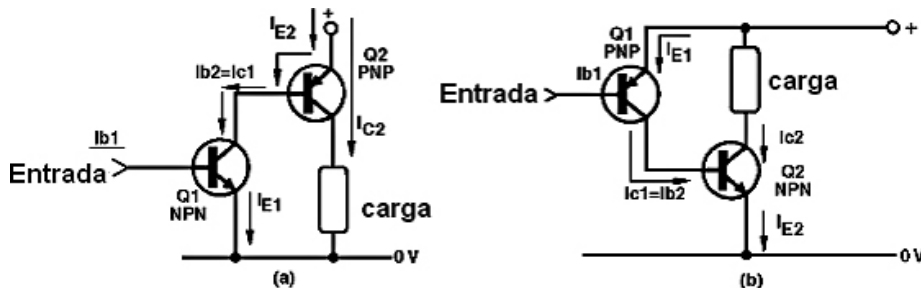


Figura 130 – Acoplamentos diretos com transistores complementares (um PNP e outro PNP)

Para que o transistor NPN conduza, devemos ter um aumento da sua tensão de base, ou seja, a corrente deve circular no sentido da base para o emissor, o que vai provocar a circulação de uma corrente maior no sentido do coletor para o emissor.

Ora, a corrente entre o coletor e o emissor já tem o sentido certo para polarizar a base do transistor PNP, provocando assim uma corrente maior no sentido do emissor para o coletor, conforme o leitor poderá ver na figura 131.

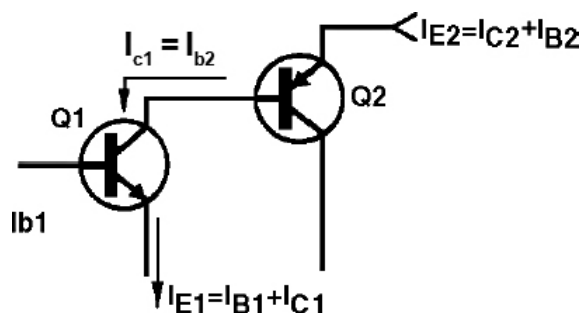


Figura 131 – As correntes no circuito

A corrente que obtemos no coletor do transistor PNP corresponde então à corrente de base do transistor NPN, multiplicada pelos ganhos dos dois transistores, aproximadamente! Variações muito pequenas da corrente de base do primeiro transistor (NPN) vão então corresponder a variações muito maiores da corrente de coletor do segundo transistor (PNP).

Transistores complementares

Conforme estudamos, as correntes nos transistores NPN têm sentidos contrários ao das correntes nos transistores PNP. Assim, quando usamos estes dois tipos de transistores num mesmo circuito, operando em conjunto, é comum dizermos que se tratam de transistores complementares ou pares complementares.

Aplicações Práticas

O fato de uma configuração Darlington poder trabalhar tanto com sinais, como também funcionar como chave a torna muito interessante para algumas aplicações práticas. De fato, muitos dispositivos encontrados em equipamentos de uso doméstico, automotivo, instrumentação, eletrônica médica, automação e mesmo do PC, como os motores de passo, motores de corrente contínua, acionadores de dispositivos mecânicos de drives e relés de alta potência podem ser acionados diretamente por transistores Darlington. As próprias fontes de alimentação de muitos desses aparelhos podem usar em alguns pontos transistores nesta configuração ou deste tipo.



Transistores Darlington de diversos tipos

Esta configuração amplificadora, por sua simplicidade, é muito usada em projetos de pequenos amplificadores de áudio, osciladores e outros circuitos. Também encontramos esta configuração em alguns circuitos de controle, digitais, periféricos de computadores como, por exemplo, placas de som, amplificadores multimídia, etc. Outra forma de acoplamento direto é a que pode ser vista na figura 132.

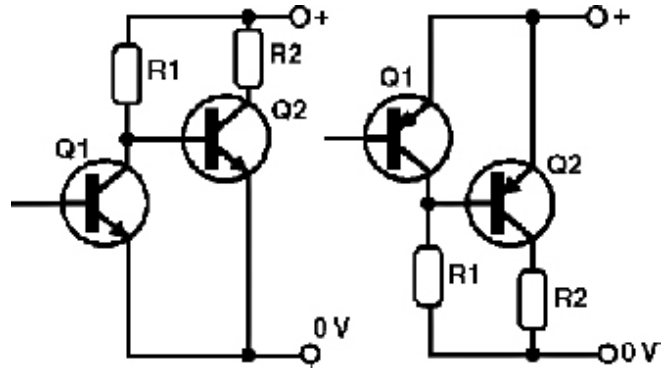


Figura 132 – Acoplamento direto com transistores do mesmo tipo

Para esta configuração podemos usar transistores do mesmo tipo, no entanto, temos um rendimento um pouco menor. É fácil perceber que o transistor Q1 atua como uma derivação para a polarização da base do transistor Q2. Assim, um aumento da condução de Q1 provoca uma diminuição da condução de Q2, o que é um comportamento diferente do obtido na configuração com transistores de tipos diferentes (NPN e PNP).

4.5.2 - Acoplamento Darlington

Esta é uma modalidade de acoplamento direto muito usada, proporcionando excelentes resultados no que se refere à amplificação. Na figura 133 temos o modo de se fazer este acoplamento e na imagem do lado esquerdo um transistor Darlington.

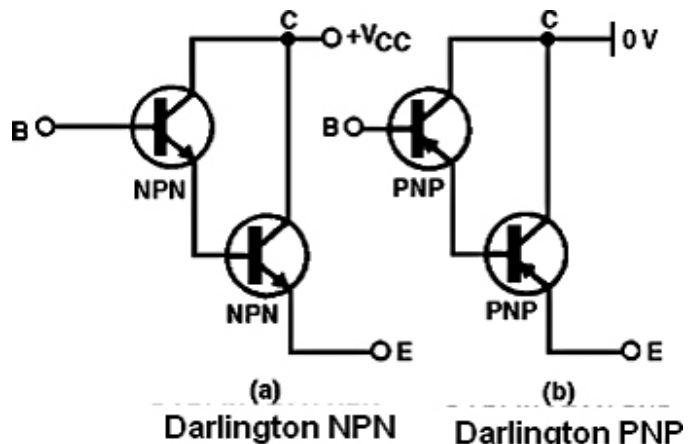


Figura 133 – Acoplamentos Darlington

Veja que podemos obter esta configuração tanto com transistores NPN, como PNP. O resultado final é que obtemos um “Super Transistor”. Onde os ganhos dos dois transistores associados ficam multiplicados. Assim, se usarmos dois transistores de ganho 100, obteremos um transistor Darlington com ganho $100 \times 100 = 10\,000$.

A utilidade desta configuração é tanta, que muitos fabricantes já possuem na sua linha de componentes transistores Darlington, ou seja, dois transistores já são fabricados e interligados numa mesma pastilha de silício e colocados no mesmo invólucro, conforme a figura 134 mostra. Transistores com ganho entre 1 000 e 10 000 vezes são disponíveis no mercado.

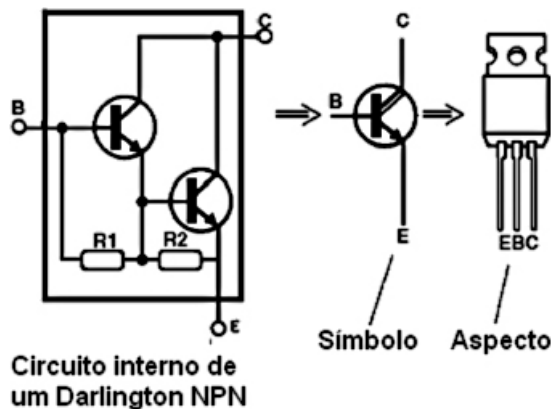


Figura 134 – Um transistor Darlington de potência

Usando Darlings

É comum precisarmos de um ganho elevado numa aplicação e utilizarmos dois transistores na configuração Darlington. Normalmente, quando fazemos isso, o primeiro transistor pode ser de baixa potência e o segundo de alta potência. Um Darlington de excelente desempenho é o formado por um BC548 e um TIP31.

Veja que também podemos usar três transistores nesta configuração, caso em que o ganho obtido será o produto dos ganhos dos transistores associados.

4.5.3 - Acoplamento RC

Uma das vantagens do acoplamento direto é que podemos trabalhar com sinais que vão desde correntes contínuas até sinais de frequências relativamente altas. No entanto, temos como desvantagem o fato de que não existe isolamento entre etapas, ou seja, os próprios transistores.

Se formos trabalhar com sinais que tenham uma certa frequência, ou seja, não forem de corrente contínua, e desejarmos um isolamento entre as etapas, podemos empregar o acoplamento RC.

Conforme estudamos, os capacitores oferecem uma pequena resistência à passagem de sinais cujas frequências sejam elevadas. Por outro lado, eles se comportam como um circuito aberto, ou seja, oferecem uma oposição infinita para a passagem de correntes contínuas.

Assim, no acoplamento que poderá ser visto na figura 135, o capacitor deixa passar facilmente o sinal amplificado por Q1 que aparece em seu coletor, para a base do transistor Q2.

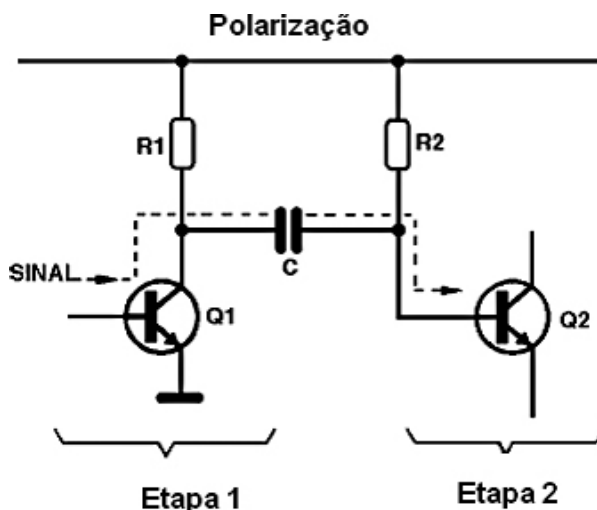


Figura 135 – O acoplamento RC

No entanto, a tensão contínua de polarização do coletor de Q1, que é proporcionada por R1, não interfere na polarização contínua fornecida por R2 à base de Q2. Em outras palavras, o sinal passa de um transistor para outro, mas estes possuem circuitos de polarização completamente independentes.

A vantagem do isolamento das polarizações deste tipo de acoplamento é contraposta à desvantagem de que, na passagem do sinal de um para outro transistor, temos uma certa perda de sua intensidade devido ao fato de que a impedância de saída de Q1, normalmente, não se “casa” exatamente com a impedância de entrada de Q2.

4.5.4 - Acoplamento LC

Nos circuitos de altas frequências, e mesmo em alguns casos de circuitos com sinais de áudio ou baixas frequências, temos uma variação do acoplamento anterior que é o LC. Os dois acoplamentos podem ser vistos na figura 136.

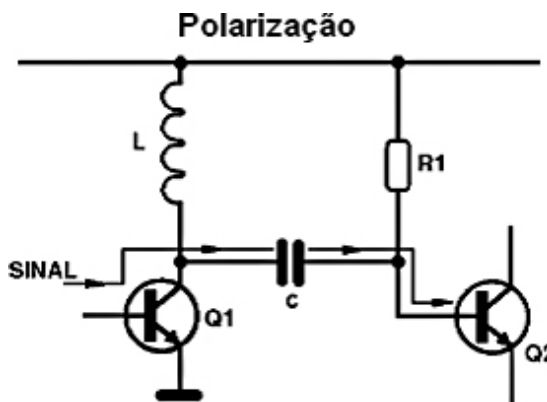


Figura 136 – O acoplamento LC

Conforme podemos perceber, L vem de indutância ou bobina e C de capacitância ou capacitor.

Neste caso, o capacitor deixa passar com facilidade o sinal de uma etapa para outra, mas bloqueia a circulação de correntes contínuas de polarização. Já o indutor (L1) deixa passar com facilidade as correntes de polarização, mas impede a passagem do sinal amplificado que, de outra forma iria, para a fonte.

4.5.5 - Acoplamento a transformador

A diferença entre a impedância de saída do transistor Q1 e de entrada do transistor Q2 pode ser compensada nesta forma de acoplamento que utiliza um transformador, conforme mostra a figura 137.

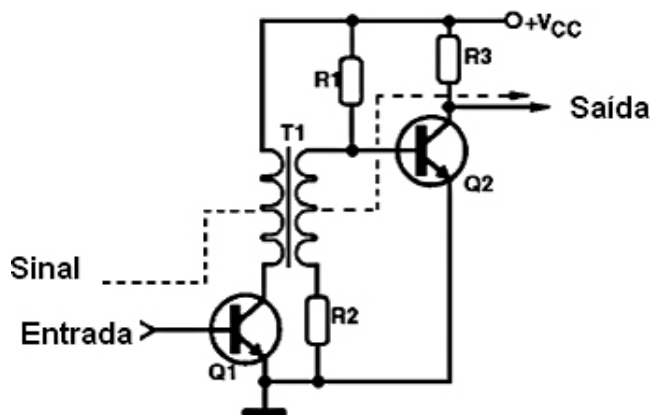


Figura 137 – Acoplamento a transformador

O sinal passa então de um enrolamento para outro do transformador, mas a polarização dos estágios não. Um tipo de transformador usado nesta aplicação é o denominado “driver” que aparece muito em pequenos receptores com transistores.

Nos circuitos de altas frequências temos os chamados transformadores de FI (frequência intermediária) e mesmo os transformadores de RF, conforme o leitor poderá ver na figura 138.

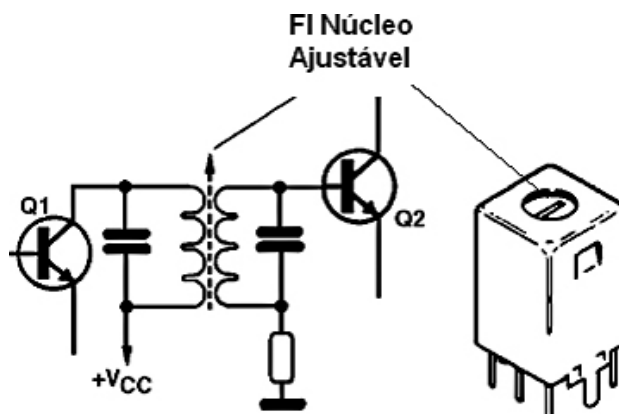


Figura 138 – Transformador sintonizado de frequência intermediária

No caso dos transformadores de FI e de RF, os enrolamentos podem ser sintonizados (quer seja pela movimentação do núcleo ou ainda do parafuso de um trimmer) para a frequência de operação quando então apresentam a máxima impedância para o sinal. Esse acoplamento seletivo tem então a vantagem de deixar passar para o circuito seguinte apenas os sinais que estão numa faixa bem estreita de frequências.

Um transformador também pode ser usado para acoplar um dispositivo qualquer à entrada ou saída de uma etapa amplificadora quando suas impedâncias são bem diferentes.

Obtém-se o maior rendimento na transferência de um sinal de um dispositivo a outro de uma etapa a outra quando suas impedâncias são iguais. Um exemplo pode ser visto na figura 139, em que usamos um transformador denominado “de saída”, para transferir o sinal de um transistor (que é um dispositivo cuja saída tem impedâncias relativamente alta) para um alto-falante (que é um dispositivo cuja impedância é muito baixa).

Transformadores de áudio

Os transformadores, por serem componentes caros, e nas aplicações de maior potência, também volumosos e pesados, dificilmente são utilizados em circuitos de áudio. Os acoplamentos diretos e outras técnicas, por terem maior rendimento e serem mais simples, são preferidos.

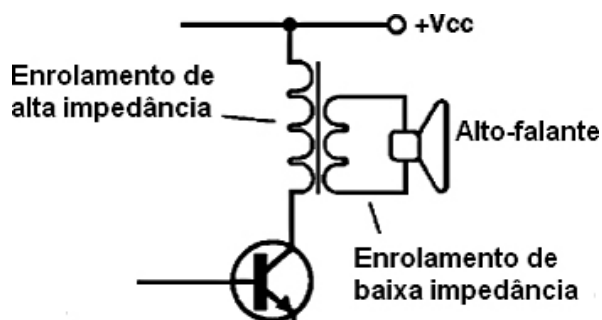


Figura 139 - Usando um transformador de saída

O transformador tem um enrolamento primário com impedância entre 100 e 5 000 ohms (conforme a potência), e sua saída no secundário é de 4 ou 8 ohms, conforme o alto-falante que se pretende usar.

Já, na figura 140 temos um exemplo em que usamos um transformador para casar a baixa impedância de um microfone, ou mesmo um pequeno alto-falante que pode ser usado nesta função, com a impedância mais alta da entrada de um amplificador.

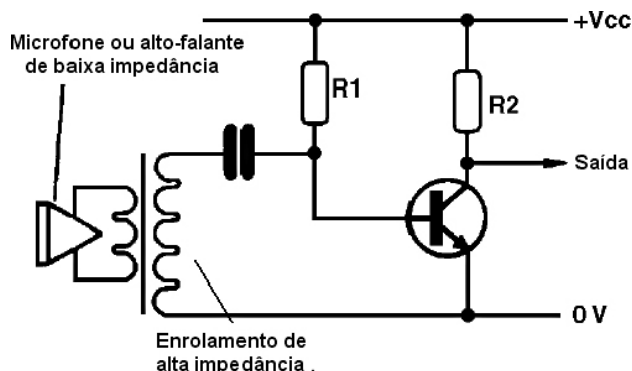


Figura 140 – Casando a baixa impedância de um microfone com a entrada de um circuito amplificador

Sem o transformador, o alto-falante não consegue transferir seu sinal para o amplificador, quando usado como microfone, e o rendimento é mínimo. Além disso, a baixa resistência do alto-falante sobrecarrega o dispositivo de saída do amplificador, no caso um transistor ou válvula. Com o transformador o rendimento melhora centenas de vezes.

4.6 – Desacoplamentos

Conforme estudamos, o acoplamento consiste no processo de transferência de um ponto a outro, ou de uma etapa a outra, de um circuito, havendo diversas maneiras de se fazer isso.

No entanto, da mesma forma que desejamos que um sinal passe de um ponto a outro de um circuito, em alguns casos precisamos fazer com que isso não ocorra.

Precisamos, neste caso, evitar que um sinal apareça num ponto de um circuito ou passe para outra etapa. O que fazemos, neste caso, é desacoplar o sinal e, da mesma forma que existem técnicas para fazermos o acoplamento, também existem técnicas para se desacoplar um sinal.

Um primeiro caso é mostrado na figura 141, em que temos um transistor polarizado com um resistor no emissor.

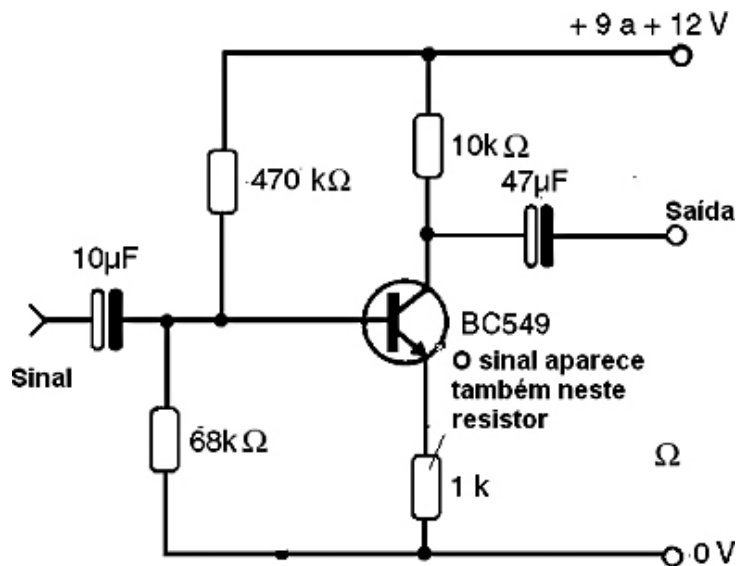


Figura 141 – O sinal aparece sobre o resistor de 1k afetando a polarização

A função deste resistor é manter a tensão de emissor um pouco acima do valor de terra (0 V), facilitando assim a ação dos resistores de base.

Ocorre, entretanto, que com o sinal aplicado à base deste transistor, a tensão sobre este resistor varia conforme a condução, o que traz alterações na polarização do transistor. Com isso, o ganho do transistor fica afetado.

Na Prática

Os acoplamentos RC, LC e com transformador são muito comuns nos circuitos básicos de uma grande quantidade de equipamentos eletrônicos, pois a maioria trabalha em algum ponto de seus circuitos com sinais de áudio e alta frequência. Assim, nos setores dos aparelhos que trabalham com este tipo de sinal, estas configurações podem ser encontradas. É o caso de televisores, rádios, equipamentos de som e mesmo nos computadores onde existem placas de recepção de sinais de TV que podem ter os acoplamentos indicados, pois trabalham com RF e áudio, ou ainda das placas de som e dos circuitos dos próprios monitores de vídeo e amplificadores de áudio para multimídia.

Uma maneira de se evitar isso é fazendo com que o sinal amplificado não apareça neste ponto do circuito, desviando-o para a terra.

Sabemos que um capacitor apresenta uma baixa impedância para os sinais alternados. Assim, basta ligar em paralelo com o resistor um capacitor, que ele desvia para a terra os sinais indesejáveis que apareceriam sobre o resistor. Este resistor, mostrado na figura 142, é denominado de “desacoplamento”.

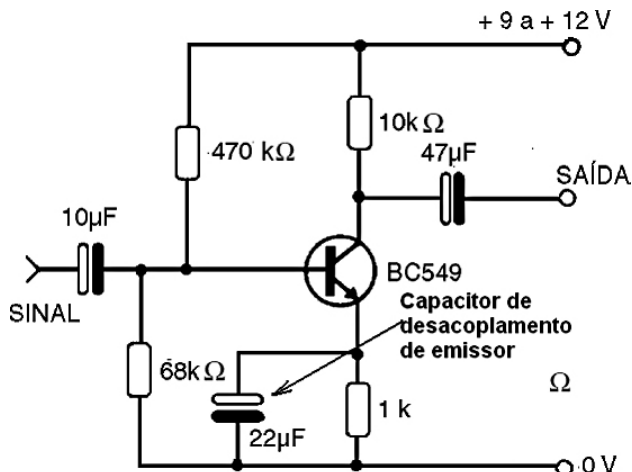


Figura 142 – Desacoplamento o emissor do transistor

Podemos usar a mesma técnica para desacoplar um transistor que funcione na configuração de base comum, evitando que os sinais apareçam sobre os resistores de polarização de base, conforme mostra a figura 143.

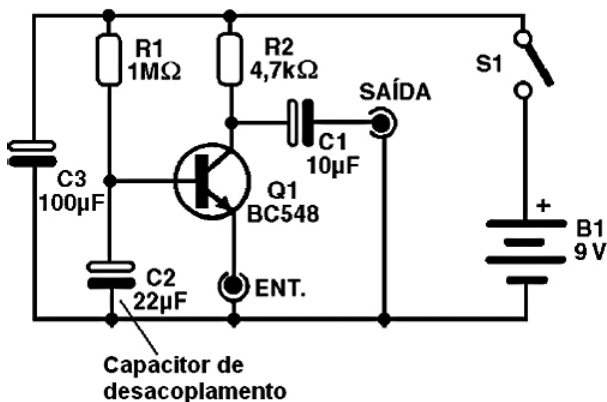


Figura 143 – Neste amplificador de base comum, o capacitor desacopla a base

Nos dois casos, os valores dos resistores dependem da frequência com que o sinal trabalha. Nos circuitos de áudio são utilizados capacitores eletrolíticos de valores elevados. Nos circuitos de alta frequência são utilizados capacitores cerâmicos de valores menores.

Outro caso importante, em que usamos capacitores de desacoplamento, é em fontes de alimentação. Os cabos ou trilhas de uma pla-

ca, que ligam uma fonte a um componente, representam indutâncias e capacitâncias parasitas, conforme já vimos. Através delas e dos cabos podem entrar sinais indesejáveis que alimentam um componente sensível, como um circuito integrado.

Nestes casos, usamos capacitores de desacoplamento da fonte, como mostra a figura 144, cuja função é colocar em curto eventuais sinais que possam entrar no componente, evitando que isso aconteça.

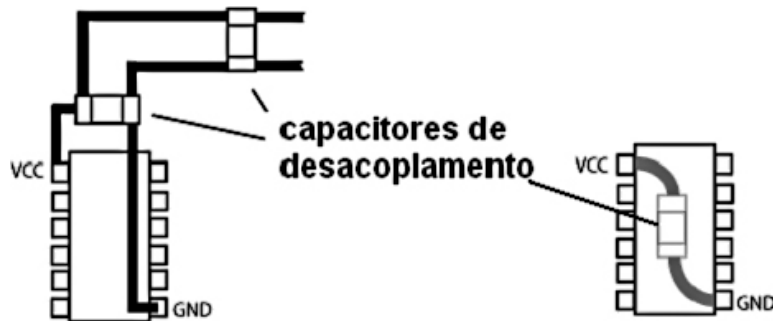


Figura 144 – Desacoplamento a alimentação de circuitos integrados

Ainda nas fontes de alimentação, os capacitores eletrolíticos usados na filtragem são levemente indutivos, não deixando passar os sinais de altas frequências.

Assim, para desacoplar estes sinais, que podem aparecer no circuito, instabilizando seu funcionamento, é comum ligar em paralelo com estes capacitores, capacitores cerâmicos menores, conforme mostra a figura 145.

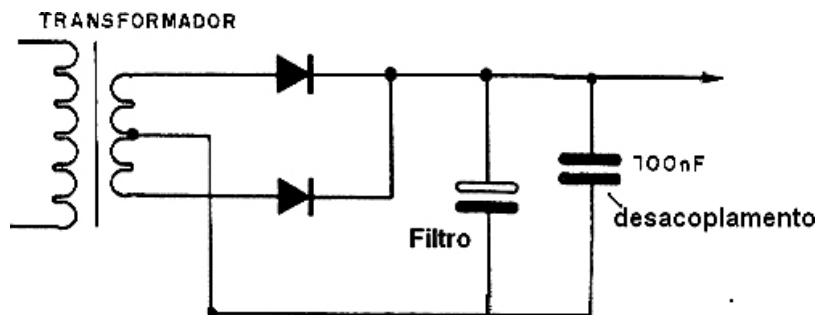


Figura 145 – Capacitor de desacoplamento em paralelo com capacitor de filtro, numa fonte

Os capacitores cerâmicos deixam as altas frequências passar com facilidade, desviando-as para a terra. Este recurso é usado principalmente em fontes de circuitos de altas frequências, tais como transmissores.

Finalmente, na entrada da alimentação da maioria dos circuitos, é utilizado um capacitor em paralelo com a fonte, de modo a fazer o desacoplamento da fonte, ou seja, evitar que sinais gerados neste circuito passem através da fonte para outros circuitos que eventualmente também sejam alimentados por ela.

Motorboating

Um problema interessante que ocorre com pequenos rádios, amplificadores alimentados por pilhas e outros que operam com sinais de som, é um ruído semelhante ao pipocar de um motor de barco, denominado “motorboating”. Ele ocorre quando a resistência interna das pilhas aumenta com seu desgaste, e os sinais podem passar de uma etapa a outra do circuito, através da fonte, causando oscilação. Um capacitor de desacoplamento na fonte, ajuda a eliminar este problema.

Termos em Inglês

Os principais termos em inglês para esta lição são dados a seguir. Estes termos podem ser utilizados em pesquisas pela internet.

Coupling – acoplamento

Decoupling – desacoplamento

Impedance match – casamento de impedância

Gain – ganho

Characteristic curve- curva característica

Region – região

Bias – polarização

Motorboating – barulho de motor de lancha

Output transformer – transformador de saída

Temas para pesquisa:

- Acoplamentos
- Transistores Darlington
- Ganho de transistores
- Casamento de impedância
- Máxima transferência de potência
- Impedância

QUESTIONÁRIO

1. Em que ponto ou região da curva característica trabalha um transistor quando usado como chave?
 - a) Ponto de saturação
 - b) Ponto de corte
 - c) Região linear
 - d) Região de resistência negativa

2. Para energizar uma carga ligada ao coletor de um transistor usado como chave, devemos aplicar na sua base uma corrente de que intensidade em relação à necessária à saturação?
 - a) muito menor
 - b) maior
 - c) Igual ou menor
 - d) depende do ganho do transistor

3. No mínimo, quantos resistores devemos ligar à base de um transistor para polarizá-los?
 - a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

4. A corrente de coletor de um transistor, operando na região linear, é 50 vezes maior do que a corrente de base que a provoca. Qual é o ganho Beta deste transistor?
 - a) 10 b) 20 c) 50 d) 100

5. Qual é o valor máximo teórico do ganho Alfa de um transistor?
 - a) 0 b) 1 c) 10 d) 100

6. Onde é conectado no transistor um diodo zener, quando elaboramos um regulador de tensão tipo série?
 - a) no emissor
 - b) na base
 - c) no coletor
 - d) o ponto depende se o transistor é NPN ou PNP

7. Num regulador tipo série, a tensão no emissor do transistor é maior ou menor que a tensão do diodo zener?
 - a) 0,6 V maior
 - b) 0,6 V menos
 - c) Igual à tensão do zener
 - d) Depende se o transistor é NPN ou PNP

8. Qual é o tipo ideal de acoplamento para casar a impedância entre duas etapas?
 - a) RC b) direto c) LC d) com transformador



» Transistor Unijunção e de Efeito de Campo

Os transistores que estudamos até agora são os denominados bipolares ou de junção. Estes transistores, entretanto, não são os únicos componentes ativos que podem ser fabricados com base nas junções entre os materiais semicondutores. Se bem que sejam os mais utilizados na atualidade, e que representem a grande maioria dos tipos que encontramos nos equipamentos eletrônicos de todos os tipos, existem ainda outros componentes igualmente importantes e que se encaixam na família dos transistores. Neste capítulo falaremos então dos transistores de junção única ou unijunção (UJT ou TUJ) que são usados na produção de sinais de baixas frequências, como elementos ativos de osciladores de relaxação, e também dos transistores de efeito de campo (abreviadamente FETs), os transistores de efeito de campo MOS e outros componentes que já ocupam uma posição de grande destaque na eletrônica moderna em vista das suas possibilidades de aplicações práticas. Este capítulo constará então dos seguintes itens:

- 5.1 - A estrutura e funcionamento do transistor unijunção
- 5.2 - Outras aplicações para os transistores unijunção
- 5.3 - Transistores de efeito de campo de junção
- 5.4 - Os transistores de efeito de campo MOS
- 5.5 - Cuidados com a ESD
- 5.6 - Polarização e circuitos com transistores de efeito de campo MOS
- 5.7 - Os transistores de potência MOS ou Power MOSFET

5.1 - A Estrutura do Transistor Unijunção

O transistor unijunção consiste num dispositivo eletrônico de estado sólido, da família dos transistores, com características que permitem sua aplicação basicamente em circuitos de temporização e osciladores de baixas frequências.

Se bem que este componente já não seja muito usado nas aplicações modernas, suas características são de extrema importância para o entendimento de muitos circuitos e componentes mais modernos, daí termos incluído o UJT (Unijunction Transistor) em nosso curso.

Na verdade, existem hoje diversos componentes com características semelhantes ao transistor unijunção e que serão estudados ainda neste capítulo e em outros volumes de nossa série de cursos.

Na figura 146 temos o símbolo adotado para representar o transistor unijunção e a sua estrutura.

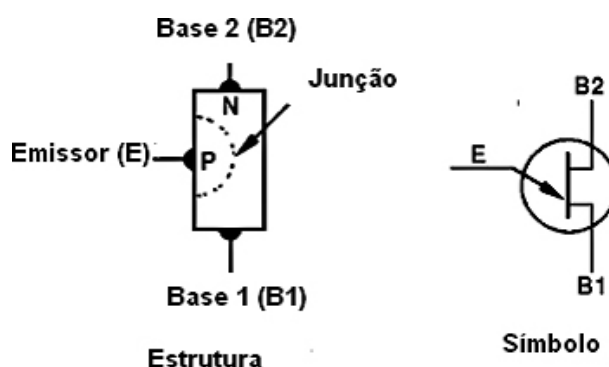


Figura 146 - Estrutura e símbolo do transistor unijunção

Conforme podemos ver pela estrutura, num pedaço de material semiconductor do tipo N são ligados dois elementos de conexão externa (eletrodos) que recebem a denominação de base 1 (B1) e base 2 (B2).

Como entre os dois pontos de conexão destes elementos não existem junções para a corrente atravessar, entre eles temos uma resistência pura, ou seja, uma resistência ôhmica.

Esta resistência, que pode ser constatada com um multímetro em qualquer sentido de circulação da corrente ou aplicação das pontas de prova, tem um valor típico entre 4 000 ohms e 15 000 ohms.

Esta resistência é chamada de “resistência interbases” sendo abreviada nos manuais pela sigla R_{bb} .

No meio do material semiconductor N é difundida uma região de material semiconductor do tipo P, de modo que entre elas se forma uma junção que é a única junção do transistor, e que lhe dá nome. Na região P é ligado o terceiro eletrodo do transistor unijunção que recebe o nome de emissor (E).

Na prática, para fazer funcionar o transistor unijunção, aplicamos uma tensão positiva a base 2 e ligamos a base 1 à terra, de modo que entre elas circule uma pequena corrente, determinada apenas pela

resistência ôhmica entre os dois pontos considerados, conforme o leitor poderá ver na figura 147.

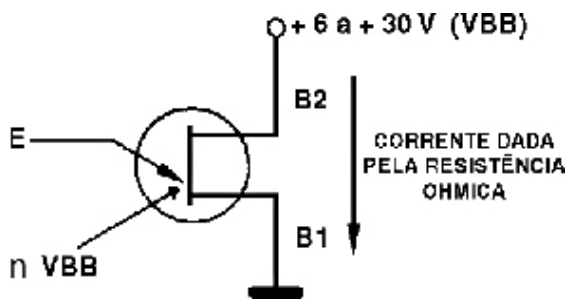


Figura 147 – As correntes no transistor unijunção

A região de emissor, entretanto, fica numa posição tal em relação ao material, que temos do lado do material N certa tensão intermediária entre o positivo aplicado e zero volt. A própria junção se comporta como se tivéssemos um diodo ligado a um divisor de tensão, conforme mostra a figura 148.

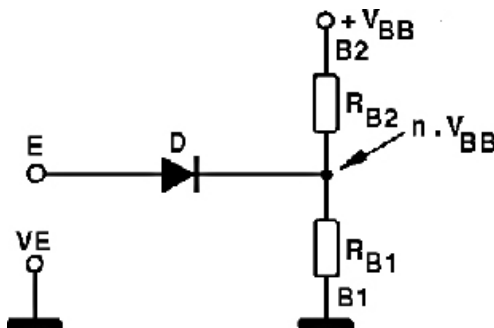


Figura 148 – Circuito equivalente ao transistor unijunção

A junção entre RB1 e RB2, onde está ligado o diodo, representa a posição da junção semicondutora em relação ao material N.

A divisão de valores entre estas duas resistências RB1 e RB2 fixa uma importante característica do transistor unijunção, que é a chamada Relação Intrínseca, abreviada por η . Assim, se a divisão de resistências do material for exatamente ao meio, ou seja, RB1 for igual a RB2, a relação intrínseca será de 0,5.

Se a divisão for tal, que do valor total da resistência interbases RB1 fique com 70%, e RB2 com 30%, a relação intrínseca será de 0,7.

Para um transistor unijunção comum, como o 2N2646, teremos relações intrínsecas típicas entre 0,5 e 0,8. O que significa isso quando usamos o transistor unijunção?

Se aplicarmos uma tensão positiva no emissor do transistor unijunção, de modo a fazer com que ocorra a condução de corrente por este elemento, teremos de vencer dois obstáculos.

O primeiro é a própria junção do diodo que existe no local, que nada mais é do que a junção entre o emissor e o elemento onde estão

Circuito equivalente

Para explicar o funcionamento de determinados componentes, é comum utilizarmos circuitos equivalentes. Por exemplo, um transistor pode ser representado por dois diodos em oposição, assim como um transistor unijunção por um diodo e dois resistores. Entretanto, isso não significa que se ligarmos dois diodos em oposição teremos um transistor, e se ligarmos dois resistores e um diodo, teremos um transistor unijunção. A equivalência é apenas para efeito de entendimento do princípio de funcionamento.

2N2646

O transistor 2N2646 é o mais popular de todos os dessa família de componentes.



ligadas as bases. Para vencer esta junção, precisamos de 0,6 V, aproximadamente, já que o material é o silício.

O segundo obstáculo é a tensão que existe no ponto em que está ligado o diodo, ou seja, a união entre RB2 e RB1. A tensão neste ponto está justamente determinada pela relação intrínseca.

Assim, se aplicarmos 10 V ao transistor, e sua relação intrínseca for de 0,6, isso significa que precisaremos de $0,6 \times 10 = 6$ V da relação intrínseca, e mais 0,6 V da junção, para vencer os obstáculos e tornar o transistor condutor. Precisamos então 6,6 V para que isso ocorra, conforme o leitor poderá ver na figura 149.

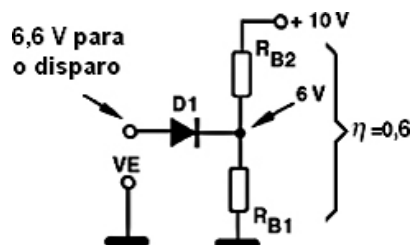


Figura 149 – Disparando o transistor unijunção

Mas, o que acontece quando aplicamos uma tensão crescente que, partindo de zero volt no emissor, chega a este ponto de haver a condução?

Neste caso, o que ocorre é que a condução não se faz de maneira suave, mas sim abrupta; o transistor repentinamente tem sua resistência reduzida entre o emissor e a base 1, podendo conduzir assim uma corrente muito intensa. Esta resistência que, conforme vimos, pode ter valores entre 4 000 ohms até 15 000 ohms ou mais, repentinamente cai para um valor que pode ser tão baixo de alguns ohms apenas. Um valor típico para esta resistência, no 2N2646, é de apenas 20 ohms.

Podemos dizer que, em função do que foi visto, o transistor unijunção se comporta como um interruptor acionado por tensão. No ponto de disparo, sua resistência cai acentuadamente caracterizando assim uma curva em que temos uma resistência negativa, conforme o leitor constatará na figura 150.

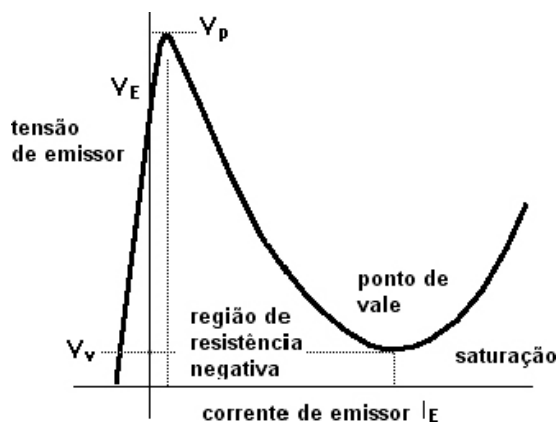


Figura 150 - Característica do transistor unijunção

Este comportamento torna o transistor unijunção ideal para ser usado num tipo especial de oscilador que já veremos nas próximas lições.

5.1.1 – O Transistor Programável Unijunção ou PUT

O PUT ou Programmable Unijunction Transistor, que traduzindo nos leva a Transistor Programável Unijunção, é um dispositivo semiconductor da família dos tiristores.

Trata-se de um dispositivo semiconductor elaborado em torno de 4 camadas de materiais de polaridades alternadas, de modo que seu circuito equivalente pode ser dado por dois transistores numa chave regenerativa como mostra a figura 151.

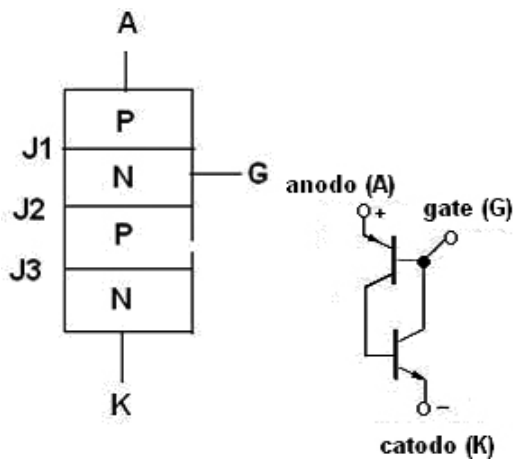


Figura 151 – Estrutura e símbolo do PUT

Isso nos leva ao símbolo do PUT mostrado na figura 152.

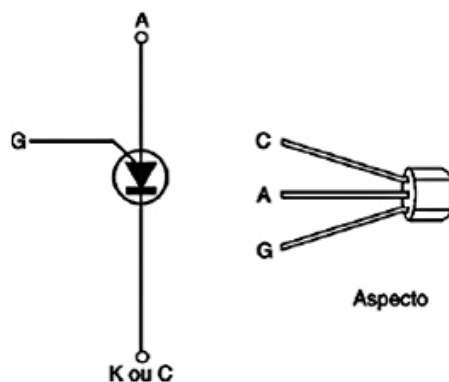
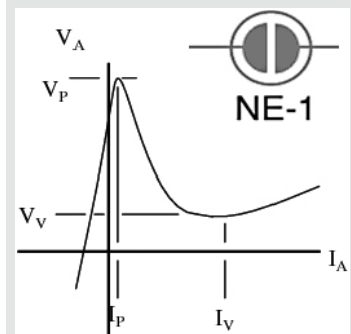


Figura 152 – Símbolo e aspecto do PUT

No PUT, podemos programar o ponto de disparo, e ele passa a se comportar como um transistor unijunção (UJT) em que o disparo é determinado pelos resistores R1 e R2 externos, conforme mostra a figura 153. Nesta figura também temos os procedimentos de cálculo para determinar os resistores.

Lâmpada neon

As lâmpadas neon possuem uma característica muito semelhante aos transistores unijunção, podendo ser consideradas “equivalentes” antigos desses componentes. Estas lâmpadas ionizam com tensões da ordem de 80 V. Ao acenderem o brilho é alaranjado e elas exigem uma corrente extremamente pequena (da ordem de microampères) para se manterem acesas. Na figura temos o símbolo e a curva característica de uma lâmpada neon, que semelhante ao de um transistor unijunção.



Tiristores

Trata-se de uma família de dispositivos semicondutores muito usados no controle de potência, ou seja, de circuitos de correntes intensas. Os componentes desta família, em sua maioria, são diodos de 4 camadas. No volume deste curso que se dedica a automação e controles de potência, esta família de componentes é estudada mais detalhadamente.

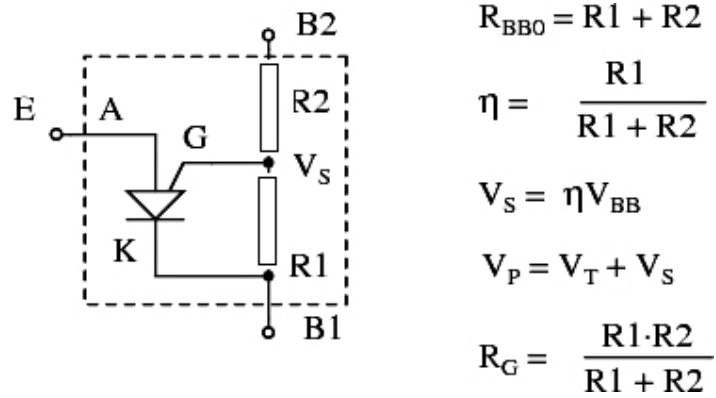


Figura 153 – Programando o PUT

Assim, fazendo uma analogia agora com o transistor unijunção, os resistores externos, determinam a relação intrínseca do componente, ou seja, a tensão de emissor em que ocorre o disparo.

Por estas características, estes componentes são excelentes para a elaboração de osciladores de relaxação, que estudaremos nas próximas lições.

De fato, sua principal aplicação é justamente esta: osciladores de relaxação para serem usados em áudio, timers e outras aplicações de baixas frequências.

O PUT, na realidade é um componente algo antigo, pois foi inventado em 1967, mas não se tornou tão popular como se esperava, dados os avanços muito rápidos da tecnologia dos semicondutores, que logo desenvolveu outras técnicas para se obter os mesmos efeitos com outros dispositivos.

5.2 – Outras Aplicações Para os Transistores Unijunção

Além dos osciladores, que serão estudados em lições separadas deste curso, levando em conta que o transistor unijunção vai produzir um pulso somente depois que o capacitor C atinge certa tensão entre suas armaduras, podemos usá-lo como um temporizador ou retardo, conforme mostra a figura 154, em que temos um circuito de retardo para um relé.

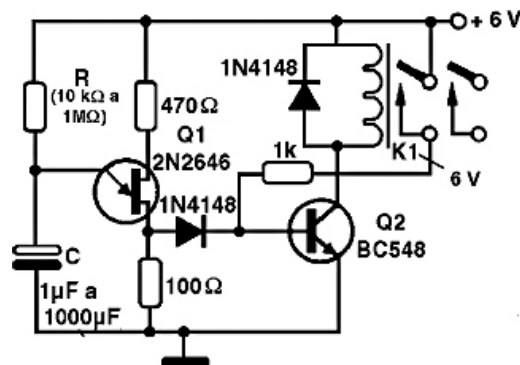


Figura 154 – Um temporizador com relé

Quando ligamos a alimentação, não há polarização para o transistor comum que aciona o relé. Ao mesmo tempo, C carrega-se lentamente através do resistor R, até que o transistor unijunção dispara.

Com o transistor disparando, temos um pulso de curta duração que polariza Q2, de modo que o relé é momentaneamente energizado. O fechamento momentâneo do relé faz com que ele trave, e com isso, a carga é mantida alimentada.

Na figura 155 o leitor poderá ver um circuito que converte um sinal de uma forma de onda qualquer em pulsos de duração e intensidade constantes.

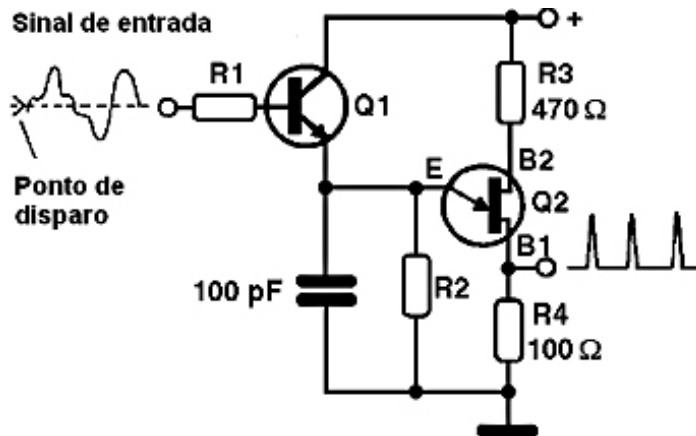


Figura 155 – Convertendo sinais

O sinal é aplicado na entrada do circuito e, com isso, provoca variações da tensão no emissor do transistor unijunção. Nas excursões positivas do sinal de entrada, quando a tensão de disparo do unijunção é atingida, este componente “liga” provocando a descarga do capacitor com a produção de um pulso.

O capacitor deve ser dimensionado para estar carregado rapidamente antes dos disparos que ocorrem em função da frequência do sinal de entrada.

5.3 – Os Transistores de Efeito de Campo de Junção (JFET)

O transistor de efeito de campo TEC, abreviadamente do Português, ou ainda FET da abreviação em Inglês (Field Effect Transistor), é um dispositivo semiconductor de grande utilidade na eletrônica, dadas suas características.

Encontramos os FETs em muitos pontos dos circuitos equipamentos eletrônicos de todos os tipos. Existem dois tipos básicos de transistores de efeito de campo. O que vamos estudar inicialmente é o transistor de efeito de campo de junção ou J-FET (JFET).

Na figura 156, o leitor poderá ver a estrutura básica de um transistor deste tipo, assim como seu símbolo.

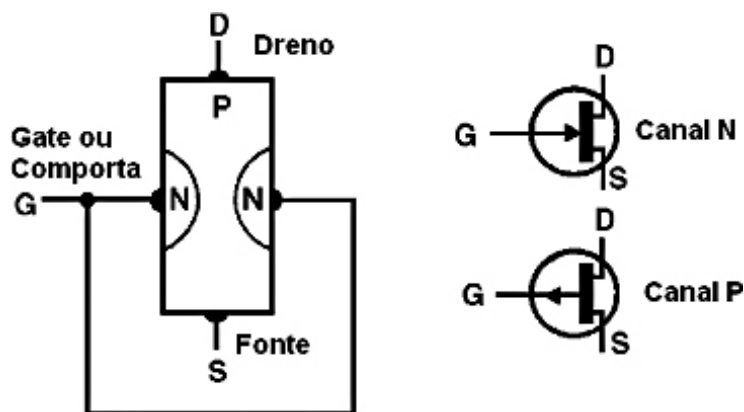


Figura 156 – Estrutura do JFET e seus símbolos

A região do canal pode ser de material P ou N, o que determina dois tipos de transistores de efeito de campo quanto à polaridade: canal N ou canal P.

No material que forma o canal são ligados dois eletrodos denominados fonte (abreviado por s de “source” em inglês) e dreno (abreviado por d de “drain”). No meio deste material é implantada uma segunda região semicondutora de material de carga oposta (P nos de material N e N nos de material P) que forma uma estreita passagem para a corrente, que vai da fonte ao dreno. Esta região é a da comporta, abreviada por g (de “gate” em inglês).

O fluxo de cargas entre a fonte e o dreno pode ser controlado pela tensão aplicada à comporta, responsável por cargas estáticas capazes de atuar com um campo nesta região. O leitor poderá ver o que ocorre na figura 157.

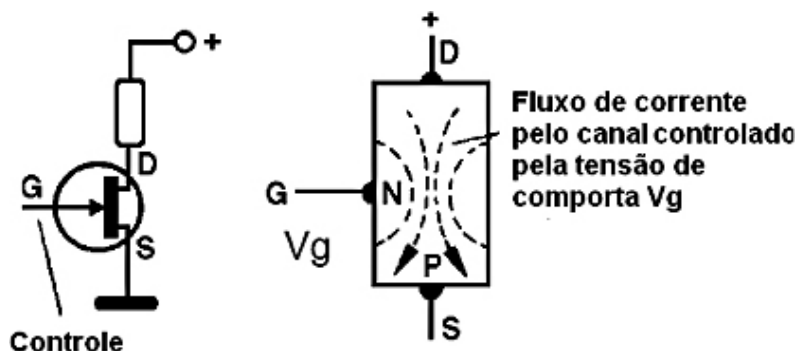


Figura 157 – Uma tensão em g controla a corrente entre d e s.

Tomando então um FET de canal N, conforme mostra a figura, a corrente entre o dreno e a fonte é máxima quando a tensão entre a comporta e a fonte é zero. Aplicando-se, a partir deste ponto, uma tensão inversa àquela que polariza a junção do transistor, o canal para a passagem da corrente entre o dreno e a fonte vai estreitando-se pela presença de cargas elétricas, o que significa a redução da intensidade da corrente.

Veja que não podemos aplicar uma tensão que polarize a junção diretamente, pois aí temos a simples condução desta corrente, e não o controle da corrente entre o dreno e a fonte.

Para certa faixa de tensões entre o dreno e a fonte, a proporcionalidade entre a corrente de dreno e a tensão de comporta é quase linear, o que possibilita usar este dispositivo como amplificador de sinais como o transistor. Na figura 158, o leitor poderá observar uma “família” de curvas de um transistor de efeito de campo deste tipo.

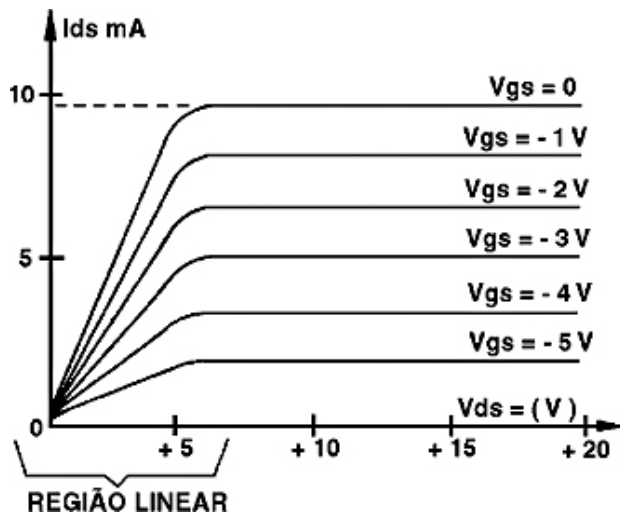


Figura 158 – Família de curvas de um JFET

O ganho de um transistor de efeito de campo é expresso por uma grandeza chamada transcondutância (abreviada por gm), correspondendo à relação que existe entre a variação da corrente de dreno em relação a variação da tensão de comporta.

Assim, se o gm de um transistor de efeito de campo é 2 mA/V, isso quer dizer que uma variação de 1 V na tensão de comporta, causa uma variação de 2 mA na corrente entre o dreno e a fonte.

Observe o leitor que corrente sobre tensão, como aparece na fórmula, ou seja, mA dividido por volts é justamente o contrário da Lei de Ohm (que já foi estudada no volume Eletrônica Básica) que define resistência como tensão sobre corrente.

Assim, também era costume expressar a transcondutância de um transistor de efeito de campo numa unidade chamada “mho”, que é justamente a palavra “ohm” escrita ao contrário! Atualmente, em lugar desta unidade, usamos outra que é o Siemens, abreviado por S e por seus submúltiplos. Isso significa que 2 mA por volt é na realidade expresso como 2 mS (lê-se dois milisiemens).

Para usar um transistor de efeito de campo de junção, precisamos polarizá-lo. As configurações também são as mesmas que podemos obter com os transistores bipolares. Essas configurações podem ser vistas na figura 159.

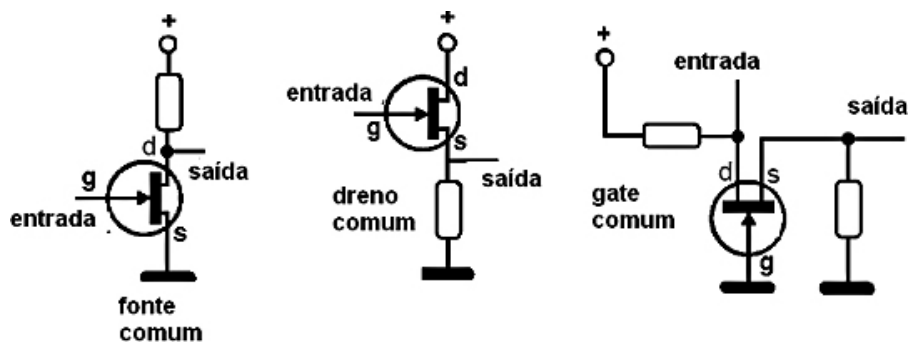


Figura 159 – Configurações dos JFETs

Temos então as configurações de fonte comum, dreno comum e comporta comum. Na figura 160, temos dois circuitos de polarização de um FET para a configuração de fonte comum.

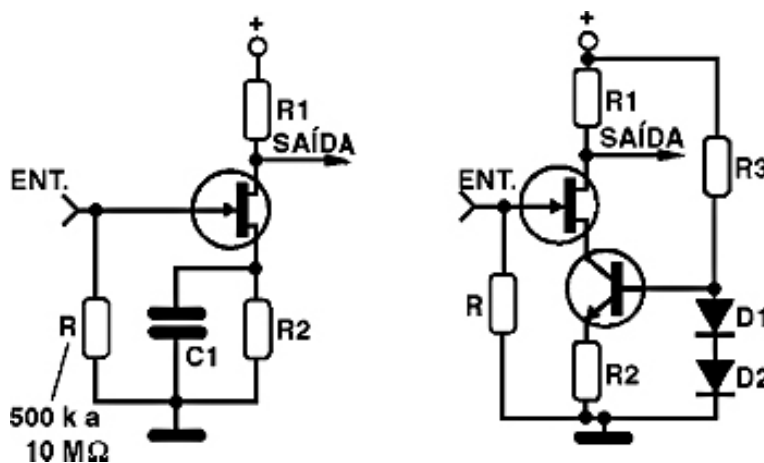


Figura 160- Circuitos de polarização do JFET

No primeiro, temos a chamada auto-polarização onde o resistor usado tem valores típicos entre 500 k ohms e 10 M ohms. Veja que esta é a impedância de entrada do amplificador, que é bem maior do que a obtida com transistores bipolares.

Esta é uma característica importante dos circuitos que usam transistores de efeito de campo, e que os aproxima muito mais das características obtidas para as válvulas comuns, do que dos transistores comuns.

No segundo caso, temos uma polarização por fonte de corrente constante, onde se melhora a estabilidade de funcionamento do circuito.

Os transistores de efeito de campo de junção mais comuns atualmente são transistores de baixa potência, de uso geral, mas que também podem ser usados em circuitos de RF em frequências de até algumas centenas de megahertz. Podemos usá-los então na amplificação de sinais, geração de sinais em PCs e periféricos, em equipamentos de uso comum como pré-amplificadores de antena para ondas longas, curtas e até mesmo VHF, rádios, amplificadores de som, etc.

Na figura 161 o leitor poderá ver um pré-amplificador de áudio típico com este tipo de transistor.

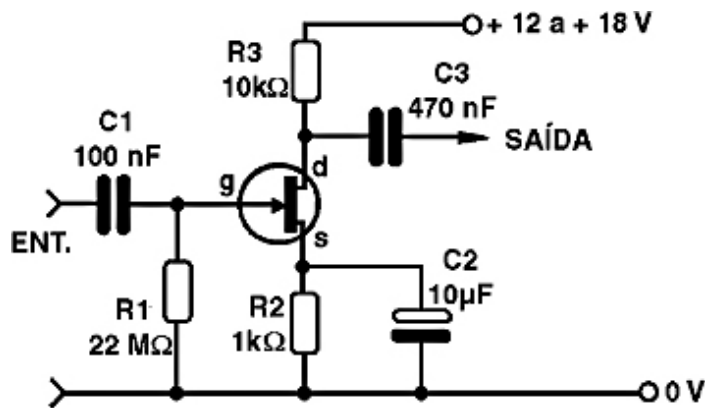


Figura 161 – Pré-amplificador usando um JFET

O capacitor C1 dá passagem ao sinal de áudio, permitindo que ele chegue à comporta (gate) do transistor, onde é aplicado. O resistor de 2,2 Mohms na comporta do transistor faz sua polarização.

Na fonte (s) temos um resistor e um capacitor. O resistor faz a polarização de modo que, mantemos na fonte (s) do transistor uma tensão bem mais alta que a polarização de comporta, ou seja, mantemos a comporta negativa em relação a este elemento o que é importante para uma operação na região linear do transistor.

O capacitor em paralelo desacopla o sinal, dando-lhe passagem para a terra. No dreno (d) do transistor temos um resistor de carga de onde, a partir de um capacitor (C3), retiramos o sinal de áudio para uma aplicação a uma outra etapa de amplificação.

Circuitos deste tipo podem ser encontrados em equipamentos de som para aumentar a intensidade de sinais de microfones e outros dispositivos que funcionem como fontes de sinais, quando elas são muito fracas.

O leitor poderá ver na figura 162 uma versão de amplificador para sinais de rádio usando um FET que pode ser, por exemplo, o BF245. A entrada é sintonizada e o circuito LC pode ser facilmente acoplado à entrada de alta impedância do FET, sem a necessidade de tomadas na bobina, ou outros recursos que vimos ser necessários nos circuitos que utilizam transistores comuns.

Tipos comuns

Existe uma grande quantidade de tipos de JFET em uso atualmente. Dentre os mais comuns destacamos o BF245 e o MPF102.

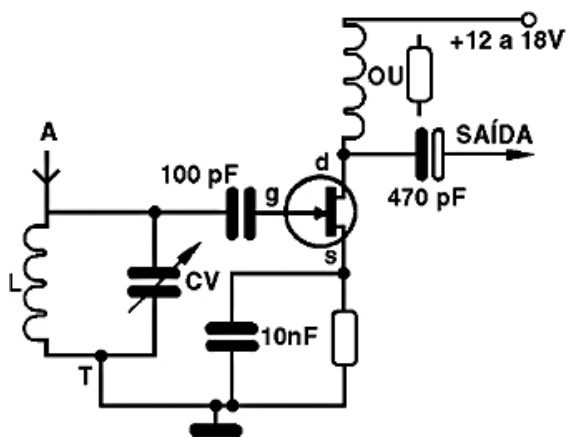
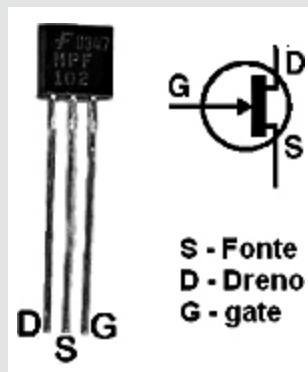


Figura 162- Um amplificador de RF com entrada sintonizada com JFET

5.4 – Transistores de efeito de campo MOS

O nome Transistor de Efeito de Campo, ou MOS-FET, vem da sua denominação em inglês “Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor”, ou traduzindo, transistor de efeito de campo de óxido de metal semiconductor.

Se bem que seja um transistor de efeito de campo, em sua estrutura e funcionamento básicos, ele se diferencia bastante em alguns pontos dos transistores de efeito de campo de junção, exigindo assim uma explicação separada.

Em todos os equipamentos eletrônicos modernos encontramos uma grande variedade de transistores de efeito de campo MOS como, por exemplo, os tipos de potência que ocupam posição de destaque nas fontes de alimentação, acionamento dos motores de passo drivers de solenóides e relés e muito mais.

Para o técnico, que deseja reparar ou montar qualquer tipo de equipamento eletrônico, é muito importante conhecer o MOS-FET, pois se trata de um componente que faz parte de circuitos que normalmente permitem a reparação de uma forma direta. Os MOS-FETs das fontes de alimentação, por exemplo, podem queimar e podem ser substituídos.

Veja na figura 163 as estruturas e os símbolos adotados para representar os dois principais tipos de MOS-FETs.

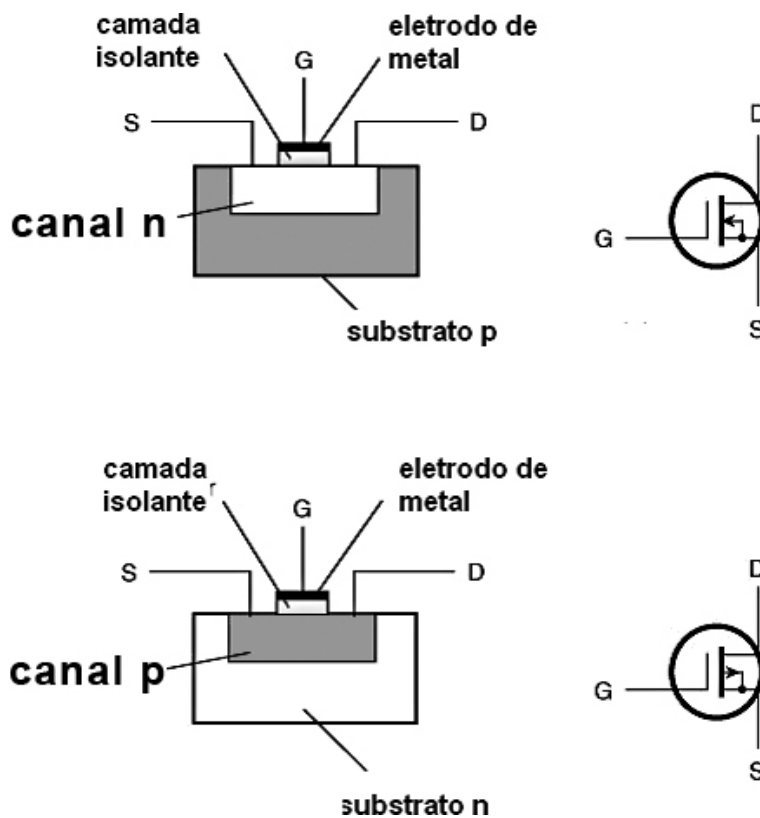


Figura 163 – Símbolos para os MOSFETs

A base de montagem do semiconductor é um substrato, no caso de material P que, conforme o nome sugere, serve apenas de suporte físico para a montagem dos demais elementos. Neste substrato são difundidas duas regiões de material semiconductor do tipo N que são interligadas por um pedaço de material condutor, formando o “canal”.

Sobre o canal é colocada uma placa de filme metálico e, isolando-a do material condutor do canal, existe uma finíssima camada de óxido de silício. Os eletrodos ligados ao material N recebem os nomes de fonte (abreviada por s de “source” do inglês), e dreno (abreviada por d de “drain”). No material condutor, isolado pela capa de óxido de silício, temos um eletrodo que recebe o nome de comporta (gate ou abreviadamente g do termo em inglês).

Da mesma forma que num transistor de efeito de campo de junção, podemos controlar a passagem da corrente entre a fonte e o dreno, a partir de uma tensão aplicada à comporta.

O fato da comporta, que é o eletrodo de controle, estar praticamente isolada do canal por onde flui esta corrente, faz com que este dispositivo apresente uma elevadíssima impedância de entrada. A única corrente que flui no eletrodo de comporta é a de fuga, da ordem de bilionésimos de ampère, que não é significativa numa aplicação prática comum.

Mas, se a finíssima capa de óxido garante esta importante propriedade que é a impedância de entrada alta, ela também é responsá-

Cargas Estáticas

Consulte o volume 1 – Eletrônica Básica - para saber mais sobre as descargas estáticas e como os corpos podem acumular cargas.

vel pela extrema sensibilidade que o dispositivo apresenta a tensões elevadas.

A simples carga acumulada no corpo de uma pessoa que caminha num carpete, ou que simplesmente trabalha num local seco, o simples toque de uma ferramenta que esteja ligada a uma fonte de tensão mais alta, pode provocar um faiscamento entre a comporta e o canal, destruindo a capa de óxido e assim o componente, conforme o leitor poderá na figura 164.

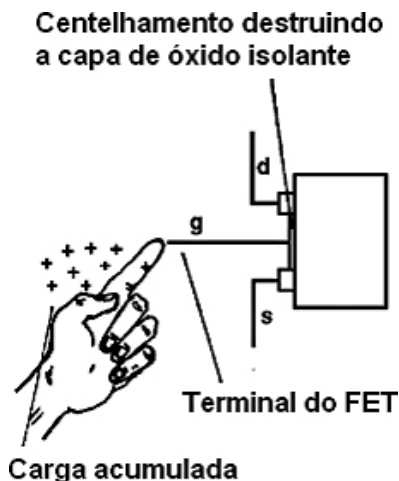


Figura 164 – Descarga estática causando a queima de um MOSFET

Para os transistores de efeito de campo MOS, é importante nunca manuseá-los, tocando diretamente em seus terminais ou tocando-os com ferramentas ligadas à rede de energia, como por exemplo: uma pistola de soldar.

Muitos transistores de efeito de campo deste tipo são dotados de um anel condutor nos seus terminais, colocando-os em curto para permitir o manuseio e a soldagem quando, então, no circuito com elementos que evitam o aparecimento de tensões perigosas, podem ser retirados.

Para o transporte, podem ser usadas esponjas condutoras ou mesmo embalagens antiestáticas, conforme o leitor poderá ver clicando na figura 165.

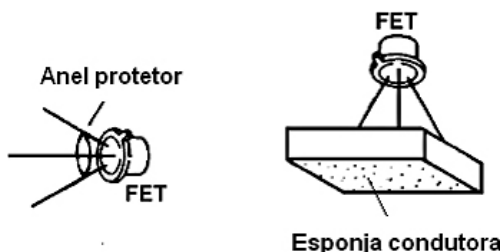


Figura 165 – Protegendo o MOSFET contra descargas estáticas

Uma maneira de proteger este componente contra estas tensões externas, que podem “furar” a capa de óxido que isola a comporta do

canal, é através de diodos na configuração que poderá ser vista na figura 166.

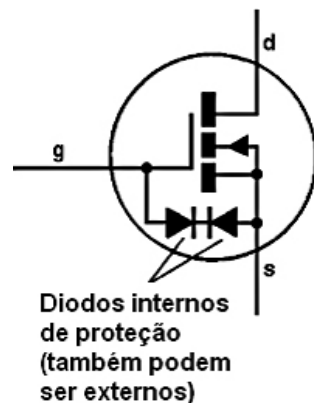


Figura 166 – Usando diodos de proteção

Os diodos são ligados de tal forma que, quando a tensão supera um valor que seja perigoso para a integridade do componente, eles entram em condução, desviando a eventual corrente que pode furar a capa de óxido.

Muitos transistores de efeito de campo já vêm de fábrica com estes diodos colocados internamente ao componente. Estes são denominados “transistores de efeito de campo de porta protegida”, que podem ser utilizados sem a necessidade de precauções especiais, com o toque nos terminais ou a sua sobrecarga.

No transistor de efeito de campo que estudamos, a tensão de controle age no sentido de empobrecer o canal no que se refere aos portadores de carga, ou seja, o controle da corrente é feito diminuindo-se a quantidade de portadores de carga do canal. Em inglês utiliza-se o termo “depletion”, para designar este tipo de transistor de efeito de campo MOS.

Podemos, entretanto, fabricar outro tipo de transistor de efeito de campo em que o controle da corrente se faz pelo aumento ou enriquecimento dos portadores de carga, utilizando-se o termo “enhancement” para designá-los. Na figura 167 o leitor poderá ver os símbolos usados para representar estes transistores.

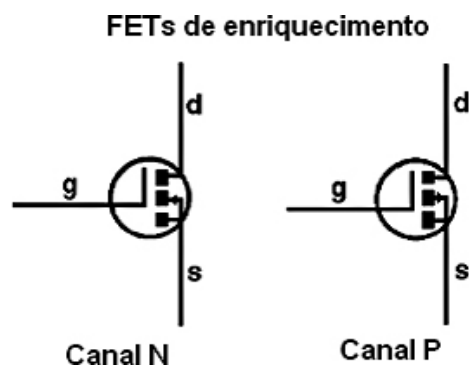


Figura 167 – MOSFETs de enriquecimento

Transistores integrados

Da mesma forma que os transistores bipolares, tanto os JFETs como os MOSFETs podem ser integrados. Assim, existem circuitos integrados que possuem em seu interior uma enorme quantidade desses transistores, já interligados para exercer determinadas funções. Muitos deles integram vários tipos de transistores na mesma pastilha.

Os MOS-FETs, além de sua elevadíssima resistência de entrada, que pode chegar em alguns casos a mais de 100 000 000 000 000 ohms (100 teraohms!), também são dispositivos de velocidade de operação muito alta. Estes transistores facilmente podem amplificar ou gerar sinais de até 500 MHz.

5.5 – Cuidados com a ESD

Não é preciso ir muito longe, numa pesquisa, para se verificar que as descargas eletrostáticas (ESD) causam prejuízos anuais de milhões à indústria. Um estudo feito mostra que 60% das falhas em componentes é causada pela ESD.

Quando falamos em ESD, não nos referimos simples às descargas que podem danificar um componente isoladamente, mas que podem danificá-lo em diversas fases de seu uso na fabricação de um produto. Conforme mostra a figura 168, dependendo da fase do uso do componente, os prejuízos causados por um dano devido à ESD podem variar do custo do componente quando ele é afetado antes do uso a mais de 1 000 vezes esse custo, se ele ocorrer quando o componente já estiver sendo usado numa aplicação instalada.

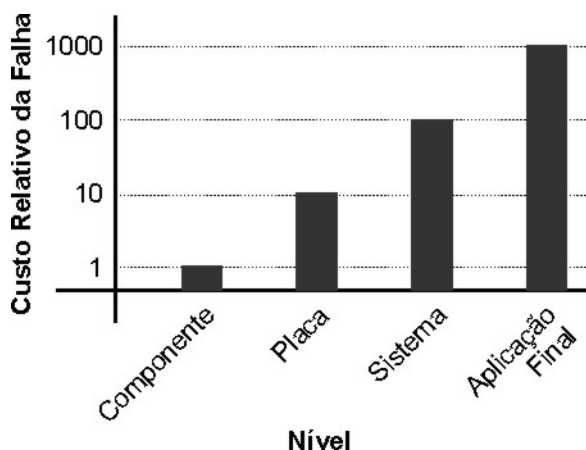


Figura 168 – O custo de uma falha depende do instante em que ela ocorre

Justifica-se, portanto, a série de medidas que qualquer usuário de componentes eletrônicos tome para evitar problemas de descargas estáticas.

A maior parte das cargas estáticas, que se tornam potencialmente perigosas à integridade dos componentes eletrônicos, é produzida por atrito. O simples caminhar de uma pessoa sobre um piso isolante pode gerar tensões estáticas de 15 000 volts.

Temos a percepção dessas cargas quando tocamos num objeto, com a possibilidade de escoamento para a terra e descarregamos, sentindo um forte choque. São as torneiras “que dão choque” e maçanetas de porta que fazem o mesmo. A percepção das cargas acumuladas numa pessoa varia conforme a tensão acumulada.

Até 3 500 volts não percebemos a descarga. Acima de 3 500 volts, já sentimos um choque. Com 5 000 V já é possível ouvir a descarga e com 8 000 V, a descarga já se torna visível. (atrite uma blusa de lã num quarto escuro e você verá e ouvirá as faíscas produzidas pelas descargas estáticas!).

Para que o leitor tenha uma idéia do perigo potencial que isso representa para os componentes eletrônicos, a maioria deles pode ser danificada com tensões na faixa de 100 a 1 000 volts.

A carga acumulada nos objetos e pessoas depende muito da umidade relativa do ar (recomendamos manter um higrômetro nos locais de trabalho com componente para se ter um controle preciso do perigo potencial que a ESD representa para os componentes). A tabela abaixo mostra como a tensão acumulada varia com a umidade relativa:

Evento	10% de umidade relativa (V)	40% de umidade relativa (V)	55% de umidade relativa (V)
Caminhar em carpete	35 000	15 000	7 500
Caminhar em piso de vinil	12 000	5 000	3 000
Movimentos individuais sem aterramento	6 000	800	400
Abrindo um saco plástico	25 000	20 000	7 000

O dano ao componente ocorre pela transferência de cargas de um objeto carregado (que esteja sob determinado potencial) para outro que esteja descarregado, ou com um potencial diferente.

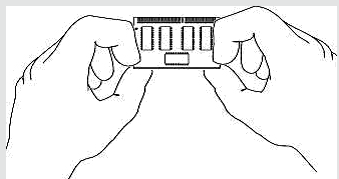
Os componentes usados nos trabalhos de eletrônica também possuem diferentes graus de suscetibilidade às descargas. A tabela abaixo dá uma idéia dos valores:

Componente (*)	Limiar da Suscetibilidade (V)
MOSFET	10 – 100
VMOS	30 – 1800
NMOS	60 – 100
GaAsFET	60 – 2000
EPROM	100 – 500
CMOS	200 – 3000
JFET	140 – 7000
Op-Amp	200 – 2500
Diodos Schottky	300 – 2500
Resistores de Filme	300 – 3000
ECL	500 – 2000
SCR	500 – 1000
TTL Schottky	200 – 2500

(*) Muitos desses componentes ainda serão estudados neste curso, e em outros volumes de nossa série

Cuidado

Nunca toque nos terminais dos componentes diretamente. Sempre segure-os pelo invólucro. Se estiverem numa placa sensível, como a de uma memória, segure a placa da forma indicada na figura, sem tocar nos contatos.



Um ponto importante a ser observado é que os componentes continuam sensíveis às descargas eletrostáticas, mesmo depois de montados. As descargas podem ocorrer através das conexões e mesmo através de cabos.

5.5.1 - Prevenção

Roupas comuns não devem ser usadas quando se trabalha com materiais sensíveis a ESD. Essas roupas podem acumular cargas estáticas intensas. É o caso de uma blusa de lã, que já citamos como exemplo, capaz de causar faíscas até visíveis no escuro quando atritada. No trabalho com componentes sensíveis, devem ser usadas roupas especiais, além de técnicas que incluem o uso de equipamentos de proteção.

Existem diversas técnicas que podem ser adotadas, a custo relativamente baixo, para se evitar os problemas da ESD. Basicamente elas focalizam três pontos fundamentais:

- Evitar a geração de cargas
- Eliminar cargas estáticas da área de trabalho (dissipando ou neutralizando)
- Blindar componentes de forma apropriada evitando campos estáticos.

Existem diversos tipos de equipamentos que podem ser adotados para evitar os problemas de descargas estáticas, conforme sua origem. Assim, temos:

a) Prevenção de Geração de Cargas

São usadas normalmente pulseiras protetoras. Essas pulseiras são aterradas eliminando as cargas que eventualmente se acumulem no corpo, conforme mostra a figura 169.



Figura 169 – Pulseiras anti estáticas

Este recurso remove dois tipos de cargas: as cargas de origem tribo-elétrica, que são originadas quando dois materiais diferentes se atritam, e as cargas por capacitância, que são induzidas pela aproximação do corpo de um objeto carregado.

Outros recursos de aterramento das pessoas que trabalham com os componentes sensíveis podem ser usados. Além das pulseiras, podem ser usadas caneleiras, devendo apenas ser observado que para que esses recursos sejam eficientes, eles devem estar em contacto com a pele. Também existem sapatos especiais que possuem solas capazes de manter o contacto com locais aterrados, de modo que nenhuma carga possa ser acumulada no corpo da pessoa.

Na figura 170 mostramos o modo de se usar essas pulseiras. A placa passa, sem problemas, de uma pessoa para outra.

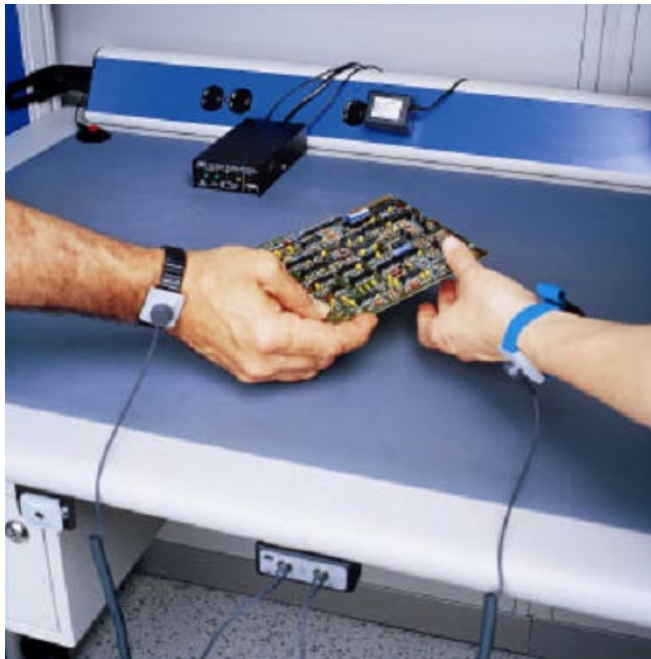


Figura 170 – Usando as pulseiras

b) Dissipação de Cargas

Uma forma mais lenta, mas também eficiente, de se remover cargas elétricas e um ambiente é através da dissipação. Para essa finalidade são usados materiais dissipativos especiais. Esses materiais são intermediários entre os condutores e os isolantes.

Sua resistência é elevada o suficiente para que possamos trabalhar com uma placa de circuito impresso sobre ele, e alimentá-la sem que correntes apreciáveis circulem, afetando seu funcionamento ou colocando-o em curto, mas baixa o suficiente para permitir o escoamento de cargas estáticas acumuladas.

As cadeiras, que são usadas pelas pessoas que trabalham com os componentes, também devem ser aterradas.

c) Neutralização de cargas

A terminologia usada refere-se aos efeitos da ionização sobre materiais não condutores. Podemos citar como exemplo, os copinhos de café de plástico. Por não serem condutores, eles acumulam milha-

res de volts de cargas estáticas, as quais não podem ser neutralizadas por aterramento, justamente porque eles não são condutores. A melhor forma de se neutralizar a carga acumulada num objeto com essas características é através de ar ionizado.

Na figura 171 temos um exemplo de um ventilador-ionizador que é utilizado neste tipo de neutralização de cargas. Este equipamento é alimentado por um transformador de 24 V, emitindo igual quantidade de cargas positivas e negativas. Trata-se de um ionizador “auto-balanceado”.

Embalagens e manuseio

Os componentes sensíveis são fornecidos em embalagens anti-estáticas, conforme já vimos. Exija estas embalagens quando for comprá-los e não os retire delas até o momento de usar. Cuidado com balconistas desprezados: já vimos um balconista retirar da embalagem um circuito CMOS sensível, segurando-o pelos terminais, para mostrar para o cliente que era realmente aquele o tipo que ele estava comprando... O cliente pode ter tido a surpresa de chegar em casa e constatar que o componente estava queimado.



Figura 171 – Um ionizador

d) Blindagens

A blindagem é usada para proteger componentes e placas. Sacos de materiais especiais são empregados para o transporte e armazenamento. Essas embalagens possuem pelo menos uma camada intermediária de material condutor (condutividade quase metálica). Observe que os sacos plásticos ou embalagens rosa não oferecem proteção. As que oferecem proteção são as de cor cinza ou prateada.

5.5 – Polarização e circuitos com transistores de efeito de campo MOS

Da mesma forma que os transistores bipolares e os transistores de efeito de campo de junção, para calcular os componentes de polarização, nos baseamos nas suas curvas características, ou seja, na sua família de curvas. Na figura 172 temos uma família de curva de um MOSFET.

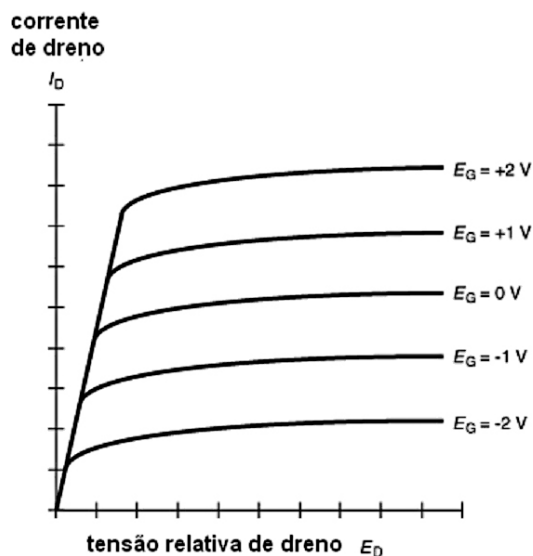


Figura 172 – Família de curvas de um MOSFET

Nestes gráficos são dadas as curvas da corrente de dreno (i_D) em função da tensão de dreno (E_D) para diversas tensões de comporta (E_G).

Neste curso básico, entretanto, não teremos os procedimentos de cálculos das polarizações de uma forma mais profunda, mas apenas uma visão geral de como elas funcionam. Cálculos precisos são estudados em cursos mais avançados.

Os MOS-FETs são polarizados de modo a manter sua comporta sob uma tensão nula ou negativa em relação ao terminal de fonte (s), conforme o leitor poderá ver no circuito da figura 173.

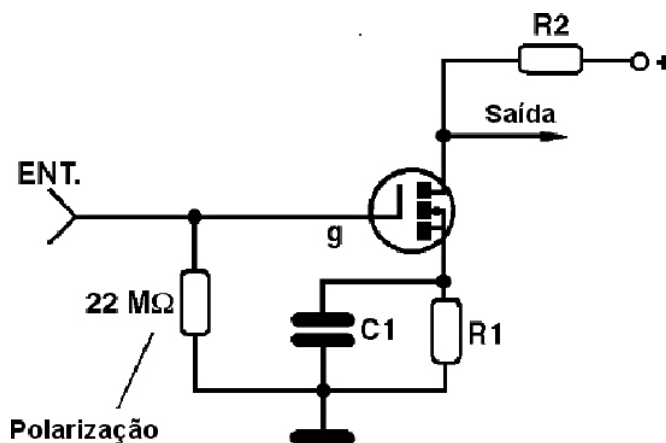


Figura 173 – Polarização de comporta de um MOSFET

O resistor de polarização também serve de proteção em alguns circuitos. Seu valor tipicamente varia entre 500 k ohms e 10 M ohms.

Da mesma forma que no caso dos transistores de efeito de campo de junção, podemos ter as configurações de comporta comum, fonte comum e dreno comum.

Na figura 174, o leitor poderá acessar um circuito típico de um amplificador de alta frequência usando um transistor MOS.

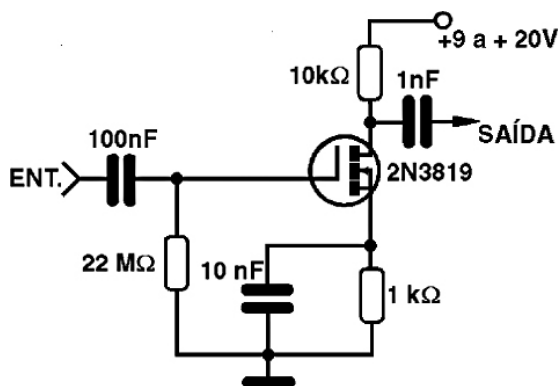


Figura 174 – Amplificador com um MOSFET

Na figura 175 temos uma variação deste tipo de transistor que é o MOS de comporta dupla, ou seja, um transistor em que podemos controlar o fluxo de corrente entre o dreno e a fonte, a partir de duas comportas de funcionamento independente.

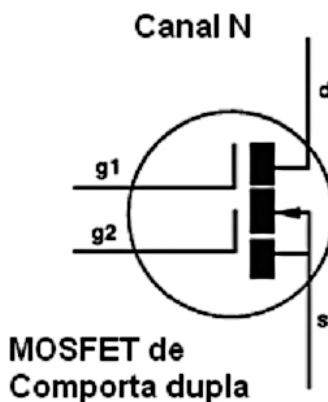


Figura 175 – Um MOSFET de comporta dupla

Este tipo de transistor pode ser usado, com grande eficiência, para misturar sinais tanto de baixa como de alta frequência. Na utilização de um transistor deste tipo, a comporta não utilizada pode ser mantida a um potencial baixo através de um resistor de polarização, conforme o leitor poderá ver na figura 176.

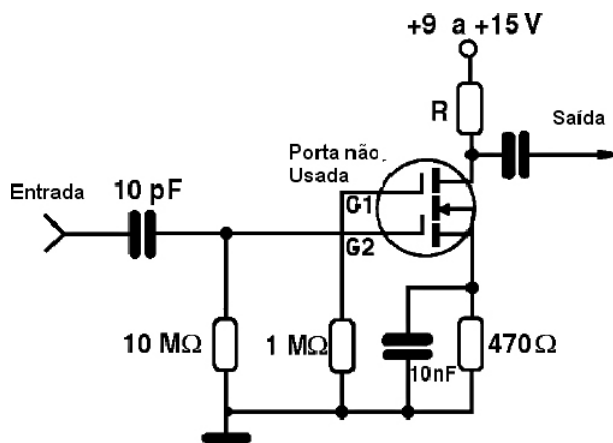


Figura 176 – Polarização da comporta não usada

Uma aplicação simples para um transistor deste tipo poderá ser vista na figura 177.

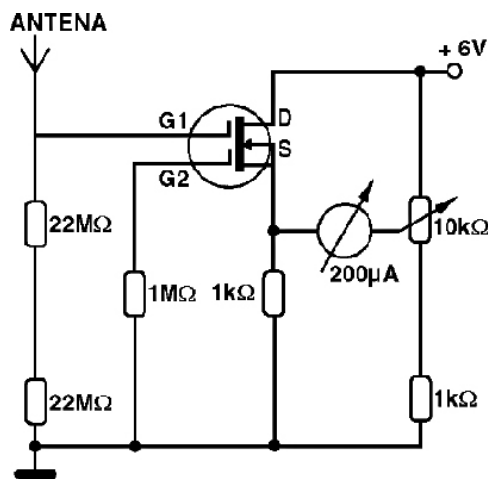


Figura 177 – Um circuito de aplicação

O que temos é um eletroscópio, ou seja, um circuito sensível capaz de detectar cargas elétricas em objetos. O sensor é um simples pedaço de fio, ou uma chapa de metal, que funciona como “antena”.

A aproximação de objetos carregados de eletricidade estática induz na “antena” uma carga que atua sobre o transistor de efeito de campo, modificando a corrente que circula através do dispositivo. O instrumento ligado de forma a manter o equilíbrio de indicação sem carga, acusa então esta variação de corrente.

5.7 – Os Transistores de potência, Power MOS ou Power-MOSFETS

Com a utilização de uma técnica de difusão da região de comporta numa superfície muito maior, podemos controlar correntes muito mais intensas, obtendo assim transistores MOS de elevada potência.

Na Prática

Os transistores de efeito de campo do tipo de junção, MOS-FET, MOS e outros não são encontrados somente na forma de componentes discretos (separados) nos equipamentos eletrônicos de uso comum. Muitos dos circuitos integrados desses aparelhos contêm transistores MOS ou MOS-FETs que, conforme vimos são muito sensíveis a descargas estáticas. Isso significa que o técnico terá muito cuidado no manuseio destes componentes para evitar que cargas estáticas acumuladas no seu corpo possam causar problemas. De fato, trabalhando sobre um tapete ou num ambiente seco, o nosso corpo pode acumular cargas de milhares de volts. Um simples toque nos terminais de um componente com transistores MOS pode fazer com que a descarga fure a capa de material isolante das comportas causando sua inutilização imediata.

Na figura 178 poderemos ver a estrutura básica de um transistor deste tipo, também denominado “V-MOS” em vista do formato em V da região da comporta e canal.

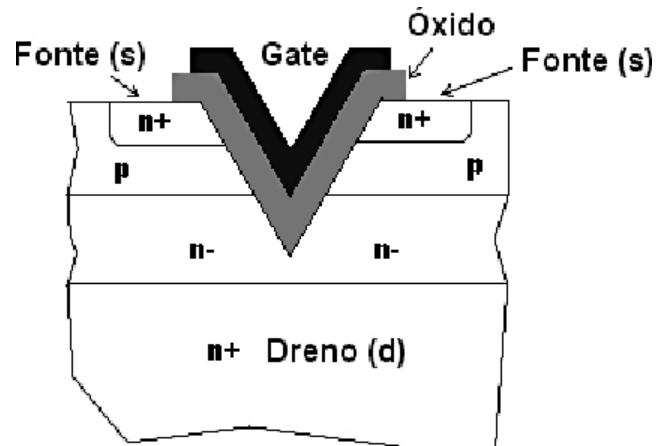


Figura 178 – Estrutura de um transistor V-MOS

Trata-se de um dos primeiros tipos de transistores MOS de potência que foram utilizados. Hoje, outras técnicas levam a configurações que recebem genericamente o nome de Power MOSFETs ou MOSFETs de Potência. Na figura 179, temos outra estrutura para transistor deste tipo.

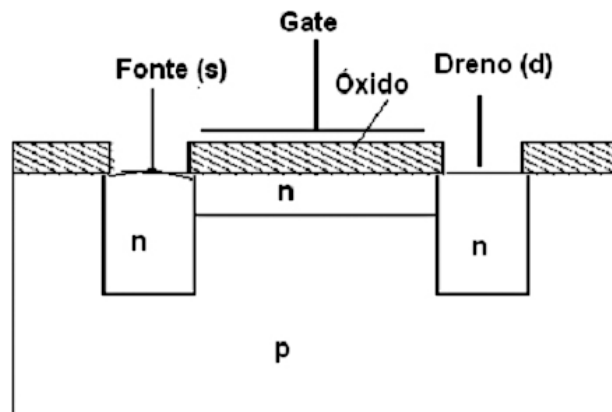


Figura 179 – Outra estrutura para um MOS de potência

Estes transistores podem operar com tensões de até mais de 500 V, dependendo do tipo e com correntes muito intensas que, em alguns casos, chegam a várias dezenas de ampères. Podemos então controlar potências de carga de elevados valores, com um ganho muito elevado, o que torna estes dispositivos ideais para uso em fontes de alimentação de computadores, amplificadores de áudio, controle de solenóides, motores, relés e lâmpadas.

Na figura 180, o leitor poderá ver um exemplo de aplicação em que uma saída de áudio utilizando este de transistor pode fornecer potências de mais de 100 W a um alto-falante num amplificador.

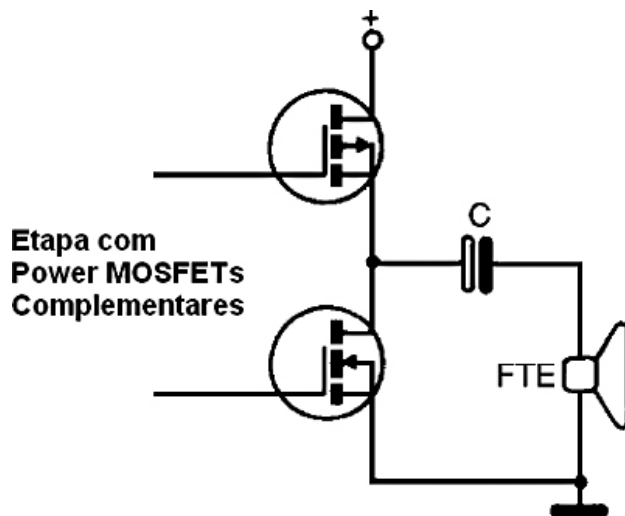


Figura 180 - Saída complementar com MOSFETs de potência

É interessante notar que a qualidade de áudio obtida por este tipo de transistor num amplificador é melhor do que a obtida por transistores comuns, devido a ausência da distorção por crossover. Explicamos o que é isso:

Conforme estudamos, um transistor bipolar comum só começa a conduzir realmente a corrente quando a tensão em sua base atinge uns 0,6 V. Isso significa que, se tivermos um sinal senoidal, quando a tensão passa pelo ponto de zero volt, ou seja, cruza a linha de zero volt, conforme o leitor poderá pela figura 181, o transistor não acompanha esta variação de modo linear.

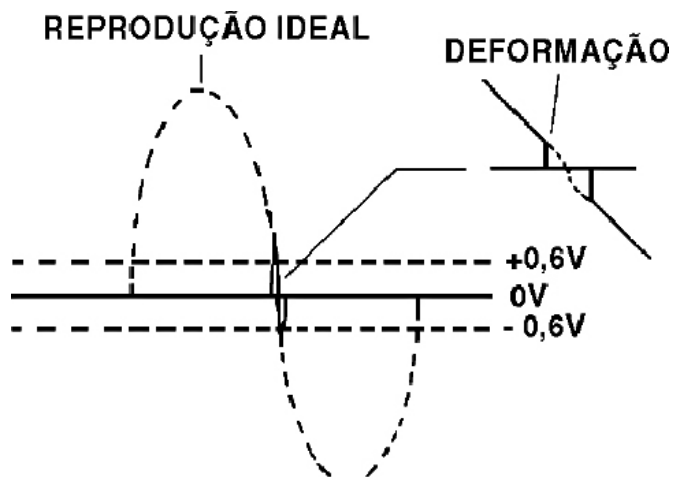


Figura 181 – Distorção no ponto de cruzamento por zero

Neste cruzamento, chamado de “crossover” em inglês, o transistor manifesta esta impossibilidade de trabalhar com tensões abaixo de 0,6 V, e com isso causa uma distorção do sinal. Se bem que pequena, ela pode significar uma perda da fidelidade de sinal que nos amplificadores comuns pode ficar entre 0,1 e 2% tipicamente.

MOSFET x Válvulas

Pelo fato do MOSFET não ter o problema do crossover e ainda ser um típico amplificador de tensão (uma tensão de gate controla a corrente de dreno), ele se aproxima do comportamento das válvulas, muito mais do que os transistores bipolares. Assim, a qualidade de áudio dos amplificadores que usam estes componentes é muito melhor do que a dos que usam transistores bipolares, segundo os entendidos, se aproximando dos amplificadores valvulados. Segundo muitos entusiastas, ainda assim a qualidade do som das válvulas é melhor.

No entanto, os transistores MOS de potência, como todos os FETs, não apresentam o ponto de crossover nas condições normais de operação, o que significa que não ocorre este tipo de distorção na amplificação de sinais de áudio.

O resultado é que, com estes transistores, podemos elaborar etapas de saída de amplificadores de áudio com taxas de distorção tão baixas como 0,001%. Sem dúvida, uma taxa tão pequena de distorção não pode ser percebida pelo ouvido mais sensível.

5.7.1 - Na Prática

Os transistores de efeito de campo de potência (Power-FETs, V-FET, D-FET e outros) podem controlar correntes muito intensas e, por isso, encontram algumas aplicações importantes nos equipamentos elétricos comuns. A principal é em fontes de alimentação. As fontes de alimentação de uma grande quantidade de equipamentos modernos são tipo chaveado e operando com correntes intensas.

Nelas, um transistor de alta potência, normalmente um Power-FET, funciona como uma chave que abre e fecha rapidamente, determinando quanto de corrente passa e, com isso, a tensão na saída.

Um circuito apropriado determina o tempo de fechamento do transistor em função da tensão de saída, ou seja, faz a regulação. Um componente cujas características se aproximam bastante das dos transistores de efeito de campo é a válvula pentodo.

Antigamente, as etapas de saída de amplificadores de alta fidelidade eram feitas com este tipo de válvula. Na figura 182 temos uma etapa típica em “push-pull”, como já conhecemos das lições anteriores, mas com transistores bipolares.

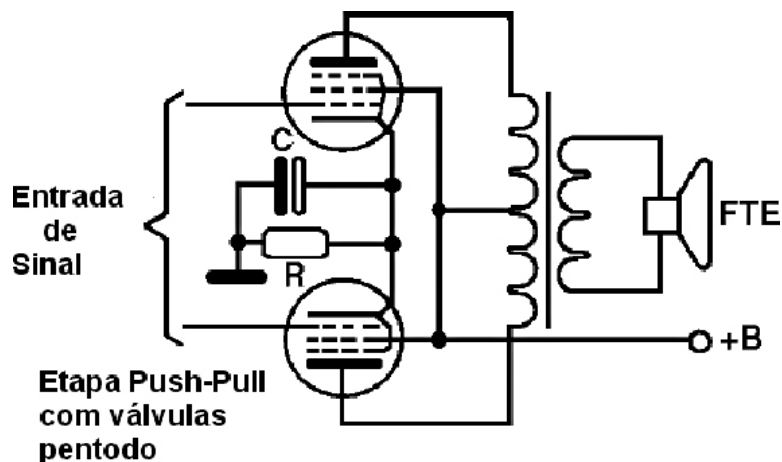


Figura 182 - Etapa de saída push-pull com válvulas pentodo

Entretanto, ao lado da qualidade de som, garantida pela não existência da distorção por crossover, tais etapas apresentavam uma série de inconvenientes, além do fato das válvulas precisarem de muito mais energia para funcionar e serem componentes volumosos.

Os transformadores deveriam ter características especiais, e para potências elevadas consistiam em componentes pesados e caros. Um transformador de saída para um amplificador, do tipo “ultra-linear”, não pesava menos de 3 quilos!

Amplificadores valvulados

Há ainda à venda amplificadores valvulados de excelente qualidade a preços elevadíssimos. Estes amplificadores atendem a um público especial que prefere pagar mais por um equipamento que se considera tradicional e que, segundo esses adeptos, “têm melhor qualidade de som”. Na foto, um amplificador comercial deste tipo.



Termos em inglês

Diversos termos em inglês podem ser associados ao que estudamos nesta lição. Muitos deles são até usados na forma original, mesmo em documentação técnica traduzida, como é o caso do “crossover”, e até mesmo “bias”. Vejamos alguns destes termos;

Crossover – cruzamento

Distortion – distorção

Complementary – complementar

Tube amplifier – amplificador valvulado

High Fidelity – HI-FI ou alta-fidelidade

Depletion – depleção

Enhancement – enriquecimento

Field – campo

Push-pull – empurra-puxa – contrafase - tipo de etapa de amplificador que raramente é traduzida ao pé da letra.

Gate – comporta ou porta

Drain – dreno

Source – fonte

Temas para pesquisa:

- Transistores MOS
- Qualidade de som
- Amplificadores valvulados
- Amplificadores de alta fidelidade
- Controles de potência
- Power MOSFETs
- Características dos CMOS

QUESTIONÁRIO

1. Quantas junções possui um transistor unijunção?
a) nenhuma b) 1 c) 2 d) 3

2. Qual é a principal aplicação para o transistor unijunção?
a) amplificador de baixa frequência
b) amplificador de alta frequência
c) oscilador de alta frequência
d) oscilador de baixa frequência

3. Que tipo de resistência encontramos entre as bases de um transistor unijunção?
a) capacitiva
b) indutiva
c) ohmica
d) reativa

4. Qual é a faixa de valores típicos para a relação intrínseca de um transistor unijunção?
a) 0 a 1
b) 0,4 a 0,7
c) 10 a 100
d) 1 a 10

5. Um transistor unijunção pode ser usado para amplificar sinais de altas frequências?
a) sim
b) não
c) depende do circuito
d) só acima de 100 MHz

6. Qual é a forma de onda que encontramos no emissor de um transistor unijunção funcionando como oscilador de relaxação?
a) senoidal
b) retangular
c) dente de serra
d) triangular

7. Para controlar o fluxo de cargas pelo canal de um transistor de efeito de campo precisamos de que tipo de sinal?
a) uma corrente
b) uma tensão
c) um sinal de RF
d) uma corrente alternada

8. De que modo é a resistência de entrada de um transistor de efeito de campo de junção?

- a) nula
- b) infinita
- c) muito baixa
- d) muito alta

9. De que modo é isolada a comporta do canal num transistor de efeito de campo MOS?

- a) por uma barreira de potência
- b) por uma camada de mica
- c) por uma capa de óxido
- d) por um dielétrico de estado sólido



» SCRs

» TRIACs

Depois de estudarmos os transistores unijunção e os transistores de efeito de campo, dois novos componentes semicondutores vão ser abordados em nosso curso. O primeiro deles, o SCR ou diodo controlado de silício, “lembra” um pouco o próprio transistor unijunção em algumas aplicações, mas sua finalidade básica é no controle de potência, assim como a do TRIAC o leva a aplicações que envolvam potências maiores. Estes dois componentes hoje não são usados somente na eletrônica dos computadores e eletrônica geral, mas também em muitos eletrodomésticos controlando motores, lâmpadas e diversos dispositivos que trabalham diretamente ligados na rede de alimentação. Dada a importância destes componentes na automação e controles de potência, uma abordagem mais profunda poderá ser encontrada no volume específico deste curso que trata desse assunto. Nosso capítulo temos os seguintes itens:

- 6.1 - Estrutura e funcionamento do SCR
- 6.2 - Especificações para os SCRs
- 6.3 - Circuitos práticos
- 6.4 - Estrutura do TRIAC
- 6.5 - Especificações
- 6.6 - Circuitos práticos
- 6.7 – Outros componentes da família dos tiristores

6.1 – Estrutura e funcionamento do SCR

SCR é a abreviatura de Silicon Controlled Rectifier que traduzindo, nos leva a Retificador Controlado de Silício, ou ainda Diodo Controlado de Silício. Trata-se de um semiconductor que lembra no comportamento um diodo, mas que pode ser controlado ou disparado externamente e, com isso, deixar passar correntes intensas.

Estruturalmente o SCR consiste num diodo de 4 camadas, conforme o leitor poderá constatar pela estrutura mostrada na figura 183.

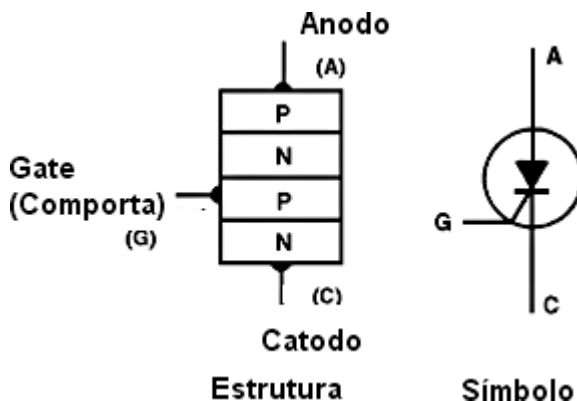


Figura 183 – Estrutura e símbolo do SCR

Estas quatro camadas, se cortadas da forma que o leitor poderá ver na figura 184, nos levam ao circuito equivalente do SCR, que é formado por dois transistores complementares unidos pelos seus eletrodos.

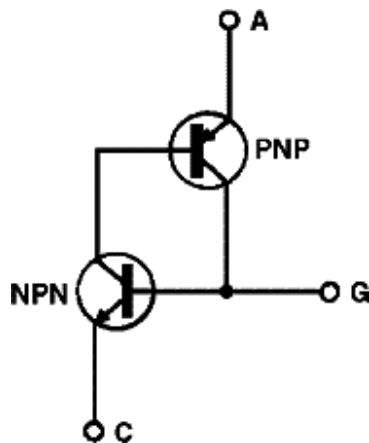


Figura 184 – Circuito equivalente a um SCR

Tiristores

Os tiristores formam uma importante família de componentes eletrônicos, usados principalmente em eletrônica de potência. Estes componentes consistem basicamente em diodos feitos com 4 camadas de materiais semicondutores, daí serem também chamados de diodos de 4 camadas.

Assim, se tomarmos este circuito equivalente, será bem mais fácil analisar como funciona o SCR, se bem que na prática, dois transistores ligados da forma indicada não dêem origem a um componente com as mesmas características de um SCR que é fabricado em estrutura única. Já explicamos que os circuitos equivalentes dados neste curso, servem apenas para análise do princípio de funcionamento.

Analisemos então como funciona este circuito equivalente. Conforme podemos ver, os dois transistores estão ligados de modo a formar uma “chave regenerativa”, ou seja, o coletor de um está ligado na base do outro e o coletor do outro na base do primeiro. Uma das bases corresponde ao eletrodo de disparo o “gate” (comporta - abreviada por G).

Para polarizar o SCR, de modo a termos seu funcionamento normal, devemos aplicar uma tensão positiva ao anodo, deixando o catodo sob potencial mais baixo, ou seja, negativo. Nestas condições, apenas uma corrente muito fraca pode circular pelo componente causada por fugas dos elementos internos. Esta corrente é da ordem de milionésimos de ampère e normalmente é desprezada, conforme o leitor poderá na figura 185.

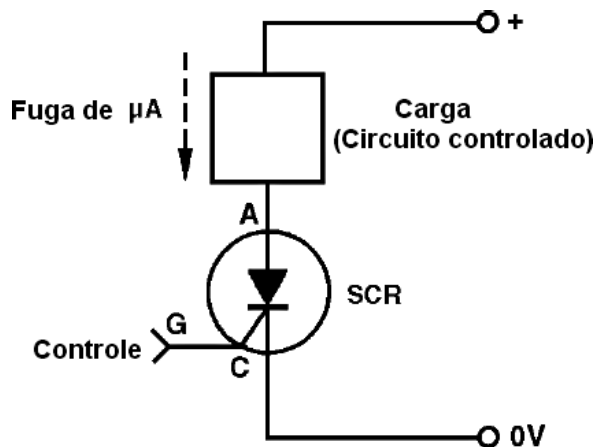


Figura 185 – A corrente de fuga através de um SCR

Para disparar o SCR, devemos aplicar um sinal positivo no elemento de comporta (G), de modo que a junção base-emissor do transistor NPN seja polarizada no sentido direto. Nestas condições, a corrente que circula pela base deste transistor é amplificada, dando origem a uma corrente maior de coletor.

Mas, o coletor do transistor NPN está ligado à base do transistor PNP e, de tal forma que, circulando corrente nesta conexão, ela terá um sentido que fará o transistor PNP entrar em ação, amplificando-a.

O resultado é que agora, por um efeito que se propaga, temos o aparecimento de nova corrente amplificada no coletor do transistor PNP. Veja, entretanto, que o transistor PNP tem seu coletor ligado de volta à base do transistor NPN, fechando assim um sistema de realimentação. Desta forma, a corrente de coletor do transistor PNP vem se somar à corrente de disparo, aumentando ainda mais a corrente no transistor NPN.

O resultado final é que todas as correntes neste circuito vão aumentar de intensidade, até o máximo determinado pelas características de saturação do componente e, mesmo que tenhamos retirado

o sinal inicial que deu origem ao processo, o componente continua conduzindo por um efeito de realimentação, conforme mostra a figura 186.

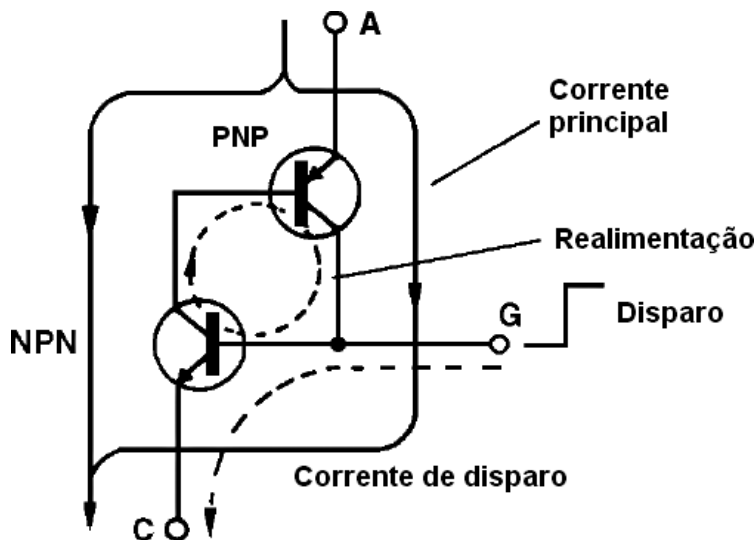


Figura 186 – As correntes no circuito equivalente

Circula então entre o ânodo e o catodo do componente uma forte corrente que não depende mais do sinal usado no disparo.

SCRs comuns são muito sensíveis, podendo conduzir correntes de até alguns ampères entre o ânodo e o catodo, quando um sinal de disparo de menos de 1 mA é aplicado à sua comporta.

Para desligar o SCR, pois ele continua conduzindo mesmo depois de desaparecida a corrente de comporta inicial, temos diversas possibilidades.

Uma delas consiste em interromper, por um momento, a corrente principal, que circula entre o ânodo e o catodo. Basta então desligar por um momento a alimentação, para que o SCR desligue e fique à espera de um novo pulso de disparo.

Outra possibilidade consiste em curto-circuitar por um momento o ânodo e o catodo, conforme mostra a figura 187.

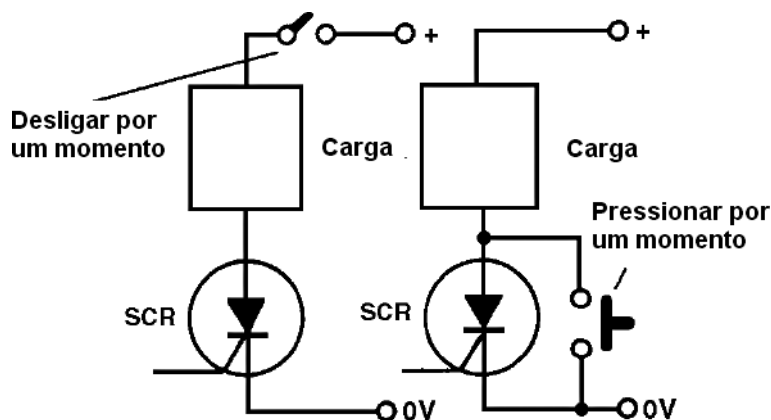


Figura 187 – Desligando um SCR num circuito de corrente contínua

Na verdade, pressionando o interruptor em paralelo com o SCR por um instante, o que estamos fazendo, é reduzir a zero a tensão entre o anodo e o catodo, cortando assim o fluxo principal de corrente pelo componente.

Outra maneira de se “desligar” o SCR consiste em reduzir a corrente principal a um valor mínimo, abaixo daquele que o componente precisa para funcionar. De fato, quando disparado, o SCR precisa de uma intensidade mínima de corrente entre seu anodo e o catodo para se manter ligado.

Esta, corrente é denominada “corrente de manutenção”, abreviada por I_H nos manuais (de Holding Current), vale algumas dezenas de miliampères para os tipos comuns, conforme o leitor poderá observar na figura 188. Observe o leitor que realmente o SCR se comporta como um diodo, pois a corrente principal só pode circular entre o anodo e o catodo num único sentido, daí o símbolo adotado.

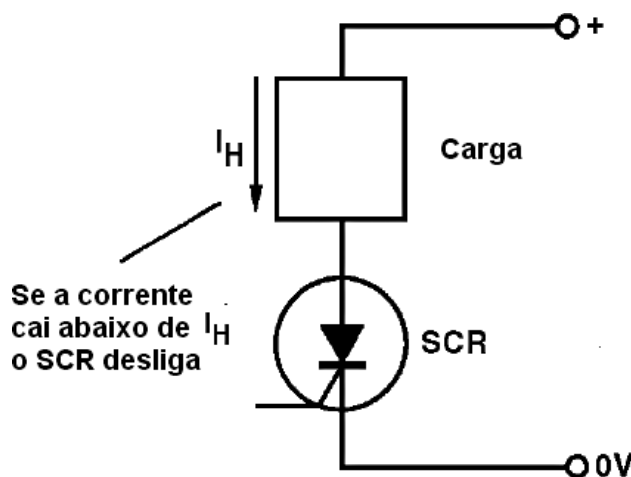


Figura 188 – A corrente de manutenção

O fato de que este componente só pode conduzir a corrente num sentido e que, uma vez disparado, assim se mantém mesmo depois de desaparecida a corrente que o ligou, traz alguns inconvenientes para determinados projetos, mas estes inconvenientes podem ser superados, conforme veremos com a utilização de outros componentes da mesma família.

Veja ainda que, se alimentarmos o circuito do SCR com uma tensão alternada, ao desaparecer o pulso de disparo, ele desliga sozinho quando a tensão alternada, na sua oscilação, passar por zero volt.

Na interessante família dos tiristores, à qual pertence o SCR, encontramos dispositivos como o GTO (Gate Turn-Off SCR) que é justamente um SCR que pode ser “desligado” pela aplicação de um pulso negativo na sua comporta; encontramos os TRIACs que são dispositivos comutadores bilaterais, ou seja, de comportamento semelhante aos SCRs, mas que podem conduzir a corrente em ambos os

Na Prática

Nos circuitos de sinais de baixa intensidade como celulares, amplificadores de som, gravadores, placas-mãe e nos circuitos de processamento, não encontramos os SCRs, que são mais usados no controle de correntes intensas. No entanto, nos equipamentos industriais, eletrodomésticos que tenham recursos eletrônicos como máquinas de lavar, etc. e no controle de motores, podemos encontrar estes componentes. Isso significa que o técnico deve conhecê-lo e estar preparado para eventuais trocas. No nosso curso de Eletrônica de Potência, este componente será estudado mais profundamente.

sentidos; encontramos os DIACs, SUS, SBSs e muitos outros. Nesta mesma lição o leitor ainda vai conhecer alguns deles como, por exemplo, o próprio TRIAC.

6.2 – Especificações dos SCRs

Os SCRs podem operar com correntes de vários ampères e, quando desligados, podem manter tensões de centenas ou mesmo milhares de volts entre seu anodo e o catodo.

Na figura 189 temos alguns SCRs usados em aplicações comuns que vão de poucos ampères à milhares de ampères.

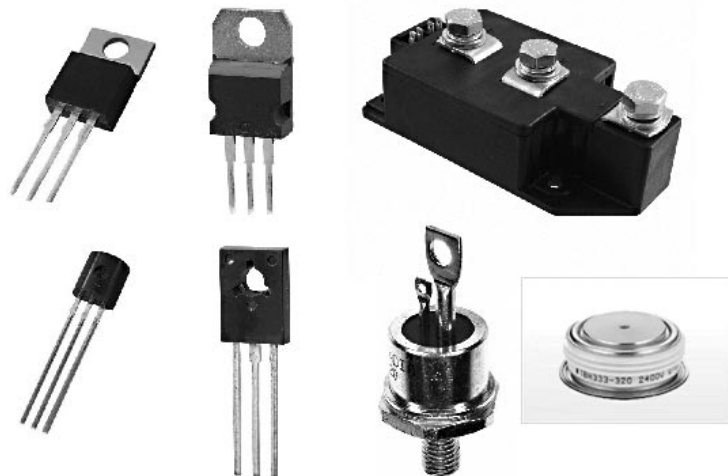


Figura 189 – Aspectos dos SCRs comuns

No entanto, ao usarmos um componente deste tipo, mesmo sendo muito robusto em relação aos transistores, que são mais delicados, temos também que observar alguns limites e também cuidados.

Uma inversão indevida de polaridade, ou das condições do sinal de disparo, mesmo que de alguns poucos volts, ou ainda um excesso de corrente ou tensão entre o anodo e o catodo, podem levar o componente à queima.

Damos a seguir as especificações que devem ser observadas quando usamos um SCR num projeto:

6.2.1 - Tensão máxima entre o anodo e o catodo (VD e VR)

Quando o SCR está desligado, ele pode suportar uma tensão máxima que o polariza tanto no sentido direto como inverso. Esta tensão depende tipo. A abreviação VR nos manuais se refere à tensão inversa, enquanto que o VD se refere à tensão direta. Os valores em questão se referem a máximos contínuos, já que se tivermos um pico de curta duração, o componente poderá ainda suportá-lo. O valor máximo do pico é também dado nos manuais e é maior do que o valor contínuo, conforme mostra a figura 190.

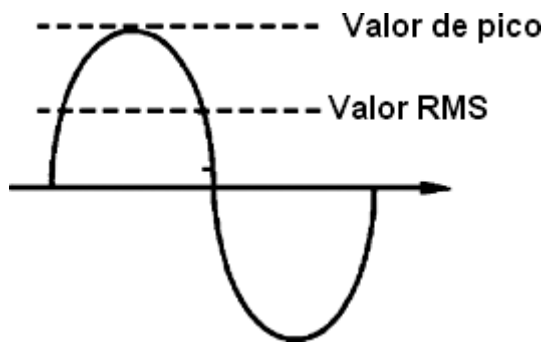
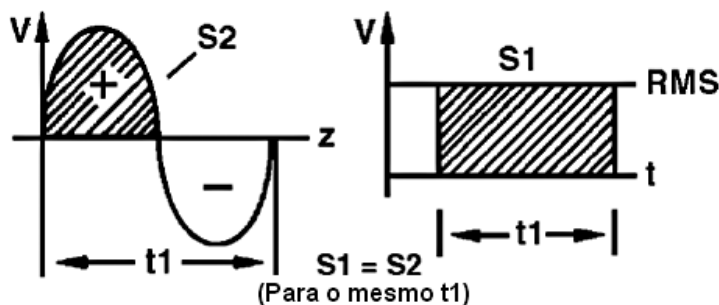


Figura 190 – Valor de pico e RMS

6.2.2 - Corrente máxima no sentido direto (ID)

É a corrente máxima contínua que o SCR pode conduzir uma vez disparado. Se o circuito trabalhar com corrente pulsante, no caso os semiciclos de uma corrente alternada que são senoidais, também podemos especificar o valor RMS, conforme o leitor poderá ver na figura 191.



Nos dois casos, a potência é a mesma para uma determinada carga

Figura 191- A potência é dada pela área compreendida pela curva e os tempos indicados

Quando um SCR está conduzindo a corrente, ele ainda apresenta uma certa resistência. Seu comportamento é tal, que entre o anodo e o catodo, independentemente da intensidade da corrente conduzida, existe uma queda de tensão da ordem de 2,0 V. Esta tensão, multiplicada pela intensidade da corrente conduzida, determina a quantidade de calor produzida no componente.

Assim, para uma corrente de 3,0 ampères temos: $3,0 \times 2,0 = 6,0$ watts de potência gerada, que precisa ser dissipada convenientemente.

6.2.3 - Potência de dissipação

Esta potência, na realidade, já está determinada pela corrente máxima, pois como vimos, a queda de tensão de 2,0 V no componente, na condução direta, é constante.

6.2.4 - Corrente de disparo (IGT)

A corrente mínima que deve circular pelo eletrodo de comporta do SCR, para que ele dispare, é um dado muito importante em qualquer projeto que envolva este componente, pois ela é uma medida de sua sensibilidade. Para os SCRs comumente encontrados nos circuitos de equipamentos de potência, e em muitos aparelhos de uso comum, além dos usados em nossos trabalhos, esta corrente pode estar entre 100 ou 200 μA até 100 ou 200 mA dependendo do tipo.

Para fazer circular pelo componente a corrente de disparo, temos de vencer a barreira de potencial da junção base-emissor do transistor NPN “equivalente” ao SCR, conforme mostra a figura 192.

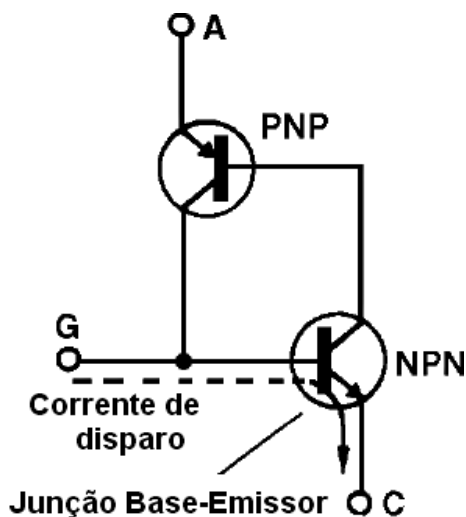


Figura 192 – A corrente de disparo do SCR

Precisamos então de uma tensão que tipicamente estará entre 0,6 V e 1,0 V para os tipos comuns.

6.2.5 - Velocidade de operação (dV/dt)

Quando disparamos um SCR, a tensão entre o anodo e o catodo não cai imediatamente a zero, dando assim passagem para a corrente total. O SCR é um dispositivo relativamente lento, e isso deve ser considerado no uso e na própria substituição.

Medimos a velocidade da operação de um SRC através da taxa de crescimento da tensão, ou seja, a variação da tensão de anodo em cada microssegundo.

Em função destas especificações, precisamos tomar cuidados com o uso do SCR que vai além de obedecer os limites indicados pelos manuais.

Um cuidado muito importante, que deve ser tomado com este tipo de componente, é o de nunca tentar aplicar um pulso ou tensão de disparo negativo na comporta, quando o anodo estiver negativo em relação ao catodo, conforme mostra a figura 193.

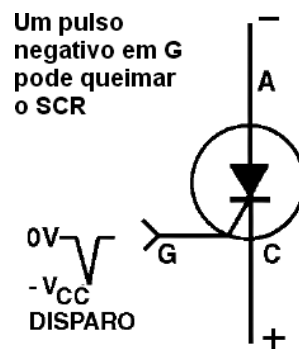


Figura 193 – Condição em que o SCR pode ser destruído

Se isso ocorrer, o SCR pode queimar. Uma solução para evitar que isso aconteça, é ligar um diodo na comporta do componente, se no circuito em que ele funcionar houver a possibilidade de ocorrer a inversão, tanto do disparo como da alimentação. Na figura 194, mostramos como esse diodo é ligado.



Figura 194 – Protegendo o SCR com um diodo

6.2.6 – Os LASCR

Uma variação dos SCRs comuns é o LASCR ou Light Activated SCR. Estes componentes consistem em diodos controlados de silício, ou seja, SCRs, que podem ser disparados pela luz. Seu princípio de funcionamento é simples: todas as junções semicondutoras são sensíveis à luz, podendo liberar portadores de carga e com isso aumentar a condução dos dispositivos. Os SCRs comuns não são afetados pela luz, por estarem encerrados em invólucros opacos. No entanto, no caso dos LASCRs, os invólucros são dotados de uma janela que possibilita a incidência de luz nas junções. Com isso, a luz provoca um aumento na corrente de disparo, até o momento de ocorrer a comutação. Na figura 195 temos o símbolo usado para representar este componente.

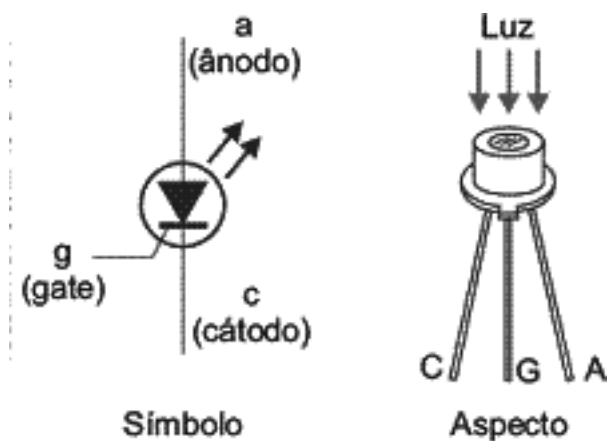


Figura 195 – O LASCR

Atualmente, estes dispositivos não são muito usados, havendo alternativas para os projetos disparados por luz, daí não serem comuns

6.3 - CIRCUITOS PRÁTICOS

Para melhor aproveitamento de nossa lição, será interessante dividir as aplicações do SCR em dois grupos: circuitos de corrente contínua e circuitos de corrente alternada.

Nos equipamentos eletrônicos em geral, poderemos encontrar os dois tipos de circuitos e devendo o leitor estar preparado para fazer sua identificação.

6.3.1 - Circuitos de corrente contínua

Nos circuitos de corrente contínua, não temos muitos problemas de utilização, já que basta manter o anodo positivo em relação ao cátodo.

A carga é ligada normalmente em série com o anodo, conforme mostra a figura 196.

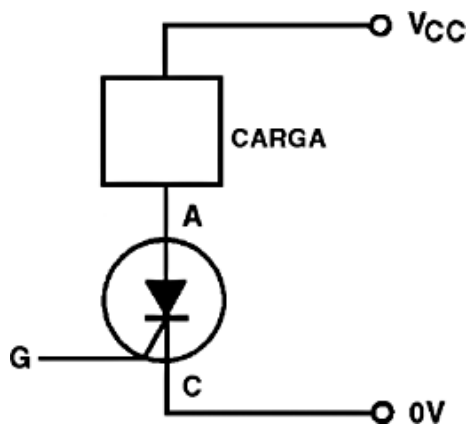


Figura 196 – A carga num circuito de corrente contínua com SCR

É possível, em alguns casos, ligar a carga ao catodo, conforme mostra a figura 197; no entanto, não se trata de procedimento muito interessante já que desta forma é dificultado o disparo, pois normalmente precisaremos de uma tensão que será a soma da tensão normal de disparo, com a tensão que representa a queda na carga.

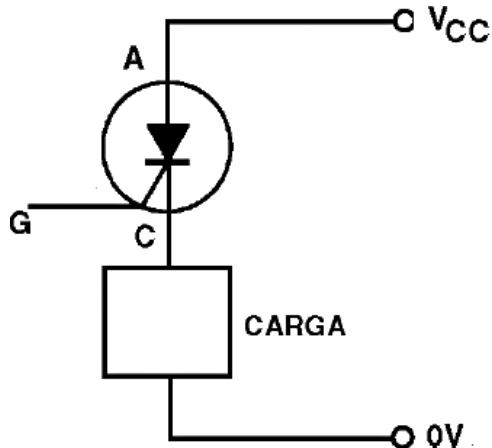


Figura 197 – Ligando a carga ao catodo

Respeitando-se a corrente máxima e tensão máxima suportada pelo SCR, para dispará-lo, basta aplicar a corrente à comporta, o que pode ser feito de duas formas, conforme mostra a figura 198.

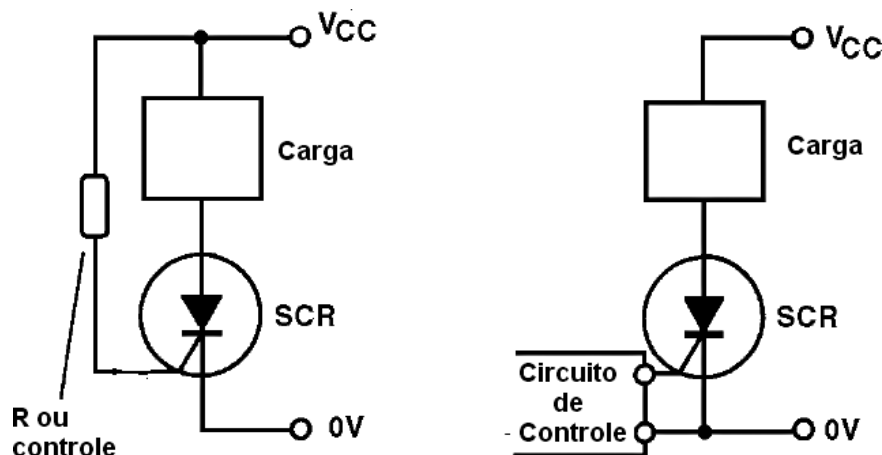


Figura 198 – Os modos de disparo

Num caso, a corrente é aproveitada do próprio circuito que alimenta a carga, responsável pela corrente principal. Um resistor (R) limita a intensidade da corrente de disparo.

No outro caso, aproveitamos um circuito separado que, no entanto, tem um elemento em comum com o circuito da corrente principal, correspondendo ao catodo.

Observe que, se as correntes dos dois circuitos circulam em comum pelo catodo, os dois circuitos (carga e controle) não se interferem. Isso significa que, na prática, o circuito da carga pode ser de

Linha comum de alta e baixa tensão

É comum, em certos circuitos, que tenhamos no mesmo aparelho um circuito de baixa tensão e um circuito de alta tensão que compartilham o mesmo terra, como no caso que vimos. Este compartilhamento não significa que os circuitos recebam a mesma tensão. As tensões ficam separadas, não havendo perigo da alta tensão causar problemas no de baixa, pois como existe apenas uma conexão, não há percurso para circulação da corrente.

alta tensão, e o de controle de baixa tensão, sem que isso signifique qualquer problema.

Esta característica do SCR poder controlar cargas de alta potência, a partir de sinais de baixa intensidade, lembra muito o relé. No entanto, se o SCR é muito menor e mais barato que o relé, ele apresenta uma séria desvantagem neste tipo de aplicação: não existe isolamento entre o circuito de controle e o circuito de carga, conforme o leitor poderá na figura 199.

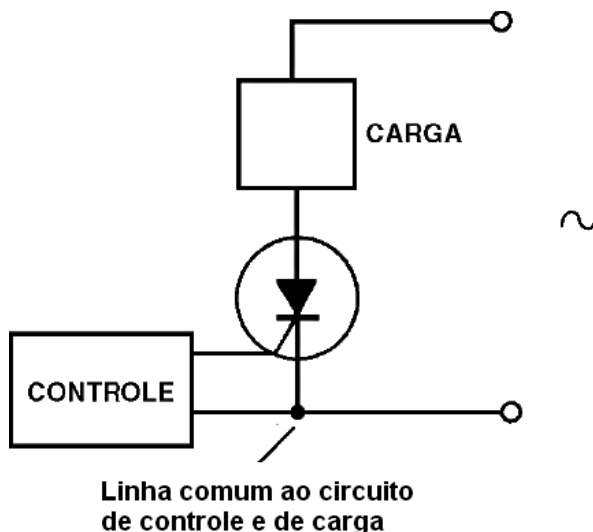


Figura 199 – Não há isolamento entre o circuito de controle e o de carga

Para desligar o SCR, neste tipo de aplicação, já que estamos operando com corrente contínua, precisamos interromper por um momento a corrente ou curto-circuitar por um momento o anodo e o catodo.

Alguns tipos de SCRs, como, por exemplo, o TIC106 (Texas), exigem em determinadas aplicações, o uso de um resistor adicional de polarização de comporta, cujo valor estará entre 1 k e 47 k ohms, conforme poderemos observar clicando na figura 200.

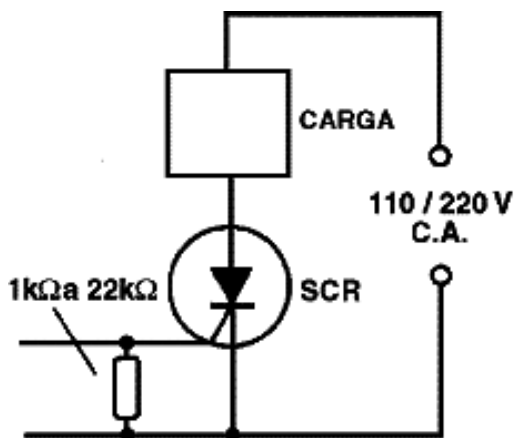


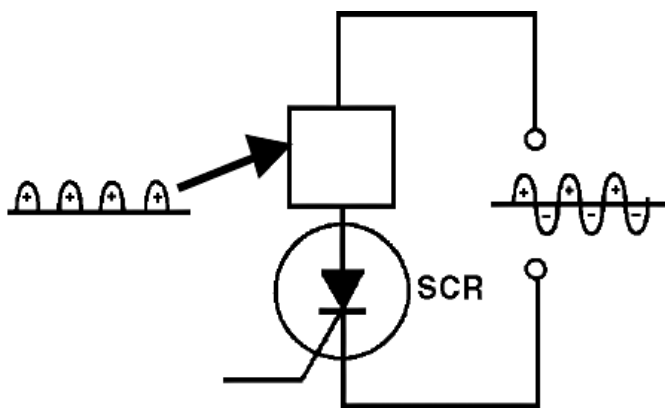
Figura 200 – Usando um resistor de polarização de comporta

Sem este resistor, com uma tensão muito alta entre anodo e catodo, a corrente de fuga pode tornar-se suficientemente intensa para dar início ao processo de realimentação, e com isso provocar o disparo. O SCR disparará “sozinho”, se este resistor não for acrescentado para desviar a corrente de fuga que circularia pela junção gate-catodo.

6.3.2 - Circuitos de corrente alternada

Neste caso, precisamos levar em conta dois fatos importantes: um é que a corrente alternada inverte seu sentido constantemente, enquanto que o SCR só conduz a corrente num sentido.

Se mantivermos o SCR disparado, aplicando uma corrente alternada no circuito de carga, teremos somente a condução dos semiciclos positivos, conforme mostra a figura 201.



**Somente os semiciclos positivos
são conduzidos**

Figura 201 – O SCR é um controle de meia onda

Por outro lado, se aplicarmos um pulso de curta duração para o disparo, dependendo do instante no semiciclo da tensão que alimenta o circuito, o SCR pode disparar ou não, e em função deste disparo, podemos ter a sua condução por mais ou menos tempo, já que, obrigatoriamente quando a tensão cai a zero no final de cada semiciclo, o SCR desliga, conforme poderemos observar na figura 202.

Na Prática

Os tipos de SCRs, que eventualmente podem ser encontrados nos equipamentos eletrônicos comuns, não possuem características muito especiais. Assim, se o leitor tiver cuidado, poderá com facilidade encontrar equivalentes sem muito trabalho. Isso é importante no caso de um técnico reparador que precisa eventualmente fazer a substituição de um SCR danificado. Como testar SCRs pode ser visto nos livros da Série Como Testar Componentes do mesmo autor deste curso.

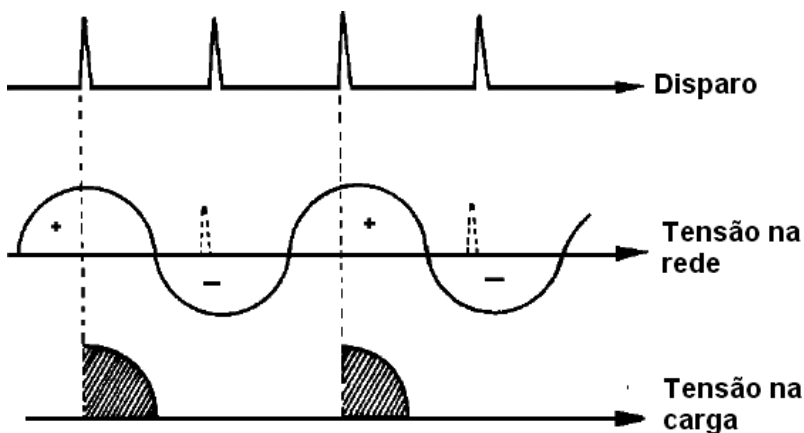


Figura 202- Disparando por pulsos em pontos do semiciclo

Esta característica poderá ser usada numa modalidade muito importante de aplicação para os SCRs que são os controles de potência para a rede de corrente alternada.

Vamos detalhar melhor o funcionamento do SCR numa destas aplicações, partindo do circuito da figura 203 que é típico.

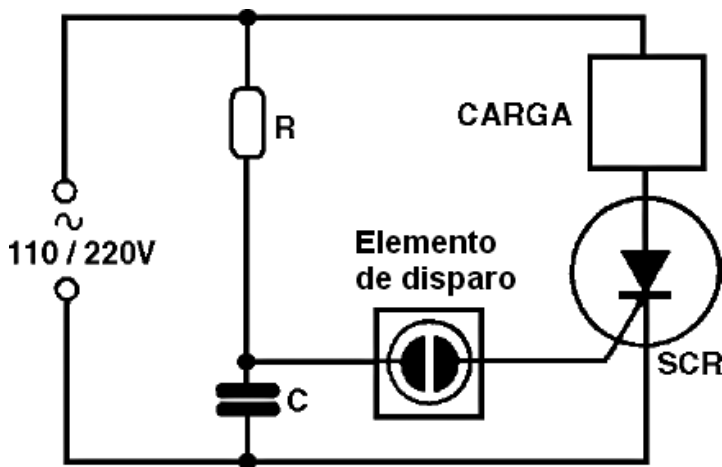


Figura 203- Um controle básico de potência com SCR

A tensão de disparo do SCR é alcançada em função do tempo de carga do capacitor C através do resistor R. Supondo que esta tensão seja alcançada logo no início do semiciclo, o SCR dispara e já conduz praticamente todo o semiciclo para a carga, que então recebe a potência máxima.

Se o valor de R for grande, a tensão de disparo só é alcançada no final do semiciclo, e quando o SCR “liga” a carga, recebe somente o “finalzinho” do semiciclo, o que corresponde a uma potência mínima, conforme o leitor poderá ver ao clicar na figura 204.

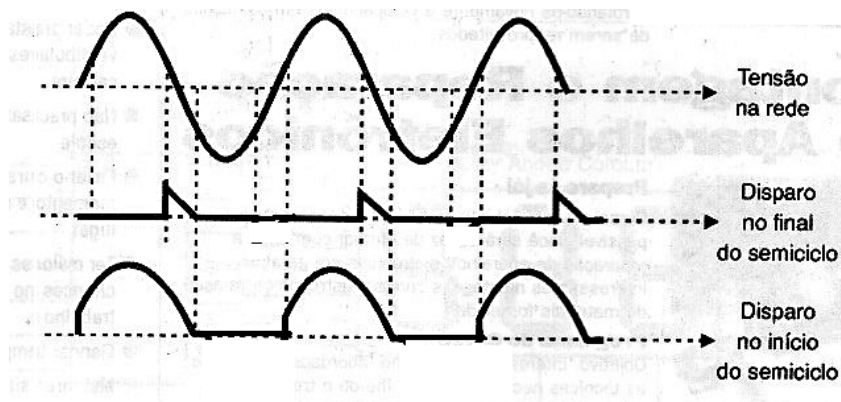


Figura 204 – Disparo em ângulos de fase diferentes

Veja que, se fizermos R variável, podemos controlar a potência aplicada a uma carga. Por outro lado, se mantivermos a comporta continuamente polarizada através de uma fonte externa, certamente o SCR ligará tão logo tenhamos pelo menos 2,0 V entre o anodo e o catodo, e assim teremos a condução dos semiciclos positivos para a carga.

Nesta aplicação, o SCR funciona como espécie de interruptor ou relé, ligando e desligando uma carga a partir de correntes muito fracas.

6.3.3 - Problemas de interferências (RFI)

RFI ou Radio Frequency Interference (Interferência por Radio Freqüência) é um problema que preocupa todos os fabricantes de equipamentos eletrônicos. Existem normas muito bem estabelecidas que fixam os limites de ruído e interferências que qualquer equipamento eletrônico pode gerar.

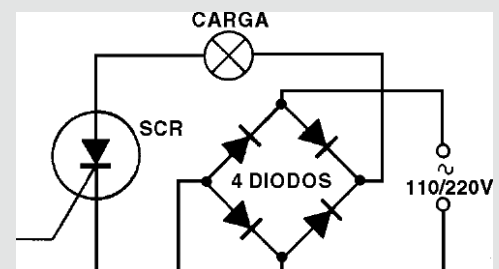
As empresas devem se enquadrar nessas normas, se quiserem vender seus equipamentos.

O fato de um SCR ser um componente com certa velocidade de comutação faz com que, na sua operação, sejam gerados sinais indesejáveis ou transientes que, propagando-se ou pela própria rede de alimentação ou pelo espaço, interferem em receptores de rádio e até televisores.

Desta forma, é comum que circuitos que utilizem SCR's causem interferências que precisam ser eliminadas. Na figura 205, mostramos um filtro para estas interferências, o qual serve para evitar sua ação via rede. Ligado em série com o aparelho que usa o SCR, ele evita que as interferências geradas saiam do aparelho e se propaguem pela rede.

Controle de onda completa

Uma maneira de se conseguir um controle de onda completa, mesmo usando SCR's que são controles de meia onda, consiste no acréscimo de uma ponte de diodos, conforme o leitor poderá ver na figura abaixo. Esta ponte faz com que tenhamos ambos os semiciclos da corrente alternada aplicados à carga. Os diodos "invertem" um dos semiciclos da alimentação. Os diodos, para esta aplicação, devem ser capazes de conduzir a intensidade de corrente que se pretende controlar com o SCR e, além disso, devem ser especificados para uma tensão máxima, maior que o valor de pico da tensão de alimentação.



SCR num controle de onda completa

Na Prática

O tipo de interferência que os circuitos com SCRs produzem é o mesmo que muitos outros, que utilizam dispositivos comutadores de potência, produzem, devido à comutação muito rápida dos circuitos. No entanto, no caso de circuitos de potência, estas interferências podem ser mais intensas. O importante é saber que os filtros que eliminam as interferências, que se propagam via rede de circuitos que usam SCRs, também servem para evitar que interferências de outros equipamentos, que as gerem, se propaguem da mesma maneira.

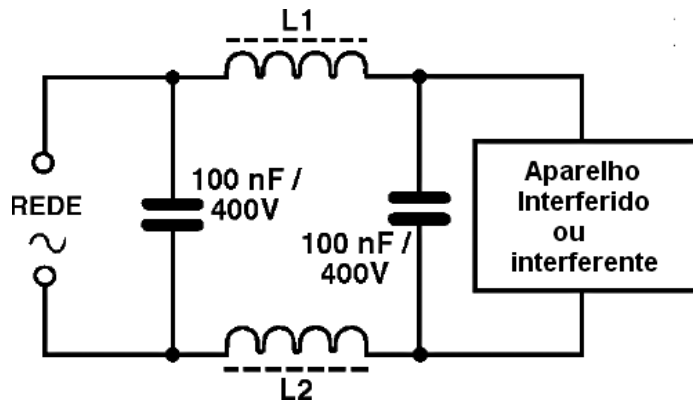


Figura 205 – Um filtro para controles de potência

Ligado em série com o aparelho interferido, o filtro evita que sinais interferentes, que venham pela rede, cheguem até ele. Veja que este tipo de filtro serve apenas para as interferências que se propagam pela rede de alimentação. Nos casos em que a interferência vem pelo espaço, na forma de ondas eletromagnéticas, devemos blindar o aparelho interferente e ligar sua carcaça a terra.

6.4 – Estrutura do TRIAC

O TRIAC, outro membro da família dos tiristores, pode ser considerado como um componente obtido pela ligação de dois SCRs em oposição, tendo em comum um eletrodo de disparo (gate), conforme o leitor poderá ver na figura 206.

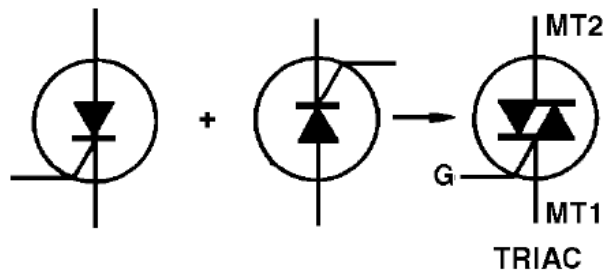


Figura 206 – Um Triac se comporta como dois SCRs em oposição

Cada um dos “SCRs” que formam um TRIAC já tem o seu funcionamento conhecido, de modo que podemos imaginar este componente como alguma coisa semelhante a uma “ chave bilateral”, que conduz a corrente nos dois sentidos, portanto, e que pode ser disparada por um sinal aplicado ao seu elemento de comporta.

Observe que o TRIAC tem dois terminais principais: MT1 e MT2 e um terminal de comporta. O TRIAC é usado em circuitos de corrente alternada (apenas), ligado em série com a carga, conforme será possível ver na figura 207.

EMI

Electromagnetic Interferente ou EMI é o nome dado às interferências que se propagam pelo espaço, na forma de ondas de rádio. Estas interferências são recebidas com os sinais que transportam informações, afetando sua integridade. Normas para reduzir a emissão de EMI por aparelhos comuns devem ser seguidas por todos os fabricantes, e também na instalação de equipamentos.

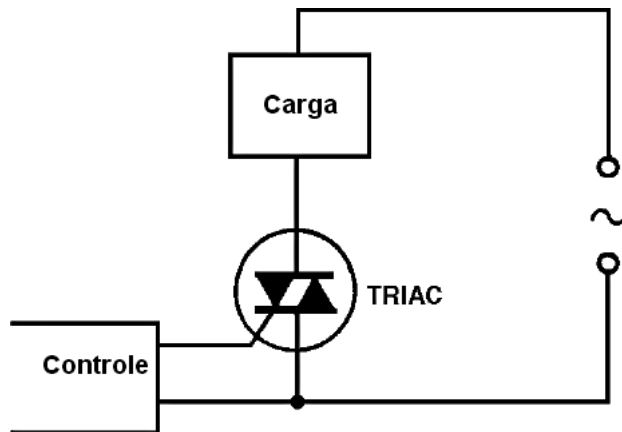


Figura 207 – O uso do triac

Para dispará-lo, devemos aplicar uma tensão positiva ou negativa em sua comporta, o que permite fazer seu disparo nos circuitos de corrente alternada em qualquer dos semiciclos. A tensão de disparo para este componente é da ordem de 2 V, e correntes típicas na faixa dos 10 mA aos 200 mA são encontradas, dependendo da potência do componente.

Os TRIACs podem ser disparados de 4 modos diferentes, o que deve ser observado nas suas aplicações:

Modo I+: nesta modalidade o terminal MT2 estará positivo em relação a MT1, e a corrente de comporta tem sentido tal, que entra no componente, ou seja, Gate positiva.

Modo I-: nesta modalidade o terminal MT2 é positivo em relação a MT1, e a corrente de gate sai do componente, ou seja, temos uma comporta polarizada negativamente.

Modo III+: nesta modalidade o terminal MT2 está negativo em relação a MT1 e a comporta positiva, ou seja, com a corrente entrando no componente.

Modo III-: nesta modalidade, em que temos o terminal MT2 negativo em relação ao MT1 aplicamos um pulso negativo ao terminal de disparo.

Nas modalidades I+ e III- obtemos maior sensibilidade ao disparo para o TRIAC do que nas outras modalidades.

6.5 – Especificações do TRIAC

Da mesma maneira que no caso dos SCRs, precisamos conhecer as principais especificações dos TRIACs para poder usá-los convenientemente. Os limites devem ser respeitados, para que o componente não venha a queimar-se.

As principais especificações que devemos observar para os TRIACs são:

Na Prática

Aparelhos que podem fazer uso de TRIACs e SCRs são os estabilizadores de tensão e os No-breaks. Os circuitos de controle desses aparelhos, por trabalharem diretamente com a energia da rede de alimentação, eventualmente usam configurações que fazem uso de SCRs e TRIACs no seu controle. Dimmers, controles de velocidade de motores e de muitos eletrodomésticos, também utilizam esses componentes.

Na Prática

Os leitores que pretendem ir além, e se tornarem profissionais da eletrônica, precisam saber consultar as características de componentes, por exemplo, os SCRs e TRIACs. O acesso a estas informações via Internet ou outra maneira. Isso lhes permitirá encontrar equivalentes para um componente, caso o original não possa ser obtido ao se tentar uma reparação.

6.5.1 - Tensão máxima de trabalho (VDRM)

Esta característica refere-se à máxima tensão que pode aparecer entre os terminais de um TRIAC quando ele se encontra desligado. Para os tipos comuns, ela pode variar entre 50 ou 100V até mais de 1 000 V.

Podemos especificar esta tensão também em termos de pico, para pulsos de curta duração, de modo que nos manuais aparecem as condições em que o valor é válido.

Para a maioria dos casos, entretanto, o valor refere-se ao pico de uma tensão senoidal, já que a principal aplicação do componente é justamente em circuitos ligado à rede local.

6.5.2 - Corrente máxima IT(RMS)

Veja que o valor indicado já tem a especificação de que se trata de uma corrente rms, ou seja, o valor eficaz da corrente alternada, já que o componente normalmente operará em circuitos de corrente alternada.

6.5.3 - Corrente de disparo IGT

Temos aqui a indicação da sensibilidade do comportamento ao disparo, sendo esta corrente especificada em termos de miliampères.

É importante também saber a intensidade máxima da corrente que podemos aplicar na comporta (gate) do TRIAC sem perigo de estragá-lo, já que em muitas aplicações são usados dispositivos especiais para esta finalidade.

6.6 - Circuitos práticos

O TRIAC é um dispositivo indicado para operação direta na rede de corrente alternada. Nas aplicações básicas, a carga é ligada em série com o componente do lado de MT2 (terminal principal 2), conforme mostramos na figura 208.

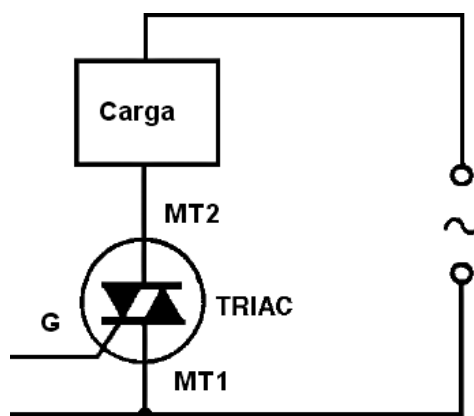
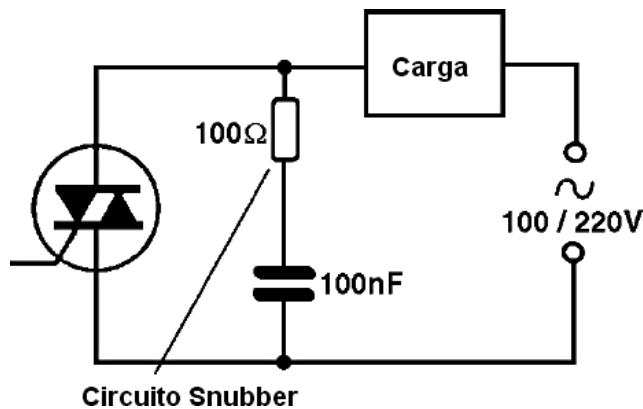


Figura 208 – Conexão do triac à carga controlada

Se o componente for usado com cargas indutivas, devemos acrescentar em paralelo ao circuito um resistor tipicamente de 100 ohms e um capacitor tipicamente de 100 nF.

A finalidade destes componentes é evitar que o defasamento da corrente que ocorre com cargas fortemente indutivas (enrolamento de um motor, por exemplo) afete o funcionamento do sistema de controle. Este circuito RC em paralelo com o triac é denominado “snubber”. Veja na figura 209 como ele é ligado.



Circuito Snubber

Figura 209 – Usando um snubber

Snubber

Os snubbers são circuitos amortecedores, formados por um resistor e um capacitor em série (normalmente 100 nF x 330 ohms ou 10 nF e 10 ohms, em SCRs ou triacs ligados na rede de energia), cuja finalidade é amortecer os transientes de alta tensão que ocorrem na comutação de uma carga. Estes transientes, tanto podem causar interferências, como forçar o dispositivo de comutação, chegando a causar sua queima. Snubbers também são utilizados para proteger contatos de relé, absorvendo a energia gerada na comutação de cargas indutivas.

Uma aplicação simples do Triac controlando uma carga é como um interruptor de potência, mostrado na figura 210.

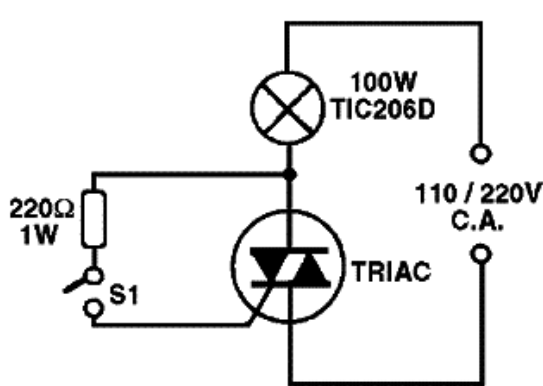


Figura 210- Uma chave de potência com Triac

Quando o interruptor S1 é fechado, temos a corrente de disparo que “liga” o TRIAC nos dois semiciclos da corrente alternada. Esses semiciclos são conduzidos, alimentando assim o circuito de carga.

No entanto, nas aplicações que envolvem a variação da potência aplicada a uma carga, como vimos no caso de SCRs, devemos usar circuitos adicionais que gerem pulsos curtos de disparo.

Estes pulsos serão produzidos no início ou no final do semiciclo, conforme desejemos aplicar maior ou menor potência à carga, conforme mostra a figura 211.

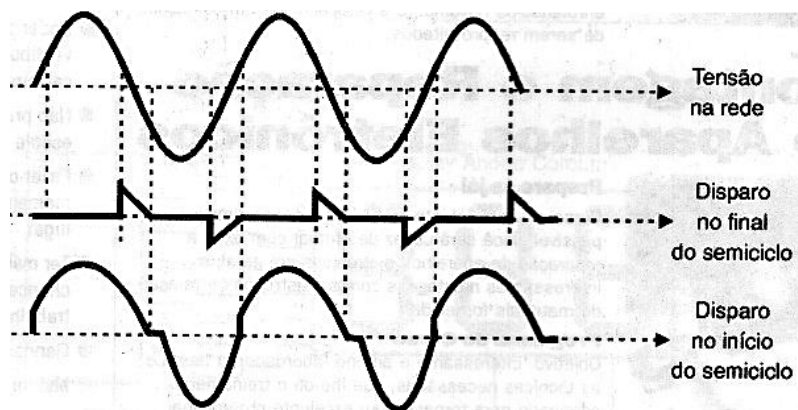


Figura 211- Condução do TRIAC para pontos diferentes de disparo

Um componente que pode ser usado eficientemente para esta finalidade é justamente o Triac. Chegamos então ao interessante circuito de controle de potência, ou “dimmer” para uma lâmpada incandescente comum, visto na figura 212, e que funciona da seguinte forma:

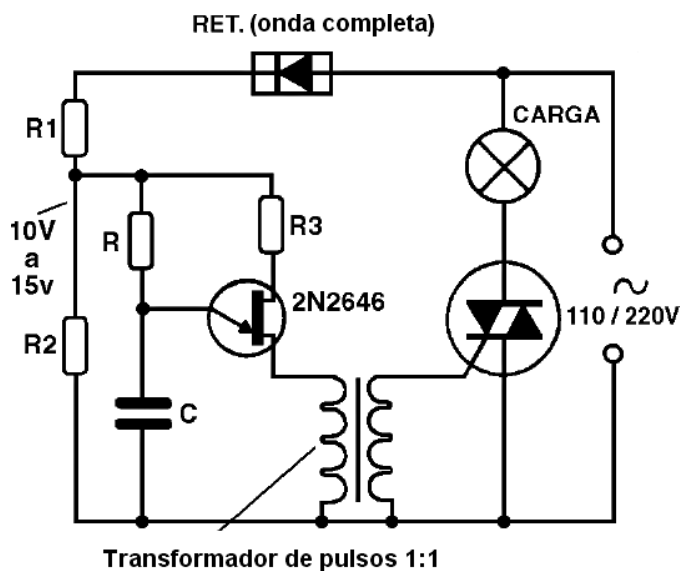


Figura 212 – Um dimmer usando triac

Quando tem início um semiciclo da tensão de alimentação alternada, o capacitor C carrega-se através do resistor, até ser atingido o ponto de disparo do transistor unijunção. Quando o transistor unijunção dispara, temos a descarga rápida do capacitor C através do enrolamento primário do transformador de pulsos, usado no disparo.

Este transformador, normalmente tem uma relação de espiras de 1 para 1 entre os elementos, pois sua finalidade é apenas isolar o circuito de disparo do circuito do TRIAC.

Com o pulso no primário do pequeno transformador, temos o aparecimento no secundário de um pulso de curta duração, e de grande intensidade, que é suficiente para disparar o TRIAC.

Pela variação do valor de R, podemos obter o pulso de disparo em qualquer ponto dos dois semiciclos da corrente alternada, e assim aplicar qualquer potência na carga, pois dispararemos o componente em diversos ângulos de fase.

Na figura 213 temos então o circuito completo, com o uso de um potenciômetro de controle.

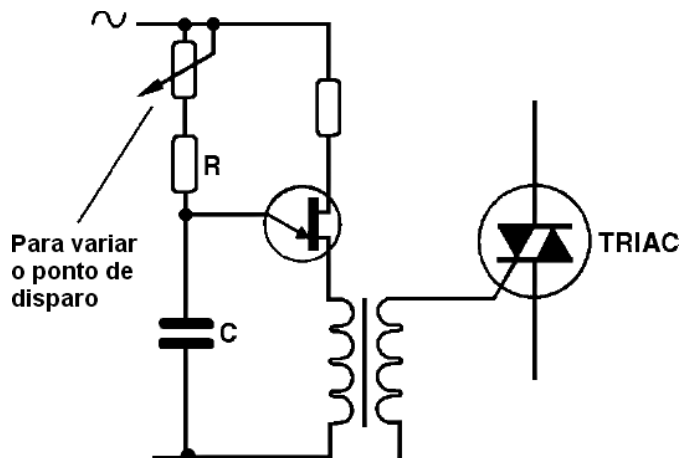


Figura 213 – O dimmer completo

Os componentes de circuito como R, C e o valor do potenciômetro são calculados usando fórmulas específicas que o leitor poderá conhecer, avançando em nossos cursos.

6.7 – Outros componentes da família dos tiristores

Além de SCRs e TRIACs, a família dos Tiristores possui outros elementos, alguns dos quais são usados juntamente com os próprios SCRs e TRIACs no seu disparo. Estes elementos poderão ser estudados mais profundamente em nossos cursos que tratam da eletrônica de potência, controle e automação.

6.7.1 - SUS

O primeiro componente interessante desta família, e que é usado no disparo dos SRCs é o SUS, ou Silicon Unilateral Switch, o que traduzido significa Chave Unilateral de Silício.

Este componente, cujo símbolo e circuito equivalente podem ser vistos ao se na figura 214, consiste numa espécie de SCR, mas que possui uma tensão fixa de disparo, normalmente em torno de 7,5 V, dada pela presença de um diodo zener interno.

Uso do dimmer

Dimmers, ou controles de potência com triacs (e também com SCRs), só servem para cargas resistivas e eventualmente indutivas, como motores. Estes controles não devem ser usados com lâmpadas eletrônicas ou fluorescentes, pois podem causar sua queima. Também não devem ser usados com equipamentos eletrônicos.

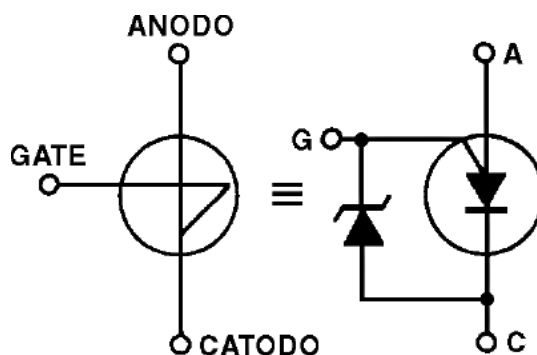


Figura 214 – SUS, símbolo e circuito equivalente

Nas aplicações normais, este componente é mantido com a comporta (gate) desligada e ligado em série com a comporta de um SCR. Quando a tensão entre o anodo e o catodo do SUS se eleva o suficiente para ocorrer a condução do zener, o dispositivo dispara, produzindo um pulso que, por sua vez, aciona o SCR. A tensão de disparo do dispositivo é pouco maior que a tensão do zener interno, o que resulta em algo em torno de 8,0 V.

6.7.2 - SBS

SBS é a abreviatura de Silicon Bilateral Switch, ou Chave Bilateral de Silício. Trata-se de um componente que tem símbolo e estrutura equivalente mostrados na figura 215.

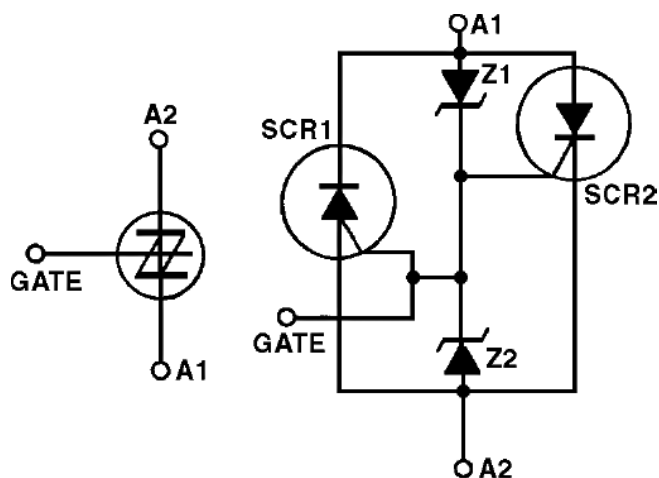


Figura 215 – SBS – símbolo e circuito equivalente

Trata-se de um dispositivo que tem o mesmo comportamento básico do SUS, com a diferença de que ele pode conduzir a corrente nos dois sentidos, quando disparado. Este dispositivo é usado no disparo de TRIACs, sendo normalmente usado com a sua comporta desligada e em série com a comporta do TRIAC.

Tanto o SBS como SUS são dispositivos de pequena potência, mas de ação muito rápida.

6.7.3 - Diac

O DIAC, cujo símbolo poderá ser visto na figura 216, consiste num dispositivo que apresenta uma característica de resistência negativa no ponto de disparo. Os DIACs disparam com tensões típicas em torno de 35 V, quando então é possível produzir um pulso de alta intensidade e curta duração para o disparo de TRIACs.



Figura 216 – Símbolo do diac

Os DIACs são os elementos mais usados no disparo de TRIACs, principalmente quando configurados como controles de potência. Como esta aplicação é muito comum, existe um componente que já reúne num invólucro único o TRIAC e o DIAC.

Um exemplo de dimmer usando TRIAC e DIAC, mas que também pode usar um QUADRAC (que será estudado no próximo item) é dado a seguir.

O princípio de funcionamento deste circuito é o controle do ângulo de condução de um Triac. Disparando-o em diversos pontos do sinal senoidal da rede de energia, é possível aplicar a uma carga potências diferentes.

Assim, se o disparo for feito no início do semiciclo, todo ele pode ser conduzido para a carga e ela receberá maior potência. No entanto, se o disparo for feito no final do semiciclo pequena parcela da energia será conduzida até a carga que operará com potência reduzida. Na figura 217 mostramos o que ocorre.

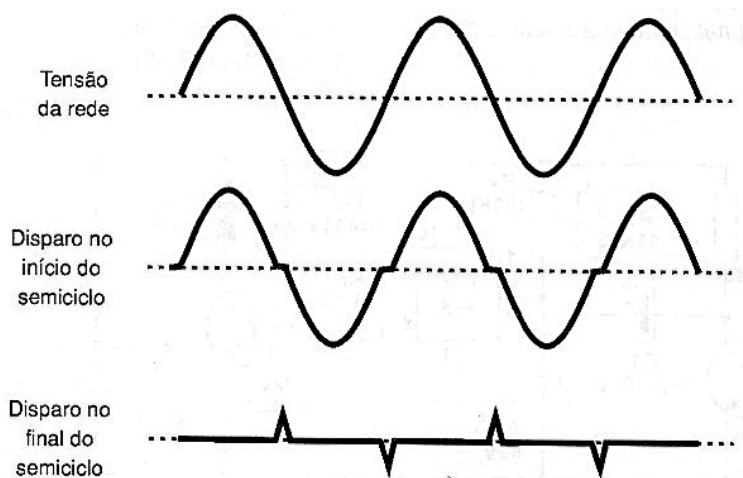


Figura 217 – Disparo em diversos ângulos de condução

Para obter o disparo do triac em diversos pontos dos semiciclos da energia da rede, o que fazemos é usar uma rede RC de retardo onde R é variável.

Com R (P1) na sua posição de valor máximo, o tempo de carga de C1 até o disparo do diac é maior. Nestas condições dá tempo para uma parcela maior do semiciclo da energia da rede passar e o disparo só ocorre no seu final. Com R na posição de mínimo, a carga de C1 é rápida e o disparo do diac ocorre no início do semiciclo. Temos a condição de máxima potência aplicada à carga.

Entre os pontos de máximo e de mínimo, pode-se variar linearmente a potência aplicada à carga, com um controle total da mesma.

Uma característica importante do circuito, que é importante quando ele é usado para controlar motores, é que sendo o controle feito pela parcela do semiciclo aplicado, e não pela sua tensão, o torque se mantém mesmo em baixas velocidades.

Conforme a escolha do Triac podemos ter potências diferentes máximas para as cargas controladas. Para isso existem diversas opções, utilizando os triacs da série TIC da Texas.

A tabela abaixo dá as opções:

TIC116 - 6 ampères
 TIC226 - 8 ampères
 TIC236 - 12 ampères
 TIC246 - 16 ampères

Na figura 218 temos o diagrama completo do Dimmer.

Diac

Lembramos que os DIACS são “lâmpadas neon” de estado sólido. Estes componentes disparam conduzindo fortemente a corrente quando uma tensão entre 24 e 28 volts aparece entre seus terminais, consistindo em elementos ideais para o disparo de triacs.

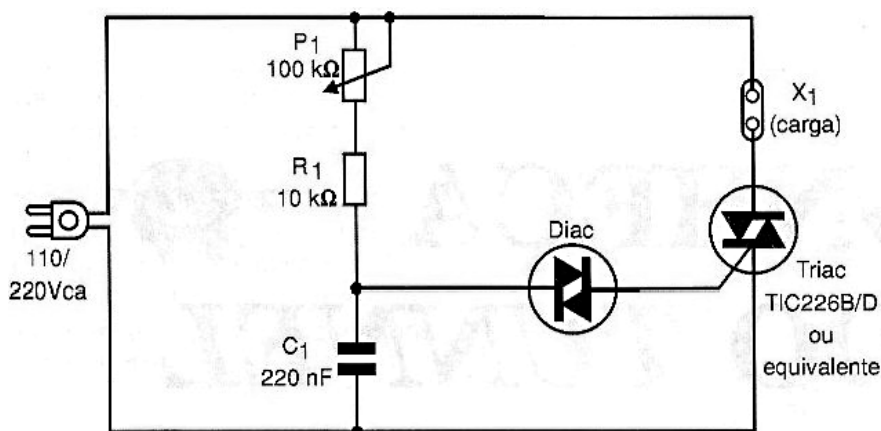


Figura 218 – O controle de potência com TRIAC

O Triac deve ser montado num bom radiador de calor, principalmente se tiver de operar perto de suas características limites.

O potenciômetro de controle pode ficar distante do circuito, dependendo da aplicação, mas se isso ocorrer, os fios devem ser bem isolados. Lembramos que este circuito opera ligado diretamente na rede de energia e que, portanto, pode causar choques perigosos.

O capacitor C2 deve ter uma tensão de isolamento de pelo menos 100 volts e o Diac pode ser de qualquer tipo.

6.7.4-Quadrac

O QUADRAC é um tiristor que, num invólucro único, reúne um DIAC e um TRIAC, conforme mostra a figura 219.

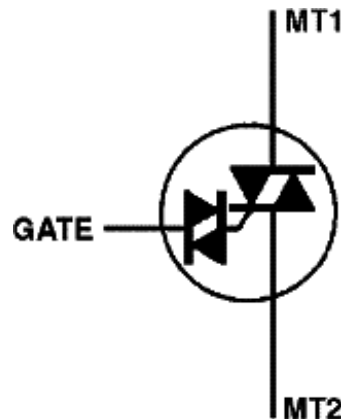


Figura 219 – Símbolo do quadrac

Os QUADRACs são usados principalmente em circuitos de controles de potência, sendo fornecidos em correntes da ordem de alguns ampères até algumas dezenas de ampères.

6.7.5 – SIDAC

O SIDAC é um diodo (D) de silício (SI), indicado para aplicações em circuitos de corrente alternada (AC). É justamente isso que o acrônimo para Silicon Diode for Alternating Current indica. Esse dispositivo possui uma característica de disparo semelhante a dos DIACs, mas com a capacidade de operar com tensões e correntes muito maiores. Na figura 220 temos o seu símbolo e sua curva característica.

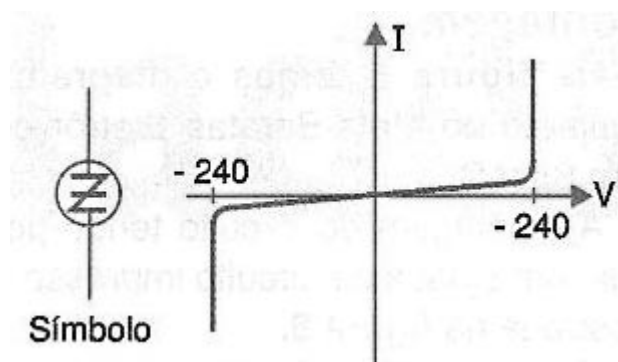


Figura 220 – Símbolo e curva característica do SIDAC

O SIDAC é um componente bilateral, conforme podemos observar pelas curvas, o que justamente o torna apropriado para aplicações em AC. Quando a tensão entre os terminais do SIDAC está abaixo de certo valor $V(BO)$, ele se encontra bloqueado.

Obtendo SIDACs

Os SIDACs não são componentes muito comuns, assim como outros descritos neste capítulo. Assim, seu uso em projetos simples, exige algum trabalho de quem vai montar, já que para linhas de montagens, é mais fácil obter estes componentes em grande quantidade.

Se a tensão ultrapassar esse valor, o dispositivo conduz e a tensão entre seus terminais cai para o valor de condução direta $V(TM)$ da ordem de 1,1 V. A corrente que ele pode conduzir nesse estado pode chegar a 10 A para pulsos curtos (10 μ s, 1 kHz de frequência de repetição).

Uma vez disparado, o dispositivo permanece nessa condição até que as condições de manutenção sejam ultrapassadas, ou seja, a corrente caia abaixo de certo valor ou a tensão aplicada também caia além de certo valor. Para SIDACs típicos, as tensões de ruptura podem ir de 45 a 250 V com correntes eficazes na faixa de 1 a 10 A.

Como eles podem conduzir correntes intensas no disparo, os SIDACs são dispositivos ideais para o controle de tiristores (TRIACs e SCR) de pequena sensibilidade em circuitos de potência.

6.7.6 - Outros

Além dos componentes mostrados neste capítulo, existem alguns outros conhecidos de capítulos anteriores e que podem ser usados no disparo de SCR e TRIACs em muitas aplicações. Um deles que já vimos, é o transistor de unijunção que é capaz de produzir pulsos de grande intensidade e curta duração.

Outro componente, que pode ser usado no disparo, tanto de SCRs como TRIACs, é a lâmpada neon. Ligada em série com a comporta de um SCR, por exemplo, conforme poderemos verificar na figura 221, ela se comporta como um SUS com tensão de disparo de 80 V.

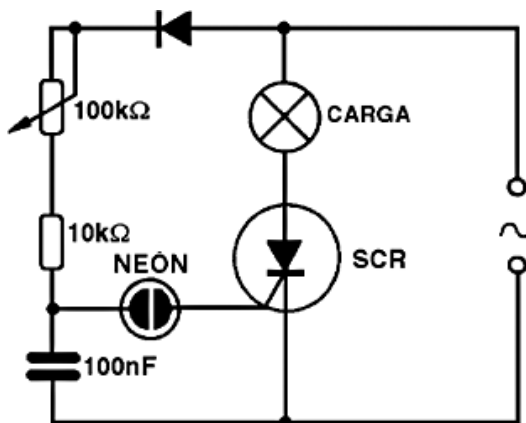


Figura 221 – Lâmpada neon no disparo de um SCR

Temas em Inglês

Alguns termos relacionados ao assunto deste capítulo são importantes, principalmente quando em busca de informações na internet.

Four layer diode – diodo de quatro camadas

Thyristor – tiristor

Silicon Controlled Rectifier – diodo controlado de silício

(SCR)

Power control – controle de potência

Dimmer – controle de potência (controle de brilho de uma lâmpada)

Neon lamp – lâmpada neon

Phase control – controle de fase

Temas Para Pesquisa

- Diodos de quatro camadas
- Tiristores
- Controles de potência
- Lâmpada neon

QUESTIONÁRIO

1. Qual é o nome da “família” de componentes a que pertencem os SCRs e os TRIACs?
 - a) semicondutores
 - b) transistores bipolares
 - c) comutadores
 - d) tiristores

2. Num circuito de corrente contínua, uma vez disparado, o que temos de fazer para desligar um SCR?
 - a) aplicar uma tensão inversa na comporta
 - b) aterrar a comporta
 - c) curto-circuitar a comporta com o catodo
 - d) curto-circuitar o anodo com o catodo

3. Qual é a polaridade da corrente que devemos aplicar à comporta de um SCR para dispará-lo?
 - a) negativa
 - b) positiva
 - c) 0 V
 - d) uma tensão alternada

4. Podemos usar os SCRs em circuitos de corrente alternada?
 - a) sim
 - b) não
 - c) somente em condições especiais
 - d) só em circuitos de alta frequência

5. Qual é o componente de características básicas semelhantes ao SCR, mas que pode controlar a corrente em ambos os sentidos?
 - a) o transistor bipolar
 - b) O Power MOSFET
 - c) o diodo semiconductor
 - d) o Triac

6. O DIAC é usado no disparo de que tipo de componente?
 - a) Power MOSFET
 - b) SCR
 - c) Triac
 - d) Lâmpada neon



» Osciladores

Vimos no capítulo 4 como polarizar um transistor assim como usá-lo em diversas configurações, como as encontradas nos equipamentos eletrônicos comuns. Analisamos também como o transistor amplifica, e como esta amplificação é medida. Uma das aplicações importantes do transistor, também estudada naquela lição, foi nos circuitos de corrente contínua capazes de regular tensões em fontes de alimentação, e que são importantes em todos os equipamentos eletrônicos modernos. Posteriormente, analisamos o transistor em circuitos de frequências da faixa de áudio e RF, vendo como podemos transferir os sinais de uma etapa para outra, sem interferir na polarização. Continuaremos nossos estudos ainda do transistor em configurações de grande importância para a eletrônica como as capazes de gerar sinais, ou seja, os osciladores. Veremos desde os osciladores lentos, que são usados na produção de sinais de áudio ou mesmo temporização, até osciladores muito rápidos, que produzirão sinais de muitas centenas de megahertz, servindo de sincronizadores ou clocks dos computadores e que também são usados em transmissores, em instrumentação digital e muito mais. Os itens que compõem esta nossa lição são os seguintes:

- 7.1 - O que são osciladores
- 7.2 - Oscilador Hartley
- 7.3 - Oscilador Colpitts
- 7.4 - Oscilador de bloqueio
- 7.5 - Oscilador de Duplo T
- 7.6 - Oscilador de deslocamento de fase
- 7.7 - Multivibrador astável
- 7.8 - Harmônicas
- 7.9 - Oscilador de relaxação
- 7.10 - Outros osciladores
- 7.11 - Controle de frequência

Documentação em inglês

Na documentação técnica inglesa é comum encontrar a abreviação LF para baixa frequência – low frequency e HF para alta frequência – high frequency).

7.1 - O QUE SÃO OSCILADORES

Sons são produzidos quando uma corrente elétrica, que muda constantemente de sentido, ou ainda sofre variações periódicas de intensidade, circula através de um transdutor apropriado.

Como exemplo, podemos citar a cápsula de um fone ou um alto-falante. Para que tenhamos sons audíveis, a frequência desta corrente deve estar entre 15 e 15 000 Hertz aproximadamente, mas como existem animais que podem perceber frequências maiores, o espectro de áudio não é limitado somente por estes valores.

Em eletrônica, as frequências da faixa de áudio são aquelas que vão até aproximadamente 100 000 Hz, conforme o leitor poderá ver na figura 222.

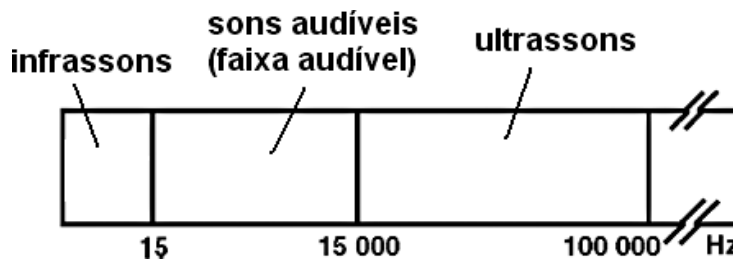


Figura 222 – O espectro das áudio frequências

Por outro lado, para que tenhamos ondas de rádio ou ondas eletromagnéticas, é preciso que correntes também variáveis de frequências que podem ir de algumas dezenas de quilohertz, ou mesmo mais baixas, até bilhões de hertz, sejam aplicadas a uma antena. As frequências desta faixa formam o espectro das rádio-frequências ou RF, conforme mostra a figura 223.

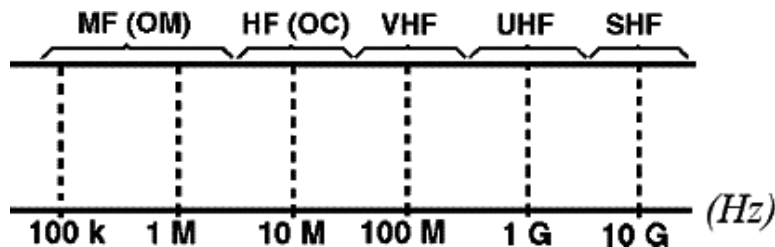


Figura 223 – O espectro das radio-frequências

Na Prática

As correntes, tanto das frequências de áudio como de RF, podem ser usadas para sincronizar os circuitos, ou ainda para determinar a produção de determinados sons. O bip que o seu PC, seu celular ou seu forno de microondas produz em determinados momentos, pode ser resultado da síntese do som por um circuito oscilador.

Para produzir correntes elétricas em frequências que correspondam tanto a faixa das áudio frequências (AF), como das rádio frequências (RF), são usados circuitos denominados osciladores.

Basicamente, um oscilador nada mais é do que um amplificador que é ligado de tal maneira que, em sua saída tenhamos um sinal com frequência e amplitude definidas.

As propriedades elétricas dos transistores bipolares permitem que estes componentes sejam usados em osciladores de diversos tipos. O modo como cada tipo de oscilador funciona, caracteriza seu tipo e existem muitos deles, dos quais veremos os principais neste capítulo.

Para que um transistor oscile, a técnica usada é muito simples: tomamos o sinal amplificado na saída de um transistor usado como amplificador e o aplicamos de volta à sua entrada, ou seja, fazemos um circuito com realimentação positiva.

O sinal de saída volta para a entrada e, novamente é amplificado, resultando em novo sinal de saída que volta à entrada, num ciclo que dura indefinidamente (enquanto o circuito for alimentado), produzindo assim as oscilações, conforme o leitor verá na figura 224.



Figura 224 – Um oscilador nada mais é do que um amplificador com um circuito de realimentação

Temos um exemplo de como isso funciona quando ligamos um amplificador com um microfone conectado à entrada e abrimos o volume. O sinal do alto-falante é captado de volta pelo microfone, passando novamente pelo amplificador, num ciclo que produz um forte apito, ou realimentação acústica. Esse apito é denominado “microfonia”. A velocidade com que o sinal é aplicado à entrada determina o tempo de percurso do sinal num ciclo completo e, portanto, a frequência de operação do oscilador.

Veja que é de fundamental importância que o “ganho” do amplificador seja maior que 1, ou seja, o sinal de saída deve ser “mais forte” que o de entrada.

Se tivermos um circuito com ganho menor que 1, o sinal de saída será mais fraco que o de entrada, e não mais conseguirá excitar o circuito com a mesma intensidade no ciclo seguinte, que se enfraquece um pouco mais.

O novo ciclo ainda mais fraco só dará origem a uma saída ainda menor. Isso significa que o sinal gerado vai então reduzindo de intensidade, dando origem ao que chamamos de “oscilação amortecida” até desaparecer, conforme poderemos observar na figura 225.

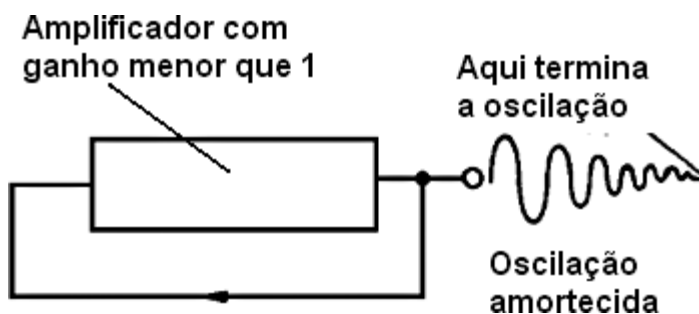


Figura 225 – Produzindo uma oscilação amortecida

Componentes ativos

Os transistores podem ser usados como osciladores nesta configuração que estudamos porque são componentes ativos. Isto significa que eles possuem ganho maior que 1, ou seja, podem amplificar os sinais.

Percussão

Quando batemos um objeto, por exemplo, uma taça de cristal, barra de metal ou mesmo um tambor, as oscilações produzidas vão reduzindo de intensidade com o tempo, resultando num som “prolongado” ou de percussão. Trata-se de um exemplo prático de oscilação amortecida que resulta em som.

É evidente que um circuito com ganho exatamente de uma vez não serve para uma aplicação prática, pois não podemos “tirar” qualquer parcela do sinal para uso externo. Se isso for feito, já teremos um sinal mais fraco na entrada, e as oscilações amortecem.

Para que possamos usar o sinal gerado, é preciso que o ganho seja bem maior que um, de modo que “sobre” uma boa parte do sinal para uso externo.

Outra condição importante para se projetar um oscilador, é que o sinal aplicado na entrada tenha fase apropriada. Não basta ligar simplesmente a saída (coletor) de um transistor na configuração de emissor comum na sua entrada (base), conforme o leitor poderá ver na figura 226, para que o circuito entre em oscilação.

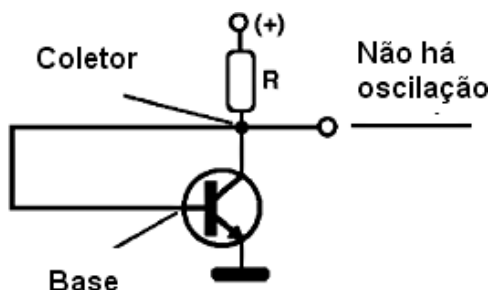


Figura 226 – A realimentação não pode ser direta

Conforme estudamos em lições anteriores, nesta configuração o transistor inverte a fase do sinal, o que significa que, para o circuito, o sinal replicado à entrada não provoca reforço, mas sim enfraquecimento do processo, e não há oscilação.

Num circuito como este, para haver oscilação ao se reaplicar o sinal à entrada, é preciso intercalar um sistema qualquer que inverta a fase do sinal. Veja na figura 227 para ver como isso deve ser feito.

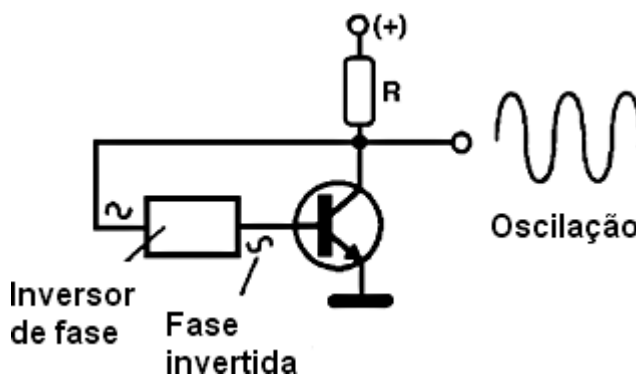


Figura 227 – Nesta configuração, para haver oscilação, é preciso inverter a fase do sinal

O sistema que inverte a fase do sinal, também é responsável por um retardo. Esse retardo pode então ser calculado de modo que o sinal percorra o circuito num tempo desejado, determinando assim a frequência do sinal que vai ser gerado.

As redes de realimentação, conforme são chamadas, podem ser de diversos tipos, existindo cálculos que possibilitam calcular a sua frequência de operação.

O tipo de sinal gerado, ou seja, sua forma de onda, também dependerá do modo como a realimentação é feita. Conforme veremos, ao estudar os diversos tipos de osciladores, os sinais gerados podem ter as mais diversas formas de onda, sendo as mais comuns as senoidais, retangulares, dente de serra e triangulares.

E também, conforme veremos a seguir, os diversos tipos de osciladores se diferenciam segundo a forma como o sinal é retirado da saída e reaplicado à entrada, e também como ocorrem as inversões de fase quando necessárias. Também veremos que todos os osciladores têm suas limitações, o que os torna aplicáveis somente em determinadas faixas de frequências e aplicações.

Outros componentes

Além dos transistores bipolares, existem outros componentes que podem ser utilizados em osciladores. Basta que o componente amplifique sinais ou tenha uma característica de resistência negativa para que ele possa gerar sinais. Osciladores com outros tipos de componentes serão estudados quando analisarmos o funcionamento destes componentes.

7.2 – Oscilador Hartley

Este é um tipo de oscilador LC, ou seja, em que a frequência do sinal produzido é determinada por uma bobina e um capacitor. Veja na figura 228 a configuração básica deste oscilador, observando-se que a bobina possui uma tomada ou derivação.

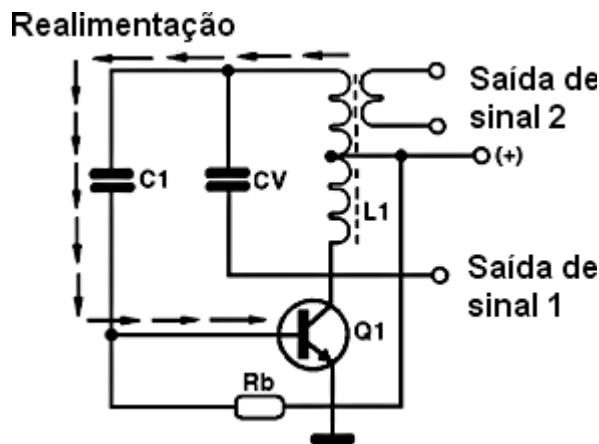


Figura 228 – O oscilador Hartley básico

O resistor Rb, faz a polarização da base do transistor e o capacitor C1 faz a realimentação, ou seja, “joga” parte do sinal obtido na saída para a entrada do circuito. O funcionamento deste oscilador é o seguinte:

Quando ligamos o circuito, o resistor polariza a base do transistor próxima da saturação, havendo então sua condução. Uma forte corrente circula entre o coletor e a fonte de alimentação, ligada à tomada central, pela bobina L1.

O resultado é que esta corrente em L1 induz na outra metade da mesma bobina uma corrente a qual é aplicada novamente à base do transistor, através do capacitor C1. O sentido de circulação desta cor-

Nome dos osciladores

Observe que muitos dos osciladores recebem o nome dos seus descobridores, como nesse caso.



Ralph Hartley (1888-1970)
– Engenheiro inventor do oscilador Hartley

rente é tal que, o transistor é levado quase ao corte. Como resultado, a corrente de coletor cai e, portanto, em L1, com um efeito que reduz a indução da corrente na outra metade da mesma bobina e, portanto, através de C1 e da base do transistor.

Com isso, novamente temos a predominância da polarização pelo resistor, que faz o transistor conduzir e um novo ciclo tem início. O transistor fica então neste “vai e vem” entre o corte e a saturação, produzindo-se um sinal cuja frequência é determinada pela bobina e pelo capacitor em paralelo, já que a indução que vimos também leva em conta a carga e descarga do capacitor CV.

O sinal deste oscilador pode ser retirado tanto do coletor do transistor como de um enrolamento adicional feito sobre L1. Este tipo de oscilador pode ser usado para produzir sinais e frequências que vão de alguns hertz (áudio) até algumas dezenas de megahertz (RF). A principal limitação que encontramos para este tipo de oscilador, quando operando na faixa de áudio, é que precisamos de bobina de grande indutância.

7.2.1 – Fórmula Para a Frequência do Oscilador Hartley

Num oscilador Hartley, a realimentação é feita pela bobina de carga L. Este tipo de circuito funciona até algumas dezenas de Megahertz. A frequência de um oscilador Hartley é dada pelo circuito ressonante LC, como mostra a figura 229.

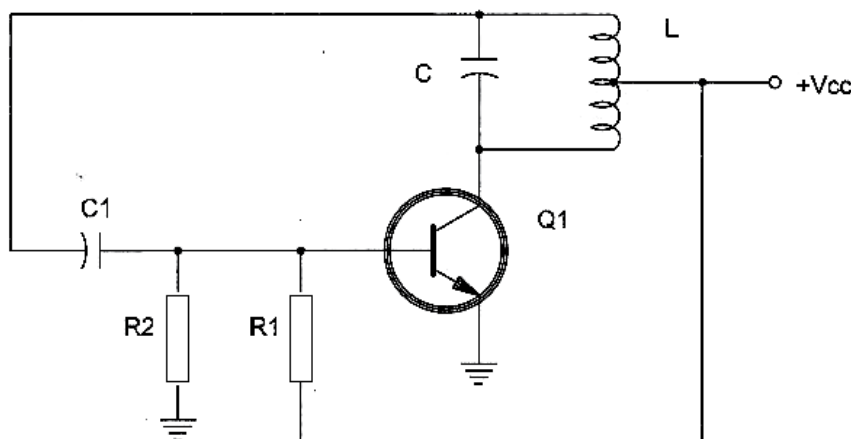


Figura 229 – Oscilador Hartley típico com transistor bipolar NPN.

Formula f7.1

$$f = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L \times C}}$$

Onde: F é a frequência em hertz (Hz)

L é a indutância em Henry (H)

C é a capacitância em Farads (F)

Π é 3.1416

A fórmula é válida para outras configurações Hartley, como as que fazem uso de outros componentes.

7.3 - OSCILADOR COLPITTS

O oscilador Colpitts tem um princípio de funcionamento bastante semelhante ao oscilador Hartley, com a única diferença de que o sinal para a realimentação positiva é retirado numa derivação feita com base em capacitores, conforme mostra a figura 230.

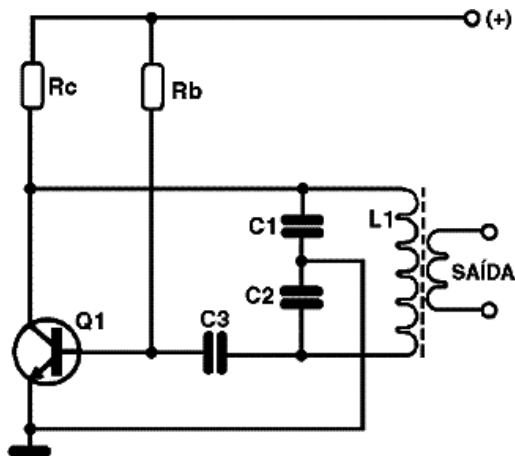


Figura 230 – Oscilador Colpitts

O transistor se mantém em condução durante os semiciclos positivos do sinal, e é levado próximo ao corte nos semiciclos negativos. Veja que a frequência é dada pela bobina L1 e pelos capacitores em paralelo.

Este circuito opera em uma faixa de frequências que vai de alguns hertz até algumas dezenas de megahertz.

Observamos que, tanto para o caso de transistores no oscilador Hartley, como Colpitts, além de outros componentes semicondutores, é possível a construção de configuração equivalente com válvulas. O sinal gerado por este circuito pode ser, tanto retirado do coletor do transistor, como a partir de um enrolamento, formando um secundário do transformador, conforme o leitor poderá ver clicando na figura 231.

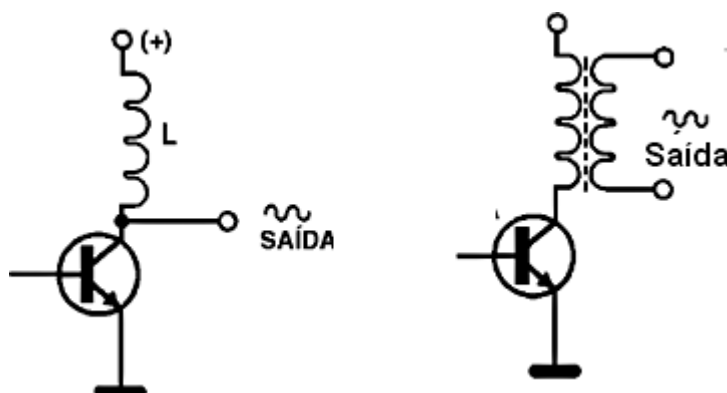


Figura 231 – Retirando o sinal do oscilador

7.3.1 - Oscilador de Colpitts

No oscilador de Colpitts, ou simplesmente, oscilador Colpitts, a realimentação é feita por um divisor capacitivo, como mostrado na figura 232. A frequência também depende do circuito LC, e a fórmula para calcular esta frequência é dada a seguir.

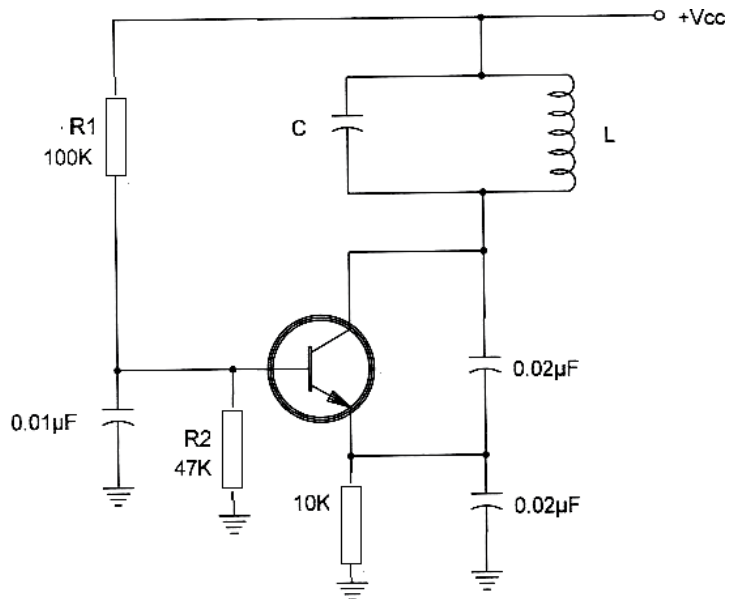


Figura 232 – Oscilador de Colpitts com transistor. Os componentes estão com os valores típicos

Formula f7.2

$$f = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L \times C}}$$

Onde: f é a frequência em hertz (Hz)

π é a constante 3.1416

C é a capacitância em Farads (F)

L é a indutância em Henry (H)

Exemplo de aplicação:

Calcule a frequência de operação de um Oscilador de Colpitts, no qual o circuito LC é formado por um capacitor de 100 pF e uma bobina de 100 H.

Dados: L = 100 H

C = 100 pF

f = ?

Aplicando a formula:

$$f = \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{100 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^{-12}}} = \frac{1}{6.28 \times \sqrt{10^4 \times 10^{-6} \times 10^{-12}}}$$

$$f = \frac{1}{6.28 \times \sqrt{10^{-14}}} = \frac{10 \times 10^6}{6.28} = 1.592 \times 10^6 = 1,592 \text{ MHz}$$

7.4 - OSCILADOR DE BLOQUEIO

Uma configuração bastante importante usada como oscilador com transistores bipolares pode ser vista na figura 233. Ela consiste num oscilador de bloqueio, com um transistor na configuração de emissor comum.

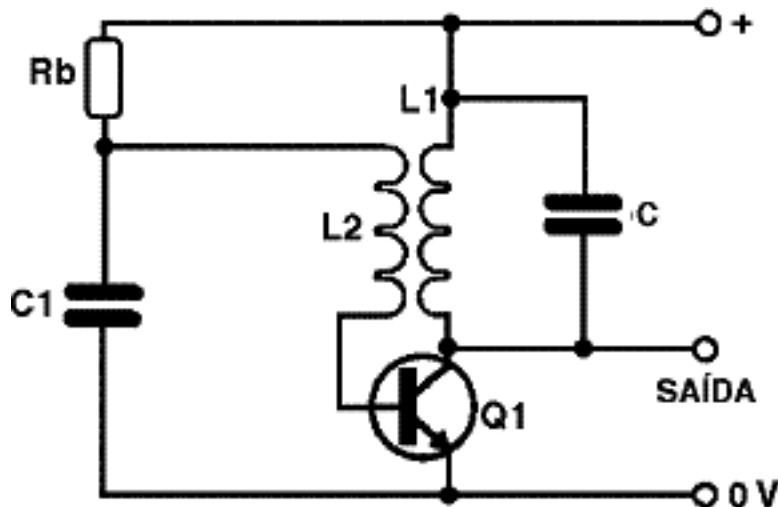


Figura 233 – Oscilador de bloqueio

Veja que estamos dando como exemplos configurações que fazem uso de transistores comuns. Essas mesmas configurações, entretanto, encontram equivalentes com válvulas e outros tipos de componentes.

O coletor do transistor é ligado ao enrolamento primário de um transformador cujo secundário corresponde ao circuito de realimentação. O secundário está ligado a base do transistor. O transistor é polarizado próximo ao ponto de saturação pela ligação do resistor R_b .

Quando ligamos a alimentação, o resistor polariza a base do transistor que conduz, produzindo um pulso de corrente no primário do transformador (L1).

Este pulso induz no secundário uma corrente que se opõe a polarização de R_b , levando o transistor ao corte. Com isso, o transistor “desliga” e, novamente entra em ação a polarização do resistor fazendo com que novo pulso seja produzido no coletor. O capacitor C1 controla tanto a corrente de polarização, carregando-se com ela, como a que se opõem, descarregando-se e determinando assim a frequência de operação juntamente com C.

A frequência de operação é determinada também pela indutância da bobina e pelo capacitor em paralelo. Veja que este circuito deve

ser “disparado” por um pulso externo, mas existem versões que são “auto-disparadas”, ou seja, entram em funcionamento quando a alimentação é estabelecida.

As versões que precisam ser disparadas externamente são muito usadas em televisores analógicos, para a elaboração dos circuitos de sincronismos em que um sinal externo controla o oscilador, que é responsável pela manutenção da estabilidade da imagem. O mesmo circuito pode ser feito com um transistor ligado na configuração de base comum, conforme mostra a figura 234.

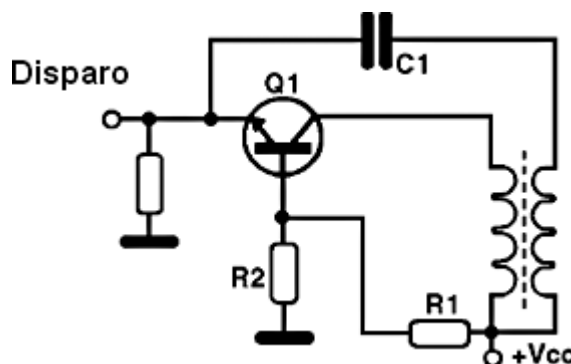


Figura 234 – Oscilador de bloqueio com transistor em base comum

Componentes ativos e passivos

Os componentes ativos são os que amplificam os sinais, como os transistores e válvulas. Estes componentes têm ganho maior que 1, de modo que podem aumentar a amplitude de um sinal. Os componentes passivos, como diodos, resistores e outros, não amplificam sinais. Existem componentes passivos que, apresentando uma característica de resistência negativa (que estudaremos), servem para a elaboração de osciladores.

Veja então que o sinal é retirado do coletor e reaplicado ao emissor, havendo uma polarização fixa na base do transistor. O pulso de disparo é aplicado à base. Estes circuitos podem ser usados em frequências que vão de alguns hertz até algumas dezenas de megahertz. Na figura 235 temos a forma de onda típica produzida por um oscilador deste tipo.



Figura 235 – Forma de onda de um oscilador de bloqueio

A frequência deste circuito é calculada da mesma forma que nos circuitos anteriores, pelo circuito ressonante LC no coletor do transistor.

7.5 - OSCILADOR DE DUPLO T

O nome deste oscilador se deve à rede de realimentação que proporciona uma inversão de fase do sinal e que usa apenas resistores e capacitores, conforme o leitor poderá ver na figura 236.

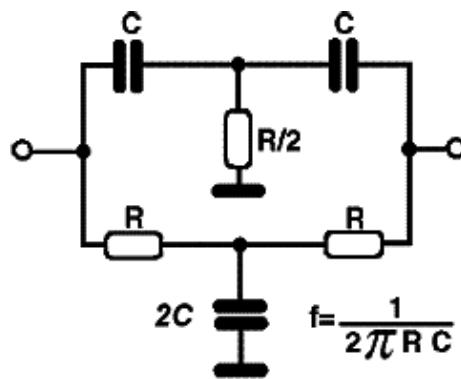


Figura 236 – O duplo T

Para que o duplo T funcione, proporcionando a inversão de fase desejada, os componentes que o formam devem manter uma relação bem definida de valores.

Assim:

$$R1 = R2 = 2 \times R3$$

$$C1 = C2 = C3/2$$

A frequência de operação do oscilador é dada pela fórmula:

$$f = \frac{1}{2 \pi R C} \quad f7.3$$

Onde R = R1 = R2 - resistência em ohms (ohms)

C = C1 = C2 - capacitância em farads

$\pi = 3,14$ (constante)

f = frequência em hertz

Na figura 237, temos a configuração de um oscilador de duplo T completo, com um transistor na configuração de emissor comum.

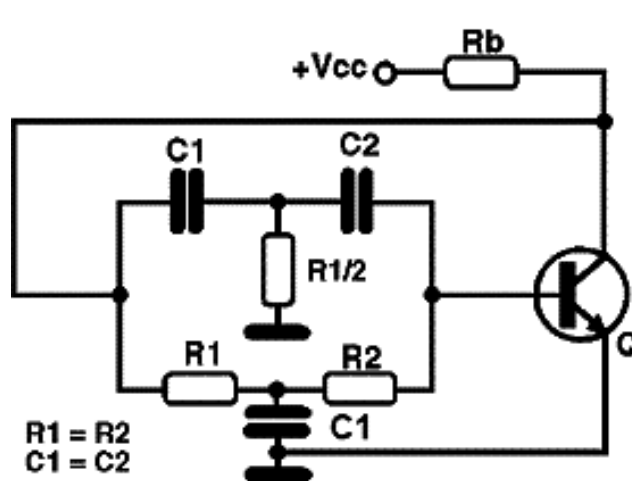


Figura 237 – Oscilador de duplo T com transistor bipolar

Os capacitores devem ser selecionados de acordo com a frequência de operação desejada. Podemos alterar levemente a frequência do oscilador, e até obter oscilações amortecidas com a utilização de um trimpot ou potenciômetro para R_3 , conforme mostra a figura 238.

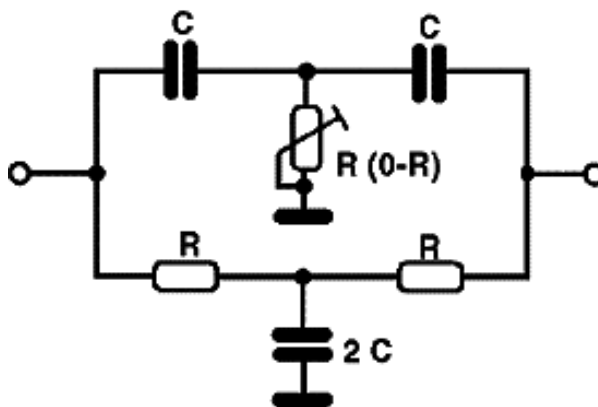


Figura 238 – Obtendo oscilações amortecidas como duplo T

Na figura 239 oscilações amortecidas produzidas por um oscilador deste tipo.

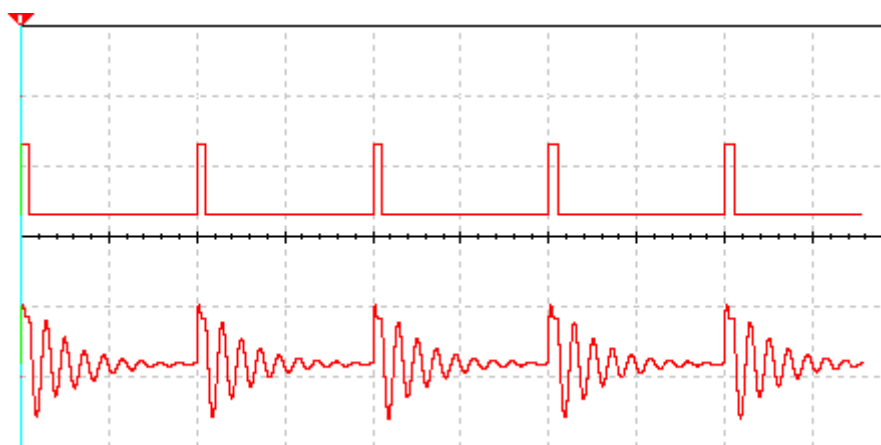


Figura 239 – Sinal amortecido produzido por um oscilador de duplo T, visto num osciloscópio virtual (Multisim 11.0)

Instrumentos de percussão

Os osciladores amortecidos são a base de instrumentos eletrônicos de percussão, como as baterias, triângulos, bongô e outros.

Este oscilador se presta principalmente para a produção de sinais na faixa de áudio. É importante observar que as formas de onda dos sinais dos osciladores dependem bastante das configurações.

Normalmente, procura-se gerar sinais senoidais em todas as versões que vimos, mas dependendo das características dos componentes usados, podem ocorrer deformações. Para o caso do oscilador de duplo T, o sinal é senoidal.

7.6 – Oscilador por Deslocamento de Fase

Neste tipo de oscilador, temos a rede de resistores e capacitores que formam o circuito de realimentação, deslocando em 180 graus a fase do sinal. Desta forma, temos a inversão de fase necessária a manutenção das oscilações. Veja a figura 240, onde temos um circuito de oscilador de deslocamento de fase com um transistor.

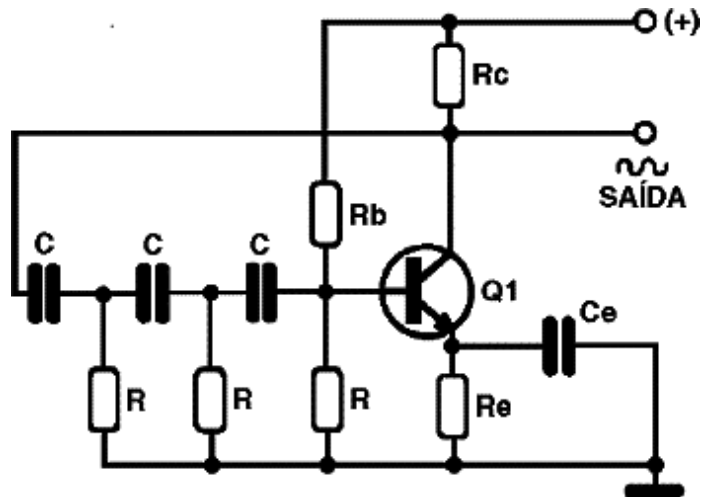


Figura 240 – Oscilador por deslocamento de fase

A frequência de operação deste oscilador é dada pela fórmula:

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{6} R C} \quad f7.4$$

Onde:

f é a frequência de operação em Hertz

π é constante, valendo 3,14

R é o valor dos resistores usados nas células em ohms

C é o valor dos capacitores usados nas células em farads.

Neste circuito, cada resistor, em conjunto com um capacitor, desloca em 60 graus a fase do sinal, de modo que, com 3 células, temos um deslocamento de 180 graus na fase do sinal, ou seja, obtemos sua inversão.

Para os leitores não familiarizados com esta forma de especificação da fase, fazemos uma observação: O que ocorre, é que um ciclo completo de um sinal, corresponde a uma volta completa de um gerador “imaginário” que o produz, conforme o leitor poderá ver na figura 241. (Veja o volume anterior Eletrônica Básica).

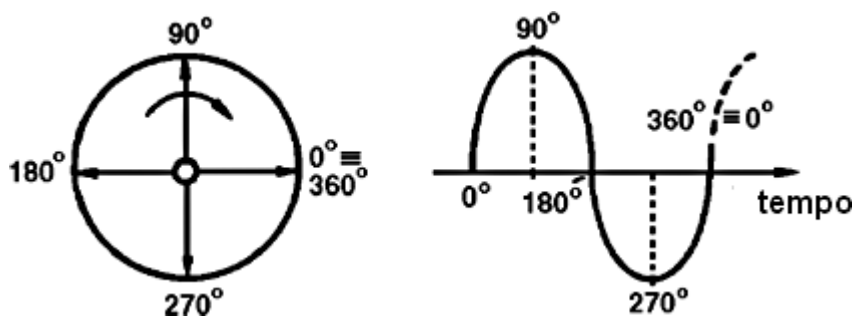


Figura 241 – Representação de um sinal por fases

Assim, uma volta completa do gerador, ou seja, um ciclo completo corresponde a 360 graus. Quando os dois sinais estão no mesmo ponto da “volta imaginária”, ou seja, de um ciclo, dizemos que eles estão em fase.

Se a diferença de posição destes sinais for tal que tenhamos 1/4 de volta, ou 90 graus, conforme mostra a figura 242, dizemos que estes sinais estão em quadratura.

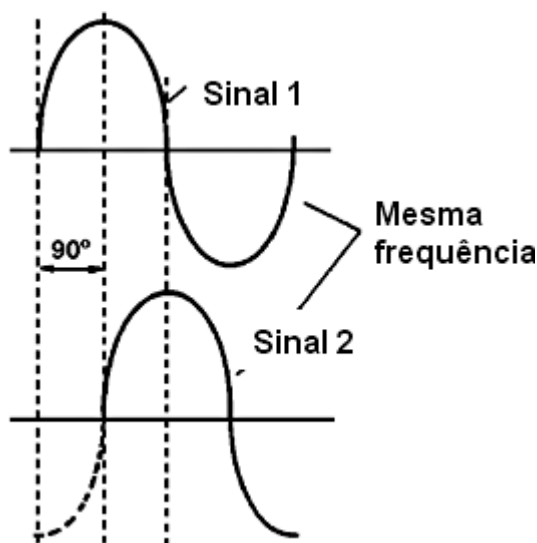
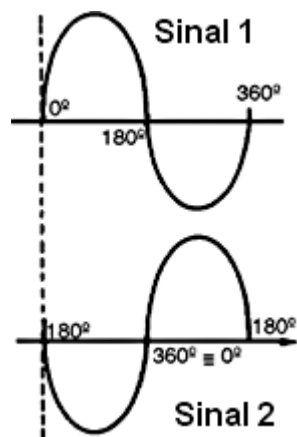


Figura 242 – Sinais em quadratura

Por outro lado, se a diferença dos pontos for tal que tenhamos meia volta, ou seja, 180 graus, o que quer dizer que, quando um estiver no máximo positivo o outro estará no máximo negativo, dizemos que estes sinais estão em oposição de fase ou com as fases invertidas, conforme o leitor poderá verificar na figura 243.



Fase

No volume 1 desta série Eletronica Básica, temos explicações detalhadas sobre o que é fase.

Figura 243 – Sinais em oposição de fase

Os osciladores por deslocamento de fase são usados apenas para produzir sinais de frequências na faixa de áudio.

Exemplo de aplicação:

Determine a frequência de operação do circuito oscilador da figura 244.

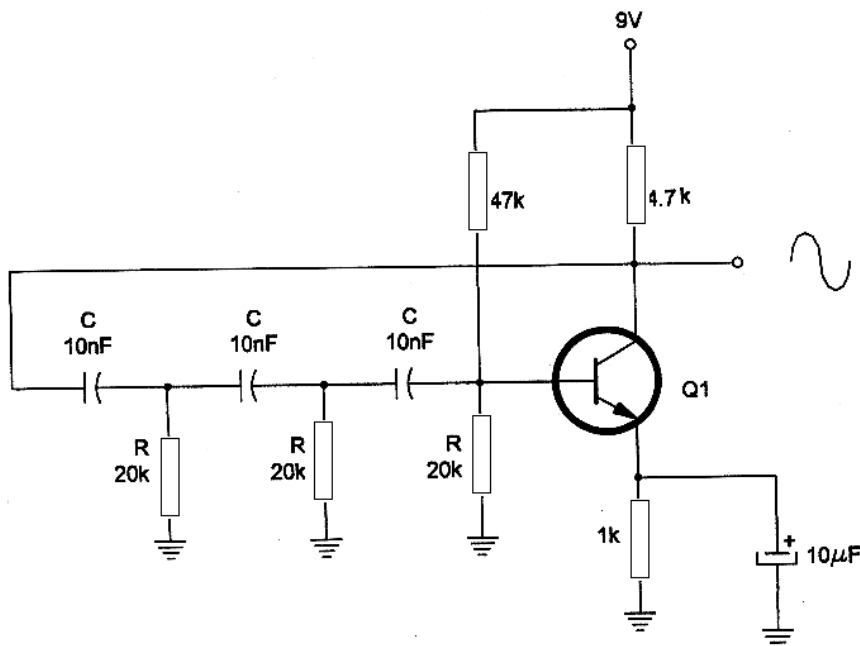


Figura 244 – Exemplo de aplicação para um oscilador de deslocamento de fase típico.

Dados:

$C = 10 \text{ nF} = 0.01 \text{ F}$

$R = 20 \text{ k}$

$f = ?$

Aplicando a fórmula:

$$f = \frac{1}{4.88 \times 314 \times 20 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}} = \frac{10^3}{3.06} = 326.8 \text{ Hz}$$

7.7 - MULTIVIBRADOR ASTÁVEL

Chegamos agora a uma configuração que produz sinais de maneira muito especial, pois além dos sinais terem uma forma de onda retangular, são utilizados dois transistores. Na figura 245 temos a configuração básica de um multivibrador astável com dois transistores NPN. Esta mesma configuração pode ser obtida com transistores PNP, transistores de efeito de campo, válvulas e outros componentes ativos.

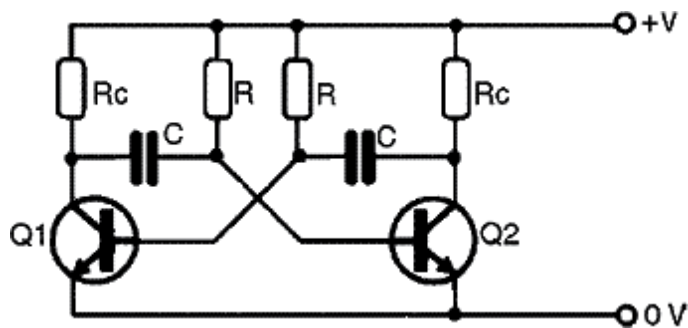


Figura 245 – Um multivibrador astável

Os dois transistores são ligados de tal forma que, a cada instante, quando um está no corte o outro estará obrigatoriamente saturado, ou seja, apenas um dos transistores pode conduzir de cada vez. Podemos comparar este circuito a uma gangorra que, quando um lado “sobe” o outro obrigatoriamente “desce”, conforme sugere a figura 246.



Figura 246 – Podemos comparar o funcionamento do astável a uma gangorra

No multivibrador astável, conforme o nome sugere, a condução dos transistores não é uma situação estável, de modo que cada transistor só pode ficar por tempo limitado nesta condição.

Isso faz com que os dois transistores do circuito fiquem constantemente trocando de estado, passando do corte para a saturação, e

vice-versa, numa velocidade que depende dos componentes usados, conforme o leitor poderá constatar pela figura 247.

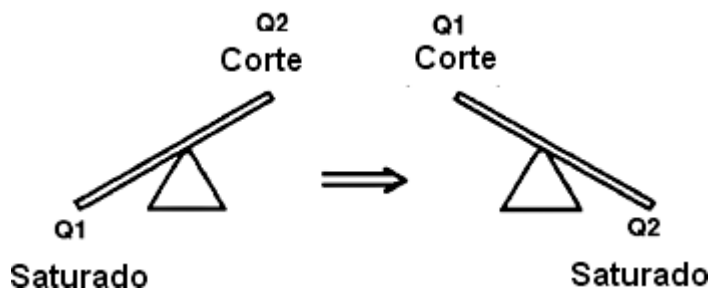


Figura 247 – A troca de estado dos transistores

Tomando como base o circuito da figura, vejamos como ele funciona: ao estabelecermos a alimentação, os dois transistores são polarizados de modo a irem à saturação pelos resistores de base. No entanto, devido a diferença de características, um deles conduz mais que o outro e logo satura. Com isso, o outro transistor é impedido de conduzir permanecendo no corte.

Supondo que Q1 vá a saturação e Q2 volte para o corte, o capacitor C1 começa a se carregar através do resistor R1, até o instante em que alcança-se uma tensão suficiente para polarizar Q2 no sentido de fazê-lo conduzir. Quando isso ocorre o circuito comuta e Q1 passa ao corte enquanto que Q2 vai a saturação.

Neste momento, é C2 que começa a se carregar através de R2 até que o transistor Q1 seja levado à condução. O circuito ficará trocando de estado por tempo indeterminado (enquanto houver alimentação), numa velocidade que dependerá dos valores dos capacitores e dos resistores usados.

Como a comutação dos transistores ocorre de forma muito rápida, o sinal produzido tem forma de onda retangular. Veja que podemos retirar o sinal do circuito tanto do coletor de Q1, como do coletor de Q2.

No entanto, estes sinais estarão com níveis diferentes. Assim, nos instantes em que a tensão do coletor de Q1 estiver próxima do positivo da alimentação (corte), ou seja, tivermos um nível alto de tensão, no coletor de Q2, que estará em zero (saturação), teremos um nível baixo de tensão.

Dizemos que as saídas são complementares e as representamos por Q e \bar{Q} . A barra sobre o Q indica a situação complementar. Se os capacitores e os resistores usados forem iguais, o tempo de condução e corte de cada transistor será o mesmo, e teremos então um sinal “quadrado”, ou seja, com tempos de nível alto e baixo iguais, conforme o leitor poderá ver na figura 248.

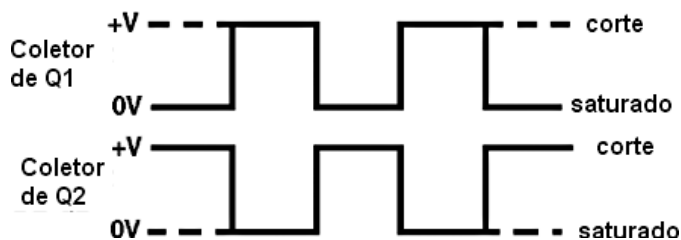


Figura 248 – O sinal quadrado

A frequência de um multivibrador astável será tanto maior quanto menores forem os capacitores usados. Na prática, com transistores comuns, o limite superior para a frequência de operação deste circuito está em torno de 5 MHz. No entanto, com transistores muito rápidos, pode-se conseguir frequências que chegam aos 100 MHz.

Na figura 249, onde temos a versão do multivibrador astável com transistores PNP, observamos que invertem-se apenas os sentidos de circulação das correntes.

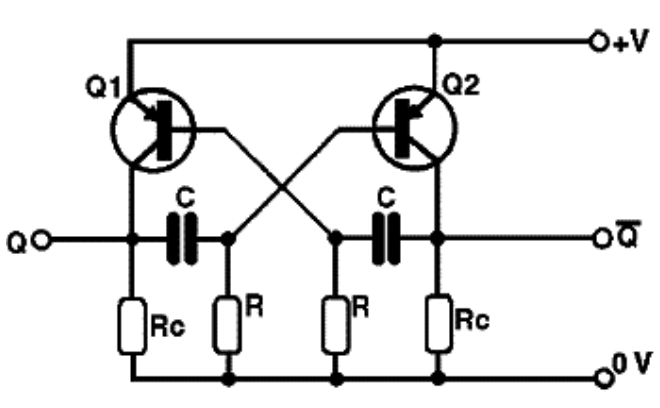


Figura 249 – Multivibrador astável com transistores PNP

Os multivibradores astáveis são muito usados em circuitos lógicos que, conforme já explicamos, admitem dois níveis de tensão apenas. Eles funcionam como cadenciadores ou “clocks” (relógios), determinando o ritmo ou velocidade de sua operação.

7.7.1 – Ciclo Ativo

Para um sinal retangular de determinado período, o tempo em que ele permanece no nível alto, somado ao tempo que ele permanece no nível baixo, resultam o período total. No entanto, os sinais podem ser assimétricos em relação a esses dois tempos. Quando o tempo no nível alto é igual ao tempo no nível baixo, conforme mostra a figura 250, dizemos que se trata de um sinal “quadrado”, se bem que essa denominação não seja muito criteriosa no sentido de que as unidades no sentido vertical são amplitudes, e no sentido horizontal são tempos.

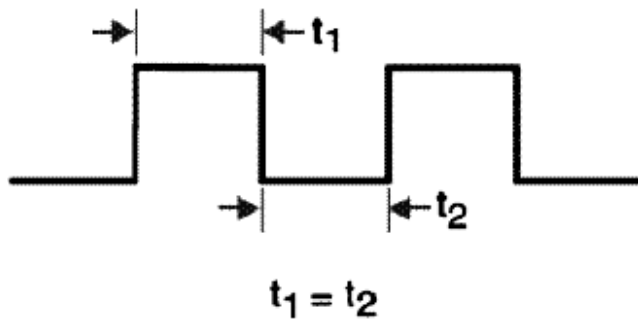


Figura 250 – Sinal quadrado

Para sinais em que os tempos no nível alto e baixo são diferentes, podemos falar em ciclo ativo, e definir o ciclo ativo como a porcentagem do tempo total do ciclo em que o sinal permanece no nível alto, conforme mostra a figura 251.

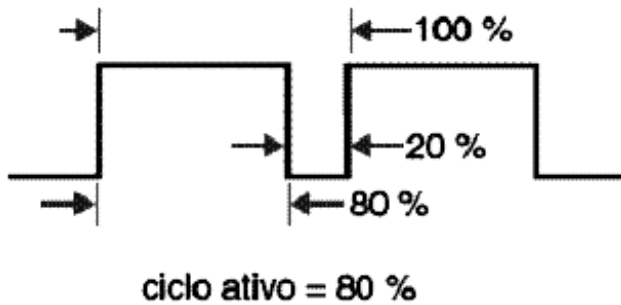


Figura 251 – Sinal retangular

7.7.2 – Cálculo da Frequência do Multivibrador Astável

Para o circuito da figura 252, podemos calcular a frequência pelas fórmulas que são dadas a seguir.

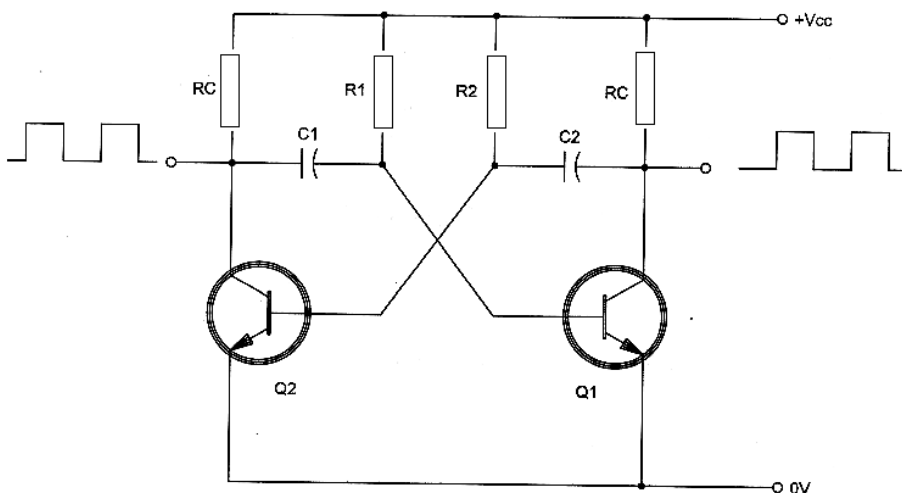


Figura 252 – Multivibrador Astável com dois transistores.

Sinal Quadrado

O termo sinal quadrado vem de “square wave”, onda quadrada, usado para designar um sinal cujo ciclo ativo seja de 50%. É óbvio que a representação gráfica não pode ser um quadrado, pois no eixo horizontal temos tempos e no vertical, amplitudes, que são grandezas diferentes.

Na Prática

Os multivibradores astáveis, e de outros tipos que veremos oportunamente, consistem em configurações de especial importância para os circuitos digitais como computadores, circuitos de automação e controle e instrumentação. De fato, as idas aos níveis, alto e baixo, correspondem a geração de bits, ou seja, produção de zeros e uns com que os circuitos digitais operam. Variações deste circuito são a base de todos os chips dos computadores, conforme veremos mais adiante. Por este motivo, pedimos especial atenção a este ponto de nosso curso, pela sua importância na compreensão do princípio de funcionamento dos circuitos digitais.

Fórmula f7.5

Tempo de condução:

$$t_p = 0.69 \times R \times C$$

Onde:

t_p é o tempo de condução de um transistor em segundos (s)

R é a resistência em ohms (Ω)

C é a capacitância em Farads (F)

Obs.: Para Q1 o tempo de condução t_{p1} é dado por R1 e C1 e para Q2 o tempo de condução é dado por R2 e C2.

Fórmula f7.6

Frequência:

$$f = \frac{1}{t_{p1} + t_{p2}}$$

$$f = \frac{1}{0.69 \times (R1 \times C1 + R2 \times C2)}$$

Onde: f é a frequência em hertz (Hz)

R1, R2 são as resistências em ohms (Ω)

C1, C2 são as capacitâncias em Farads (F)

Formulas derivadas:

Formula f7.7

Oscilador quadrado (50% de ciclo ativo) - R1=R2=R e C1=C2=C

$$f = \frac{1}{1.38 \times R \times C}$$

Onde: f é a frequência em hertz (Hz)

R é a resistência em ohms (Ω)

C é a capacitância em Farads (F)

Formula f7.8

Frequência como função de C quando R1=R2=R e C1=C2=C.

$$f = \frac{1}{2 \times t_p}$$

Onde: f é a frequência em hertz (Hz)

t_p é o tempo de condução em segundos (s)

Exemplo de aplicação:

Determine a frequência do multivibrador astável mostrado na figura 253.

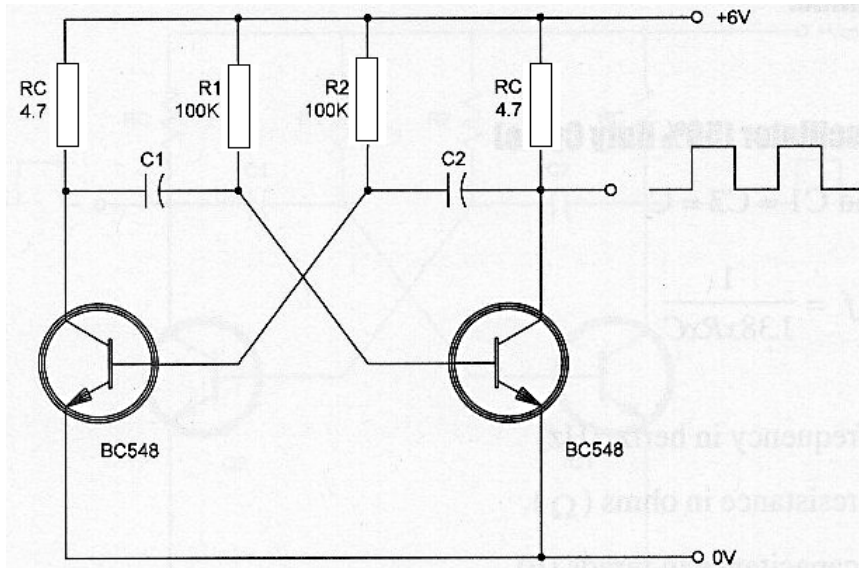


Figura 253 – Multivibrador astável com dois transistores – exemplo de cálculo.

Dados: $R1=R2=100\text{ k} = 10 \times 10^3$

$C1=C2=10\text{ nF} = 0.01 \times 10^{-6}$

Usando a fórmula :

$$f = \frac{1}{1.38 \times 10 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}} = \frac{1}{0.138 \times 10^{-3}} = \frac{1}{0.138} \times 10^3 = 7.246 \times 10^3 = 7.246\text{ kHz}$$

7.8 - Harmônicas

Abrimos um pequeno parêntese neste ponto de nosso curso, para tratar um pouco deste assunto que é relacionado com as formas de onda produzidas pelos osciladores. Um matemático francês chamado Fourier, no século XIX, demonstrou, através de cálculos, que poderíamos obter qualquer forma de função periódica pela simples combinação de maneira apropriada de uma única forma de função que é a senóide.

Desta forma, até mesmo um sinal retangular, (que pode ser descrito por funções periódicas) pode ser “sintetizado”, simplesmente usando senóides, que são as formas “puras” ou fundamentais de onda, conforme mostra a figura 254.

Fourier

Jean Baptiste Joseph Fourier desenvolveu trabalhos matemáticos importantes, dentre os quais se destaca uma seção de seu livro *Théorie Analytique de la Chaleur*, onde apresentou a solução do problema do desenvolvimento de uma função qualquer numa série de senos e cossenos de frequências múltiplas (harmônicas).



Jean Baptiste Joseph Fourier
(1768 - 1830)

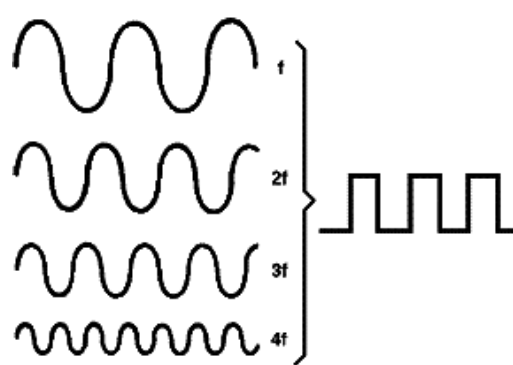


Figura 254 – sintetizando um sinal retangular a partir de sinais senoidais

Nos circuitos digitais

Computador, circuitos lógicos digitais, microcontroladores e microprocessadores trabalham com sinais retangulares que são produzidos, não em frequência fixa, mas sim segundo o processamento que se faz. Isso significa que esses sinais são ricos em harmônicas, que podem se propagar pelo espaço ou pela própria rede de energia. Muitos equipamentos digitais, como os computadores, geram então uma grande quantidade de sinais que podem interferir em receptores de rádio e TV, colocados nas proximidades.

Este funcionamento do circuito com sinais retangulares é, portanto, responsável pela interferência que computadores e outros equipamentos podem gerar, e que afeta aparelhos que estejam nas proximidades.

Assim, o que se faz é combinar a forma de onda de frequência que desejamos gerar, ou seja, a fundamental, com senóides de frequências que sejam múltiplas, ou seja, o dobro, o triplo, o quádruplo, etc., desta frequência fundamental. Estas frequências múltiplas são denominadas “harmônicas”, conforme o leitor poderá ver na a figura 255.

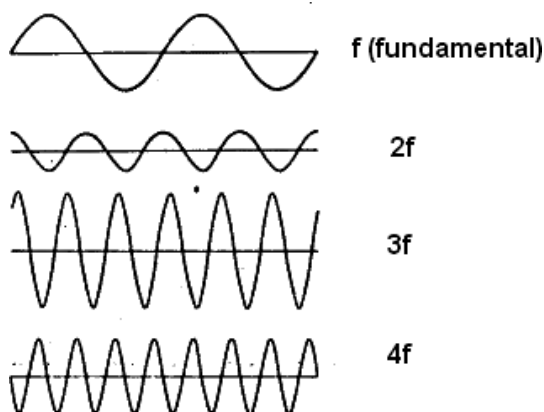


Figura 255 – Sinal fundamental e harmônicas

O interessante na eletrônica é que, quando temos um sinal ou uma forma de onda que seja complexa (não senoidal simplesmente), ela se comporta como realmente possuindo uma frequência fundamental e harmônicas de intensidades, que vão decrescendo à medida que sua frequência aumenta, e isso até o infinito!

Assim, no caso de um multivibrador astável, que é uma forma de oscilador que gera um sinal particularmente rico em harmônicas, mesmo operando em frequências baixas, suas harmônicas se estendem a frequências muito altas, e por isso podem ser usadas também em aplicações práticas.

Um oscilador deste tipo que opere em apenas 1 kHz, por exemplo, tem harmônicas suficientemente fortes em 1 MHz para poder excitar um rádio transistorizado e assim ser usado como injetor de sinais.

7.9 - OSCILADOR DE RELAXAÇÃO

Existem componentes que são mais apropriados que os transistores comuns para o projeto dos chamados osciladores de relaxação, mas é interessante também estudarmos este tipo de aplicação, já que ela servirá de boa base para os próximos capítulos. Na figura 256, para ver o circuito básico de um oscilador de relaxação com dois transistores.

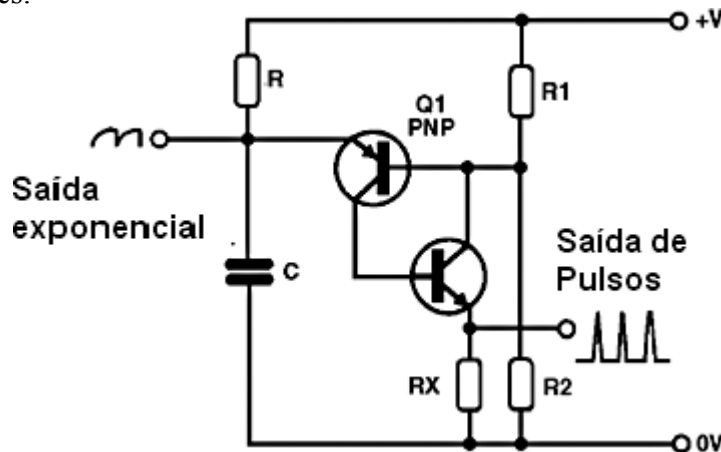


Figura 256 – Oscilador de relaxação com transistores complementares

Os dois transistores são ligados de modo a formar uma chave regenerativa, ou seja, um circuito que realimenta a si próprio.

Ligamos então na entrada deste transistor uma rede de tempo RC e polarizamos a outra entrada de modo fixo, com um divisor com dois resistores. O transistor PNP tem sua base polarizada de modo a deixá-lo perto da plena condução.

Quando a tensão no capacitor sobe, à medida que ele se carrega através do resistor R, o transistor PNP aumenta sua condução, e com isso, a base do transistor NPN é polarizada no sentido de também fazê-lo aumentar sua condução.

O resultado do aumento da corrente de base do transistor NPN, é uma polarização maior da base do transistor PNP, num processo de realimentação: a tensão de base maior do PNP provoca novamente um aumento da corrente do NPN.

Partindo do instante em que o capacitor está descarregado, existe então um instante em que a tensão nas suas armaduras faz com que este processo de realimentação ocorra rapidamente, levando os dois transistores à saturação.

Chegamos então ao ponto em que o capacitor é curto-circuitado à terra e se descarrega com a produção de um pulso de corrente. Após o pulso, os transistores desligam e o capacitor começa a se carregar novamente, até ser novamente atingido novo ponto de disparo.

O circuito produz então um “trem de pulsos” cuja frequência depende da velocidade de carga do capacitor através do resistor. No capacitor, temos, então uma forma de onda exponencial, conforme o leitor constatará clicando na figura 257.

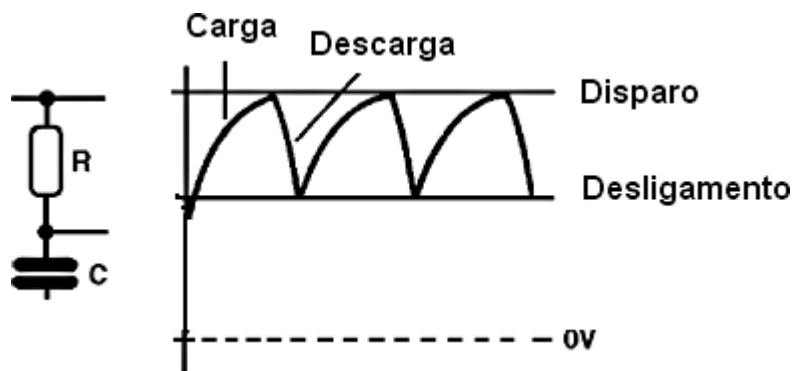


Figura 257 - Forma de onda dente de serra do oscilador de relaxação

Este circuito é utilizado para gerar apenas sinais de frequências relativamente baixas, na faixa que vai entre 0,01 Hz até 10 000 Hz ou pouco mais.

7.9.1- Oscilador de Relaxação com Lâmpada Neon

Um componente utilizado amplamente na elaboração de osciladores de relaxação é a lâmpada neon. Este componente apresenta uma característica de resistência negativa, ou seja, quando a tensão aplicada atinge certo valor, ele dispara e sua resistência cai.

A lâmpada neon pode ser usada para produzir sinais dente de serra na faixa de até algumas dezenas de quilohertz. O único inconveniente deste componente é que a tensão de disparo de uma lâmpada neon é muito alta, da ordem de 70 V, e a tensão em que ela desliga, uma vez dispara é da ordem de 50 V.

Sabemos que num circuito RC, o capacitor carrega-se exponencialmente quando aplicamos uma tensão. Se ligarmos uma lâmpada neon em paralelo com ele, quando for atingida a tensão de disparo, ele conduz, descarregando o capacitor até a tensão de manutenção, quando ela desliga.

Um novo ciclo de carga tem então início, produzindo-se assim uma forma de onda dente de serra.

A figura 258 mostra a configuração básica de um oscilador de relaxação usando uma lâmpada neon. Este circuito é indicado para frequências de fração de hertz até alguns quilohertz e operando com tensões a partir de 80 V.

Uma lâmpada neon típica dispara com 70 V e, com isso, acende. Se a tensão for reduzida para algo em torno de 50 V, a lâmpada apaga e deixa de conduzir a corrente. A fórmula seguinte é válida para estes parâmetros.

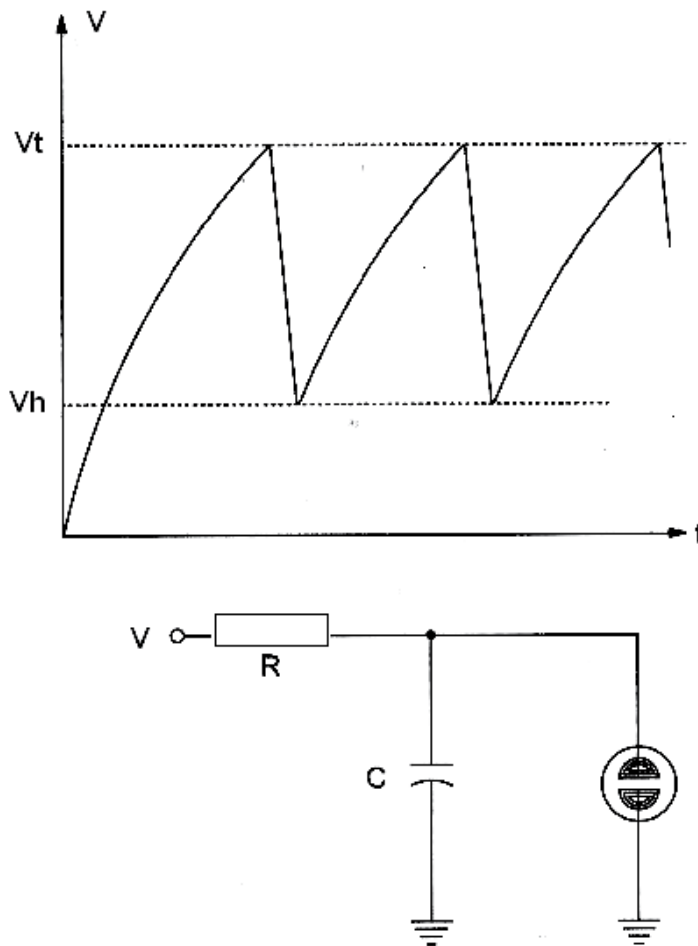


Figura 258 – Oscilador de relaxação com lâmpada neon e forma de onda do sinal produzido.

Formula f7.9

Período:

$$T = R \times C \times \ln \left(\frac{V - V_h}{V - V_t} \right)$$

Onde T é o período em segundos (s)

C é a capacitância em Farads (F)

R é a resistência em ohms (Ω)

V é a tensão de alimentação em volts (V)

Vt é a tensão de disparo em volts (V) - 80 V tip.

Vh é a tensão de manutenção em volts (V) - 60 V tip.

Formula f7.10

Frequência:

Lâmpadas neon

As lâmpadas neon ionizam com tensões da ordem de 80 V. Ao acenderem o brilho é alaranjado e elas exigem uma corrente extremamente pequena (da ordem de microampêres), para se manterem acesas. Na figura A, o símbolo, aspecto e a curva característica de uma lâmpada neon.

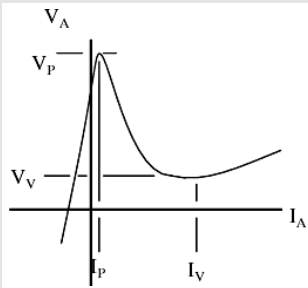


Figura A

As lâmpadas neon apresentam uma característica de resistência negativa que possibilita seu uso como elemento ativo de osciladores e em circuitos de disparo de outros semicondutores que estudaremos.

$$f = \frac{1}{R_x C_x \ln \left(\frac{V - V_h}{V - V_t} \right)}$$

Onde:

f é a frequência em hertz (Hz)

C é a capacitância em Farads (F)

V é a tensão de alimentação em volts (V)

V_t é a tensão de disparo em volts (V)

V_h é a tensão de manutenção em volts (V)

O procedimento para uso da fórmula é o mesmo do oscilador de relaxação com transistor unijunção, descrito nesta seção.

7.10 - OUTROS OSCILADORES

Um tipo interessante de oscilador pela sua simplicidade, e pela sua capacidade de excitar saídas com boa potência, é o que o leitor poderá ver na figura 259.

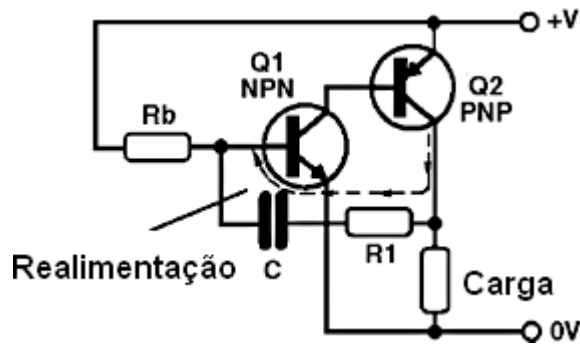


Figura 259 – Oscilador com transistores complementares

Este oscilador utiliza dois transistores complementares, ou seja, um NPN e um PNP formando uma etapa amplificadora de acoplamento direto. A realimentação de sinal, que é responsável pelas oscilações, é feita retirando-se o sinal diretamente da carga (coletor do transistor PNP), e reaplicando-se à base do transistor por meio de um capacitor em série com um resistor.

O resistor que polariza a base do primeiro transistor leva-o à condução, e com isso também o segundo transistor, que logo tem uma elevação da tensão em seu coletor. Esta elevação faz com que um pulso de corrente seja produzido através do capacitor, levando por um momento o transistor NPN (primeiro) perto do corte.

Cessando a condução deste transistor, por um instante, também cessa a condução do segundo, e um novo ciclo, com a atuação do resistor de base do primeiro transistor, se inicia. A frequência de ope-

ração deste oscilador é então determinada tanto pelo valor do resistor de polarização de base do primeiro transistor como pelo valor do capacitor no circuito de realimentação.

Outros osciladores importantes:

- Oscilador Pierce
- Oscilador Ponte de Wien
- Oscilador de Clapp

7.11 – Controle de frequência

A frequência de um oscilador pode ser modificada com a utilização de um elemento que influa nesta grandeza e que possa ter seu valor alterado externamente. Podemos então usar indutores, capacitores e resistores variáveis para esta finalidade.

No caso de osciladores de altas frequências, como os do tipo Hartley, Colpitts, de bloqueio, podemos ter indutores com núcleos variáveis (ajustáveis), ou então capacitores variáveis, dependendo da faixa de frequência que queremos “varrer”, conforme mostra a figura 260.

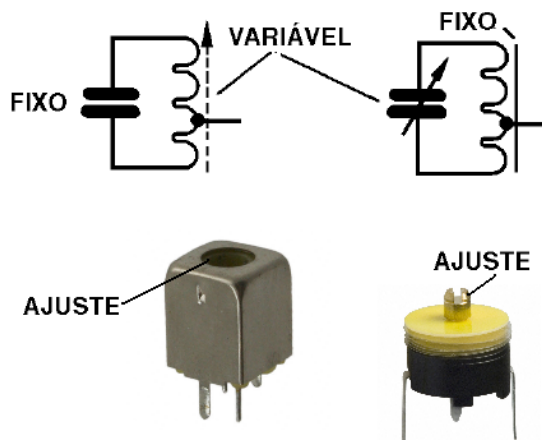


Figura 260 – Bobinas e capacitores ajustáveis

No caso de osciladores de frequências mais baixas, ou do tipo RC, é comum o uso de potenciômetros ou trimpots, já que os capacitores usados são normalmente fixos, dado seu valor elevado. Na figura 261 temos o modo de se variar a frequência de forma sensível, atuando sobre a polarização de base de um transistor num oscilador Hartley.

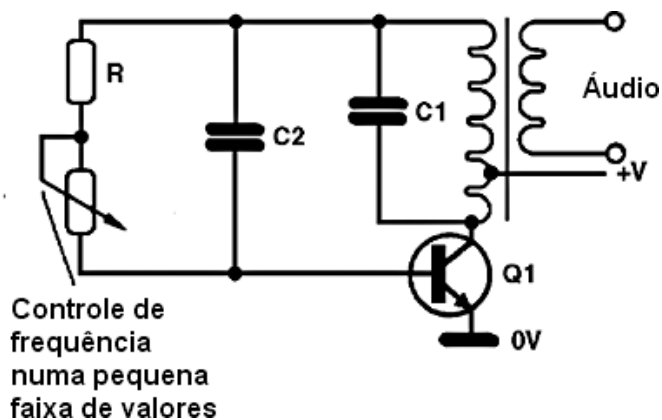


Figura 261 – Alterando a frequência de um oscilador Hartley através da polarização

Na figura 262 o leitor verá um modo de se variar a frequência, e também o ciclo ativo, num multivibrador astável. Veja que, em todos os casos que usamos potenciômetros ou trimpots, atuamos sobre a polarização, de modo que precisamos sempre tomar cuidado em manter a faixa de valores da resistência apresentada dentro do que o transistor admite para oscilação.

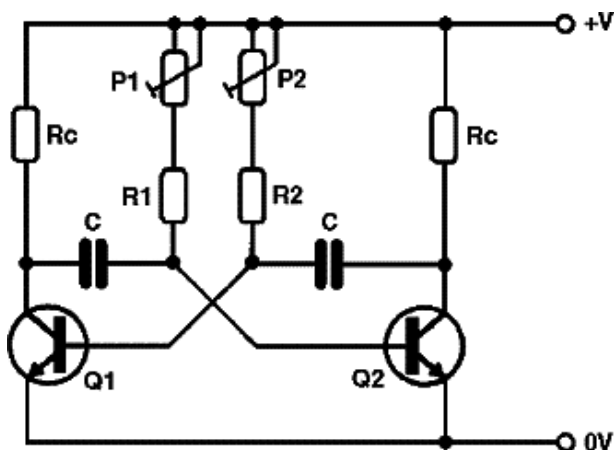


Figura 262 – Variando a frequência de um multivibrador astável

No caso do oscilador Hartley, por exemplo, pode haver “faixas mortas” em que as oscilações não ocorrem, o mesmo ocorrendo em relação ao multivibrador.

7.12 – Base comum

Uma característica dos osciladores, na configuração de base comum, é que os transistores apresentam uma capacitância de entrada muito menor, influenciando assim muito pouco na velocidade máxima em que eles conseguem operar. Desta forma, nesta configuração, podemos facilmente elaborar osciladores que alcançam centenas de megahertz, como o que pode ser visto na figura 263.

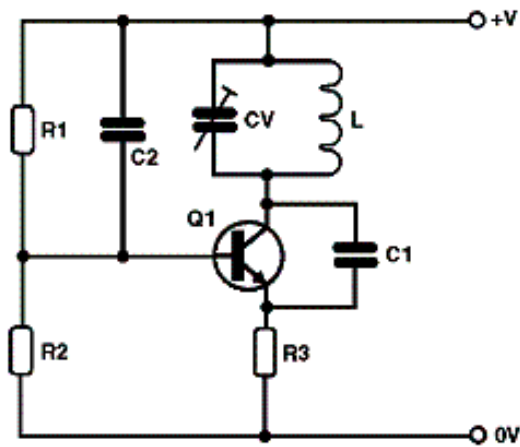


Figura 263 – Um oscilador muito utilizado

Este oscilador tem sua frequência dada pelo circuito LC, e a realimentação é obtida “pegando-se” o sinal do coletor e jogando-o ao emissor, através do capacitor ligado entre estes dois elementos. Circuitos como este, são muito usados em transmissores para mais de 20 MHz, receptores super-regenerativos e conversores.

Termos em Inglês

Damos a seguir mais alguns termos importantes em inglês relacionados com esta lição:

Square wave – onda quadrada

Retangular wave- onda retangular

Harmonic – harmônico

Astable multivibrator – multivibrador astável

Oscillator – oscilador

Triggered oscillator – oscilador disparado

Quartz – quartzo

Tween T – duplo T

Phase shift – deslocamento de fase

Termos para pesquisar:

- Oscilador de Armstrong
- Oscilador a cristal
- Cristal de quartzo
- Básculas
- Osciladores disparados
- Amortecimento

Questionário

1. Qual deve ser o ganho mínimo de tensão de um transistor numa configuração em que ele deva oscilar?
 - a) 1
 - b) 0,5
 - c) 2
 - d) 100

2. De que modo é feita a realimentação num Oscilador Hartley?
 - a) por um capacitor
 - b) por uma derivação numa bobina
 - c) por um circuito RC
 - d) por um transformador

3. Qual é a forma de onda produzida por um multivibrador astável?
 - a) senoidal
 - b) triangular
 - c) retangular
 - d) dente de serra

4. Num oscilador de duplo T, o que determina a frequência de operação?
 - a) o resistor de carga
 - b) o ganho do transistor
 - c) os componentes do duplo T
 - d) a tensão de alimentação

5. Qual é a forma de onda de um oscilador de relaxação?
 - a) senoidal
 - b) triangular
 - c) retangular
 - d) dente de serra

6. Os sinais de frequências múltiplas que aparecem sobrepostos ao sinal principal gerado por um oscilador recebem o nome de:
 - a) transientes
 - b) harmônicas
 - c) componentes
 - d) surtos

7. O oscilador que determina a velocidade de funcionamento de um computador recebe o nome de:
 - a) multivibrador
 - b) gerador de harmônicas
 - c) clock
 - d) over-clock



» Amplificadores

No capítulo anterior vimos de que modo os transistores podem ser usados para gerar sinais, ou seja, como podem funcionar em osciladores. Vimos na ocasião que o “segredo” do funcionamento de um oscilador se baseava no modo como a realimentação de sinal se processava, havendo então diversas configurações com nomes diferentes e indicadas para as mais diversas aplicações. No entanto, tão importante como gerar sinais, é amplificá-los. Numa grande quantidade de equipamentos como rádios, aparelhos de som, instrumentos diversos, equipamentos médicos e profissionais, encontramos os transistores funcionando como amplificadores. Configurações de diversos tipos amplificam sinais que podem ser desde baixas frequências, como os correspondentes aos sons captados por um microfone para um sistema de som ambiente, até frequências muito altas, como num receptor de rádio de ondas muito curtas.

Neste capítulo trataremos dos diversos tipos de amplificadores, dirigindo nossos estudos principalmente para os amplificadores de áudio e de rádio-frequências.

Veremos também que existem diversas configurações nas quais o transistor é usado como amplificador. Se bem que o capítulo seja baseado nos transistores bipolares, os mesmos princípios são válidos para os FETs. Neste capítulo veremos os seguintes itens:

- 8.1- Os amplificadores de áudio
- 8.2 - Classes de amplificadores
- 8.3 - Amplificadores em contrafase
- 8.4 - Amplificadores em simetria complementar
- 8.5 - Amplificadores de RF
- 8.6 - Amplificadores sintonizados
- 8.7 - Outros amplificadores em contrafase
- 8.8 – Amplificadores Integrados

8.1 - OS AMPLIFICADORES DE ÁUDIO

A finalidade de um amplificador de áudio é aumentar a intensidade de um sinal de baixa frequência, normalmente entre 15 e 15 000 Hz.

Dependendo das características do sinal com que este amplificador deve trabalhar, e da potência de saída que deve entregar, temos diversas possibilidades de configurações. Em muitos casos um único transistor não consegue entregar a potência necessária à finalidade desejada, de modo que o amplificador deve ter diversas etapas que fazem a amplificação sucessiva dos sinais.

Nos amplificadores, devemos ter sempre em mente algumas características importantes que definem o que eles podem fazer e, portanto, onde podem ser usados. Estas características são especialmente importantes no caso de amplificadores de som quando se pretende utilizar microfones, captadores de instrumentos musicais, CD players, e outras fontes de sinais que exigem alta qualidade de reprodução.

Analisemos algumas destas características:

8.1.1 - Impedância de entrada

Esta característica nos diz com que tipo de sinal o amplificador trabalha. Como já estudamos, um dispositivo só pode entregar toda sua potência a outro, se houver um casamento de impedâncias entre eles, conforme mostra a figura 264.

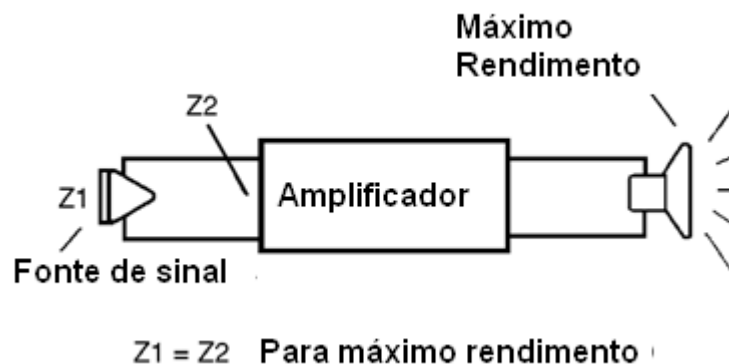


Figura 264 – Transferência máxima de potência (energia)

Os sinais que devem ser amplificados por um amplificador podem ter as mais diversas origens, provindo de dispositivos que tenham impedâncias diversas. Assim, enquanto um microfone dinâmico é um dispositivo de baixa impedância (em torno de 200 ohms), uma cápsula de cristal de um toca-discos ou um microfone cerâmico tem uma impedância muito alta, da ordem de 500 k ohms ou mais.

Isso significa que, se ligarmos estes dois dispositivos na entrada de um amplificador que tenha, por exemplo, uma alta impedância de

Som

Os amplificadores de áudio são os elementos básicos dos aparelhos denominados equipamentos de som, ou simplesmente "som". Assim, estes amplificadores aparecem tanto de forma isolada, como parte de um sistema maior como embutidos em equipamentos de som doméstico, som de carro, portátil e em muitas outras aplicações, com potências que variam de 0,01 W a 1000 W, conforme a aplicação.



entrada, o microfone de baixa impedância não vai conseguir excitá-lo havendo um funcionamento anormal.

8.1.2 - Sensibilidade

Para que uma etapa amplificadora transistorizada, ou mesmo um amplificador completo funcione, é preciso que o sinal aplicado a sua entrada tenha uma intensidade mínima, normalmente expressa em termos de volts, milivolts ou microvolts, isso além de haver um casamento de impedância.

Assim, se dissermos que um amplificador tem uma sensibilidade de 200 mV, isso significa que precisamos de um sinal de pelo menos 200 milésimos de volt na entrada para que ele funcione normalmente com o máximo desempenho, ou seja, entregando a sua potência máxima. Se um amplificador tiver uma grande sensibilidade, e a fonte de sinal entregar uma tensão maior do que ele precisa para completa excitação, a diferença pode compensar um eventual descasamento de impedâncias.

8.1.3 - Impedância de saída

Esta característica nos diz o que podemos ligar na saída do amplificador. Para que possamos ligar um alto-falante, por exemplo, o amplificador deve ter uma baixa impedância de saída. No entanto, se o amplificador ou a etapa amplificadora tiver de excitar outro aparelho, cuja entrada seja de alta impedância, será conveniente que ele tenha uma alta impedância de saída. A impedância, como já sabemos, é expressa em ohms.

8.1.4 - Potência ou amplitude de sinal

Nos amplificadores que se destinam a excitar um alto-falante ou fone, ou seja, reproduzir um sinal de áudio, é costume indicar a sua potência de saída, o que de certo modo nos permite avaliar o volume de som que teremos para um determinado ambiente. Esta potência é medida em watts e existem designações adicionais que nos dizem o modo como estes watts são obtidos.

Assim, podemos falar em watts RMS, da mesma maneira como estudamos no caso das tensões alternadas, se levarmos em conta que o amplificador está reproduzindo um som puro ou um sinal senoidal. Se dermos a potência de pico, para o mesmo amplificador teremos um valor maior, conforme mostra a figura 265. Também podemos falar em potência PMPO.

Impedância dos Alto-Falantes

Quando usamos um multímetro na escala de ohms, para medir um alto-falante, estamos medindo a sua resistência ôhmica, ou seja, a resistência que sua bobina apresenta à circulação de uma corrente contínua. A impedância, por outro lado, é a oposição apresentada à passagem de uma corrente alternada, ou seja, um sinal. Como tanto a impedância, como a resistência são medidas em ohms, isso resulta na confusão que normalmente ocorre nestes casos. Não medimos a impedância com o multímetro e os valores de resistência ôhmica encontrados para dispositivos com bobinas, como transformadores, alto-falantes e fones de ouvido, são muito menores que sua impedância real.

Princípio da Conservação da Energia

“Na natureza, nada se cria, nada se perde. Tudo se transforma”. Não podemos criar energia, sua obtenção sempre ocorre com a transformação de outra forma de energia. Um amplificador que recebe 10 W de energia da alimentação, não pode fornecer 100 W de som.

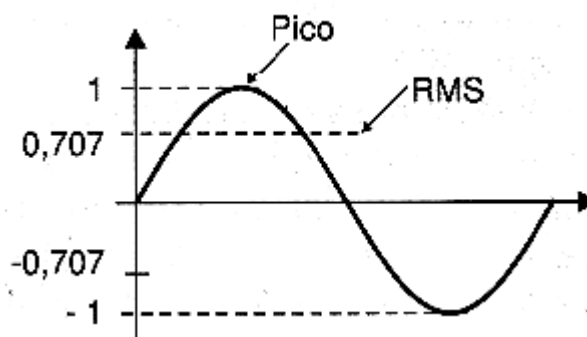


Figura 265 – Potência de pico e RMS

Assim, amplificadores de áudio, equipamentos de som e mesmo televisores, têm sua potência de áudio especificada de diversas formas, podendo levar o leitor a fazer confusões na hora da compra e até ser iludido por uma publicidade, que é justamente que os vendedores e fabricantes menos escrupulosos desejam. A especificação da potência de áudio em Watts PMPO é um artifício que visa enganar os compradores menos esclarecidos, escondendo a verdadeira potência de um equipamento.

Quando mais watts melhor! Essa idéia está diretamente associada aos equipamentos de som, quando existem outras características muito mais importantes que devem ser consideradas como, por exemplo, a distorção harmônica total, etc.

No entanto, se o negócio é vender um amplificador pela sua potência, é óbvio que os fabricantes procurem aumentá-la o máximo possível. E, se não dá para fazer isso com um circuito melhor, pode-se “inventar” uma unidade diferente para medir a potência que leve a valor numéricos maiores.

A quantidade de som é a mesma, mas em lugar de dizermos que o amplificador tem “20”, vendemos mais facilmente se dissermos que tem “200”, mesmo que a “quantidade de som” continue absolutamente a mesma. E, o comprador é enganado.

Sabemos do Curso Básico (e da física) que a potência é a quantidade de energia em cada segundo que um sistema pode receber ou gerar.

Assim, para um amplificador ideal, a potência real é dada quando se aplica um sinal senoidal de 1 kHz em sua entrada e medindo-se a corrente e a tensão na sua carga. A partir dessa medida, conforme mostra a figura 266, calcula-se a potência real que o circuito entrega à carga, a qual é o produto do pico de tensão pelo pico de corrente multiplicado por 0,707, já que estamos calculando o valor real.

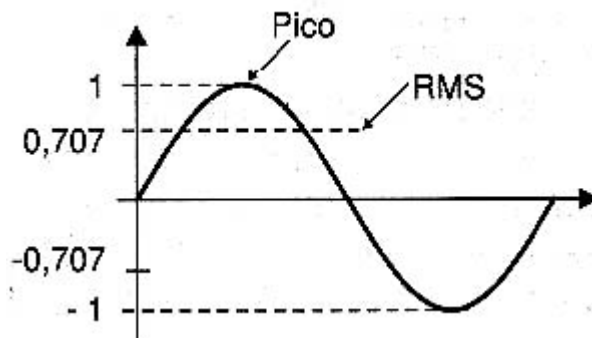


Figura 266 – A potência real ou root mean square (valor médio quadrático)

Essa é a potência real, ou potência RMS (Root Mean Square), ou ainda dada pelo “Valor Médio Quadrático”.

No entanto, os fabricantes e vendedores de amplificadores e outros equipamentos de som, arranjam um modo de aumentar esse valor.

O argumento é simples: um sinal musical não é perfeitamente senoidal, mas formado por picos e variações bruscas que podem ser bastante agudas, conforme mostra a figura 267.

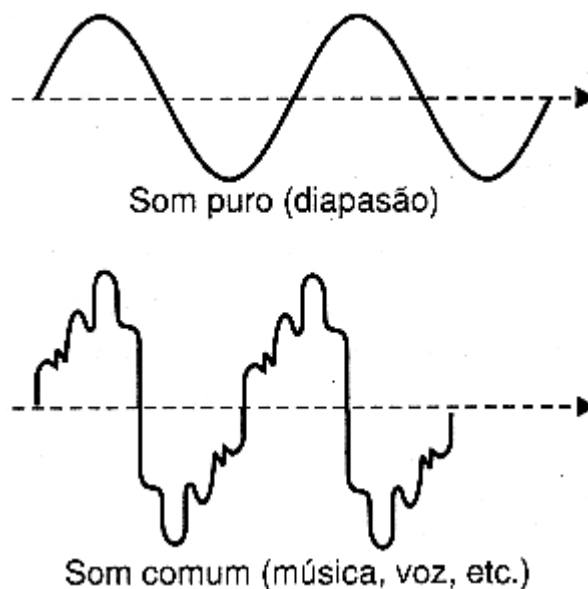


Figura 267 - O som reproduzido por equipamentos comuns não é um som puro

Quando o amplificador reproduz estes picos, que duram frações de segundo, a tensão sobe para valores muito altos na carga e, conseqüentemente, a corrente. Isso significa uma potência instantânea muito alta, que, no entanto, não pode perdurar, pois o circuito não suporta.

Esse pico momentâneo de potência, ou Peak Music Power Output, dura milésimos de segundo e não corresponde a quantidade de som real total que o equipamento pode fornecer. Trata-se, portanto, de

um valor que é calculado numa condição em que o equipamento não pode fornecer continuamente... A figura 268 mostra o que ocorre.

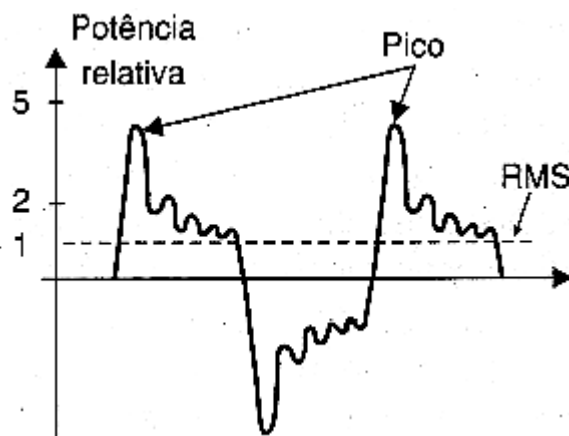


Figura 268- Os picos de potência de um som comum

Para que o leitor tenha uma idéia de como a indicação da potência PMPO “aumenta” o número que representa as características de um amplificador, basta dizer que um equipamento que tenha 16 W rms poderá chegar a 180 W pmppo!

Um anúncio mostra que um equipamento “X” amplificador para PC tem uma potência de 3 Wrms, mas 200 Wpmppo! Não é preciso dizer como esses números enganam!

Outro ponto importante que deve ser considerado, quando se especifica potência RMS e PMPO, é que a medida da potência RMS é feita, levando-se o amplificador ao ponto de volume máximo, sem que a distorção ultrapasse determinado valor. Para a potência PMPO, não há esse limite nem qualquer outro na medição.

Na maioria dos casos, para um equipamento comum, a potência RMS costuma ser $\frac{1}{4}$ ou menos que a potência PMPO especificada. Para os equipamentos estéreo, esse valor pode ser inferior a $\frac{1}{8}$. Em outras palavras, um equipamento anunciado como 200 W PMPO pode ter apenas 50 W ou menos de potência RMS.

Evidentemente, o anunciante prefere colocar que o aparelho tem 200 W do que “apenas” 50 W, se bem que seja o mesmo aparelho, o mesmo circuito e a mesma quantidade de som...

Observamos que não existe ilegalidade na especificação da potência em watts PMPO, mas certamente não é uma forma ética. É sempre importante verificar a potência real de um equipamento, principalmente se desconfiamos pela sua aparência, custo ou mesmo marca...

Um bom começo para se testar a confiabilidade de um equipamento é justamente saber que ele tem especificada sua potência também em watts RMS.

Com 2 ohms podemos obter o dobro da potência. Evidentemente, se o amplificador for estéreo a potência máxima teórica será de 92

Som no Carro

Se existe um ramo em que a enganação das potências de áudio é maior, é justamente no som automotivo. Amplificadores de 200, 5000 e até 800 W são comuns para equipamentos de linha! Podemos partir de um simples cálculo, que o leitor pode fazer quando adquirir seu som. Um amplificador comum, que seja alimentado por uma tensão de 14,4 V, e use alto-falantes de 4 ohms, terá uma potência máxima teórica possível (supondo um rendimento de 100%) de:

$$P = V^2 / R$$

$$P = (14,4 \times 14,4 \times 0,707) / 4$$

$$P = 46 \text{ watts (rms)}$$

watts rms ou 184 W para carga de 2 ohms. Amplificadores com esta saída têm sido vendidos como tendo 500 Wpm, e até mais! Na prática, o rendimento desse amplificador não é 100%. Um valor comum para amplificadores comerciais é ter um rendimento de 60%, ou pouco mais (amplificadores analógicos), o que nos afasta mais ainda dos 500 W! Uma saída que os sons verdadeiramente potentes de carro encontram, para superar esta limitação de 92 W rms com carga de 2 ohms, é usar diversos canais de amplificação paralelos cada qual alimentando um alto-falante. Além disso, levando em conta que a corrente nesses amplificadores pode ser muito alta, colocando em risco a autonomia e integridade da bateria, é comum acrescentar baterias suplementares no sistema elétrico do carro. É preciso ficar de olho bem aberto ao se analisar a potência de um amplificador quando ela não está clara.

Se o amplificador não vai excitar um alto-falante ou fone, mas sim outro aparelho cuja entrada tenha a certa impedância e certa sensibilidade, é interessante às vezes especificar a saída em termos de volts sobre certa carga. Isso é válido para os chamados pré-amplificadores, mixers, etc.

8.1.5 – Amplificadores Analógicos e Digitais

Se bem que nossos ouvidos sejam analógicos, e os sons que ouvimos sejam grandezas analógicas, hoje é possível amplificar sons tanto utilizando circuitos analógicos como também circuitos digitais. Nos circuitos digitais, os sons, que são formados por sinais analógicos, são convertidos para a forma digital, e então, processados e amplificados. Existem diversas tecnologias para se fazer isso.

Como este curso é de eletrônica analógica, trataremos exclusivamente do som analógico, ou seja, dos amplificadores lineares ou analógicos que operam com sinais de áudio.

Existe uma crença de que os amplificadores de áudio analógico fornecem som com melhor qualidade, da mesma forma que os amplificadores que utilizam válvulas são melhores do que os amplificadores digitais, mas isso não será discutido neste curso.

Assim, em função das características analisadas nos itens anteriores, vemos que os amplificadores analógicos que trabalham com sinais de áudio podem ser divididos em diversos grupos, que analisaremos a seguir:

1. Pré-amplificador
2. Drivers
3. Amplificadores de potência

Analisemos a função de cada um:

8.1.6 – Pré-amplificadores de áudio

Estes amplificadores, que podem ter uma ou mais etapas, se destinam a amplificar sinais de pequena intensidade, como os que obtemos de microfones, cápsulas de toca-discos, cabeças de gravadores, cabeças de vídeo, saídas de rádios, etc. Normalmente são usados transistores de baixo nível de ruído e alto ganho, como os BC549 em configurações que podem ser de emissor comum, base comum ou coletor comum, conforme a impedância de saída e de entrada com que se deseja trabalhar.

Na figura 269 temos um circuito tradicional deste tipo para uma configuração de emissor comum.

Circuitos de pré-amplificadores

No site do autor (www.newtoncbraga.com.br) existem centenas de circuitos práticos de pré-amplificadores de áudio, para as mais diversas aplicações, tanto usando transistores como outros componentes. Lá também o leitor encontrará versões que usam FETs e até circuitos integrados (que serão estudados em lições futuras).

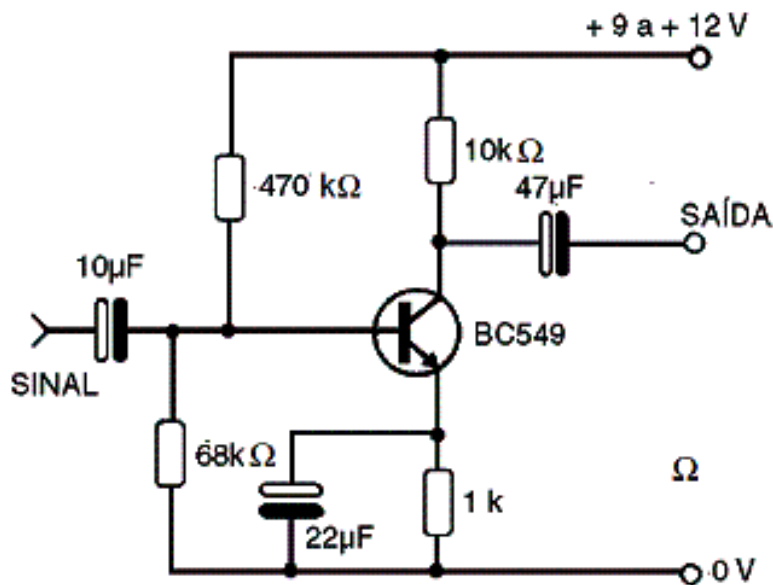


Figura 269 – Um pré-amplificador de áudio comum

Uma característica importante deste tipo de circuito é que, sendo projetado para trabalhar com sinais de muito pequena intensidade, e apresentando um alto ganho, ruídos que sejam induzidos nos fios podem ser amplificados juntamente com o sinal.

Um dos ruídos que mais problemas causa, é o ronco de corrente alternada, que é provocado pelas próprias linhas de alimentação da rede de energia. Esta rede induz um sinal de 60 hertz (50 hertz nos países em que é esta a frequência adotada), e que aparece no alto-falante ou na reprodução de forma desagradável, conforme o leitor poderá ver na figura 270.

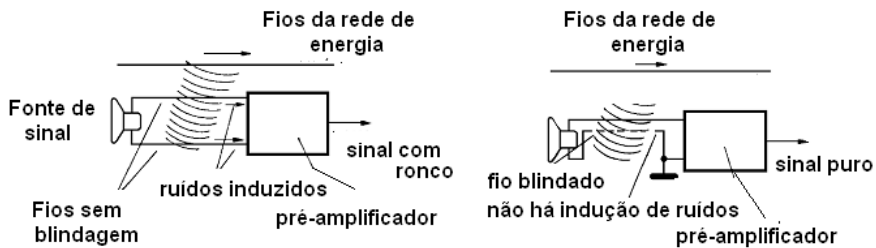


Figura 270 – O ronco de 60 Hz

Quando desejamos maior amplificação, o pré-amplificador pode ter dois ou mais transistores acoplados da maneira que já estudamos em lições anteriores.

8.1.7 – Como Eliminar Roncos de 60 Hz

A rede de energia funciona como uma gigantesca antena que irradia um sinal numa frequência muito especial: 60 Hz. De fato, 60 Hz é a frequência da corrente alternada da rede de energia, cuja finalidade é alimentar os nossos aparelhos elétricos e eletrônicos.

A irradiação do sinal não é algo desejado, mas ocorre e, com ela, alguns problemas que afetam o funcionamento de muitos aparelhos eletrônicos, principalmente os de som.

O que ocorre é que, se o sinal de 60 Hz “irradiado” pela rede de energia for captado pelos circuitos amplificadores dos equipamentos de som, eles passam a ser reproduzidos em fones e alto-falantes.

Como 60 Hz é uma frequência de áudio, ou seja, corresponde a um som que podemos ouvir, o resultado é a reprodução de um som constante, semelhante a um ronco, ou zumbido bastante grave.

Se o leitor quer ter uma idéia melhor deste som, basta colocar o dedo num jaque conectado na entrada auxiliar de um amplificador, conforme mostra a figura 271.

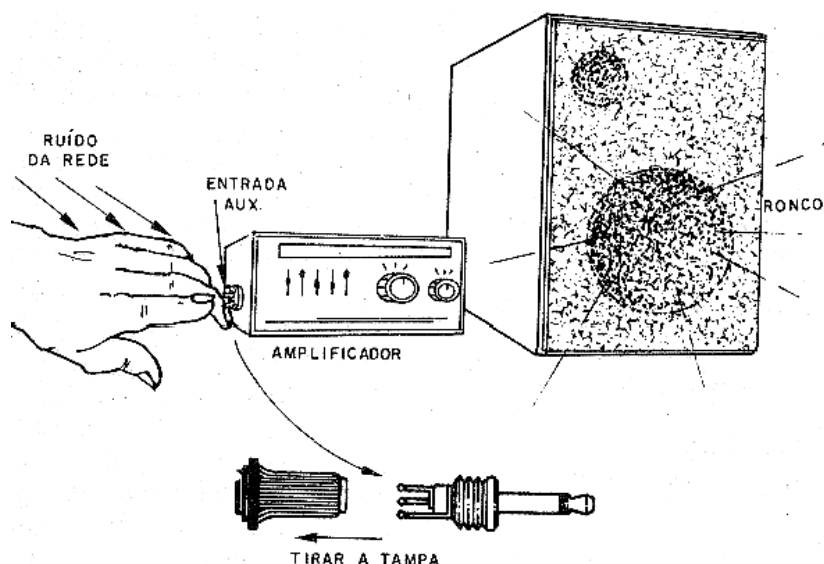


Figura 271 – Ouvindo o ronco da rede de 60 Hz

Seu corpo funcionará como uma antena, captando os sinais irradiados pela rede de energia que então serão amplificados pelos circuitos do aparelho de som.

Evidentemente, não se trata de algo interessante ter um ronco no alto-falante do sistema de som quando não há música sendo reproduzida ou outro sinal.

Se este ronco está presente, ele pode estar “entrando” no seu equipamento de som de forma indevida.

As caixas dos equipamentos de som são metálicas e devidamente aterradas, funcionando como blindagens eficientes. Os próprios cabos por onde passam os sinais são blindados e devendo ter suas malhas aterradas, para evitar a captação de zumbidos.

Os sinais induzidos pela rede de energia ficam na malha dos fios, ou na caixa do aparelho, que os desvia para a terra, conforme mostra a figura 272.

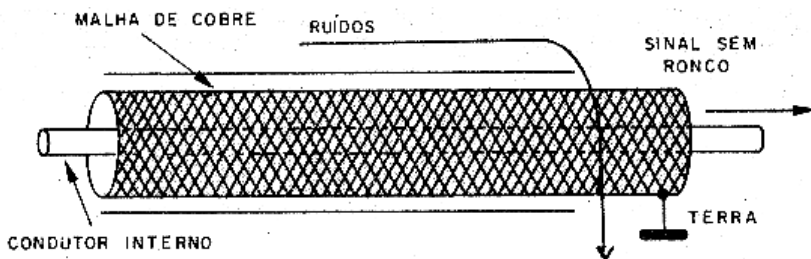


Figura 272 – O funcionamento do cabo blindado

No entanto, por melhor que seja a blindagem de um cabo, ou que seja a caixa que aloja um aparelho, os roncões podem encontrar “brechas”, penetrando nos circuitos amplificadores e aparecendo então de forma ingrata nos alto-falantes.

Por onde podem entrar esses roncões?

a) Um primeiro ponto importante a ser observado, é a própria conexão dos cabos. A blindagem atua até onde pode alcançar, mas nos pontos de emendas, ou de colocação de um jaque ou um plugue, a blindagem deve ser removida, descobrindo um pedaço do cabo, conforme mostra a figura 273.

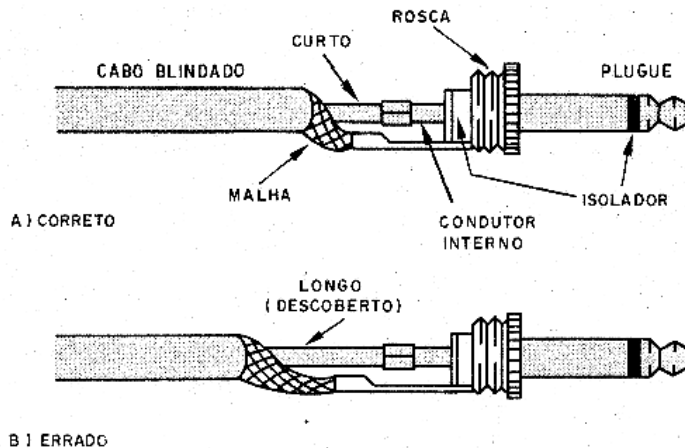


Figura 273 – Roncos que entram pelos plugues

Pode parecer pouco que um ou dois centímetros de um cabo descascado tenha algum efeito, mas esse pequeno comprimento pode perfeitamente captar alguns microvolts de ronco, transferindo-o para o equipamento de som. Os cabos que operam com sinais muito fracos como, por exemplo, os que transferem o sinal de uma cápsula magnética ou cabeça de microfone são bastante sensíveis a este problema.

O primeiro passo na eliminação deste problema é identificar sua origem:

- * Coloque o amplificador na condição em que o ronco se manifesta.

- * Desligue o cabo de conexão da fonte de sinal da rede de energia, mantendo-o sem alimentação.

- * Desligue o cabo de conexão de sinal do amplificador.

- * Se, ao desligar o cabo o ronco desaparecer, estará caracterizada a origem do problema.

- * Se o ronco não desaparecer, ele pode ter outras origens, conforme veremos. Pode estar sendo gerado no circuito do amplificador, ou ainda captado pela própria caixa em vista de não estar devidamente aterrada.

Se o ronco foi provocado pelo cabo, verifique então:

- * Se sua blindagem está fazendo bom contacto com os plugues e o circuito nas duas extremidades.

- * Se o jaque do amplificador está devidamente ligado à terra.

- * Verifique se existem emendas no fio, reduzindo o tamanho exposto do cabo interno, conforme mostra a figura 274.

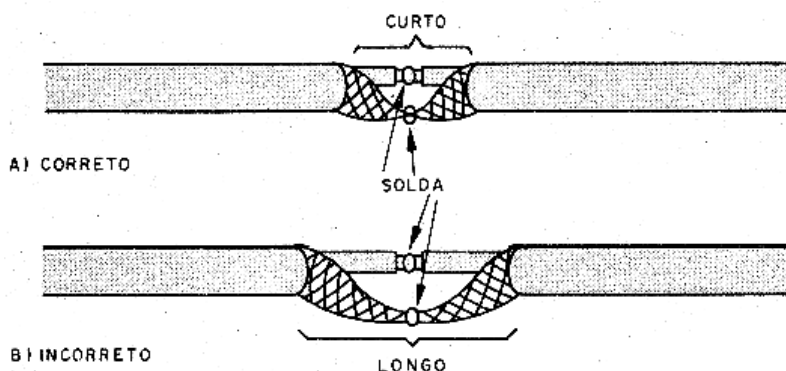


Figura 274 – Emenda correta em cabos de sinal

b) Aterramento Comum

Quando dois ou mais aparelhos são interligados, para que suas caixas ou chassi atuem como blindagem de maneira eficiente evitando o aparecimento de roncões, eles devem estar sob mesmo potencial.

Pode ocorrer que, por diferenças de características, ou pelos próprios circuitos externos, dois aparelhos conectados à mesma rede de energia, quando em funcionamento, apresentem uma diferença de potencial de alguns microvolts ou milivolts, conforme mostra a figura 275.

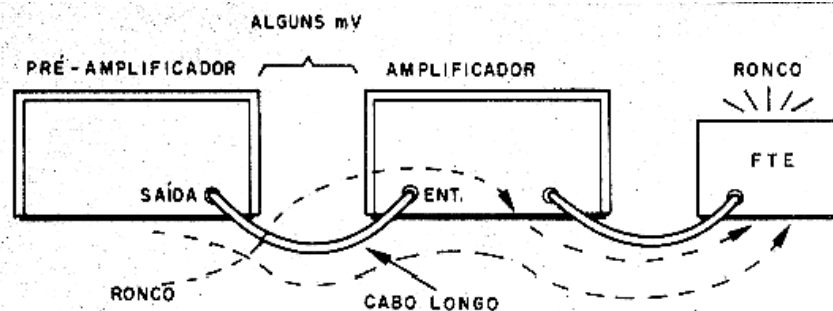


Figura 275 – Problemas de interligação de equipamentos

Essa diferença consiste num sinal que aparece nos circuitos de entrada do amplificador, quando os aparelhos são interligados. É fácil verificar se o problema tem esta origem:

* Ligando os dois aparelhos sem sinal, e abrindo o volume do amplificador, o ronco aparece.

* Encostando a caixa de um aparelho no outro, ou ainda interligando-a por um momento por meio de um pedaço de fio, o ronco desaparece, conforme mostra a figura 276.

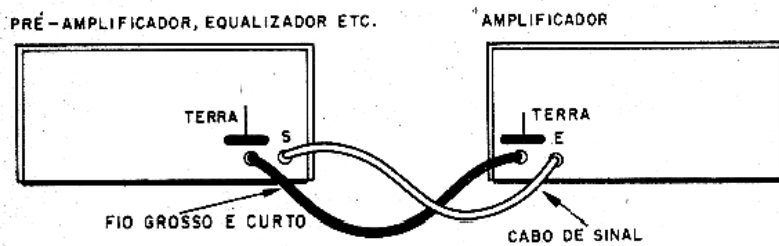


Figura 276- Interligando os terminais de terra

* Se o ronco não desaparecer, sua origem pode ser outra.

Para eliminar o ronco que tenha esta origem, basta usar os terminais de terra comum que todos os equipamentos de som possuem em sua parte traseira.

* Interligue os terminais de terra de todos os aparelhos que formam o sistema, se usarem caixas separadas, conforme mostra a figura 277.

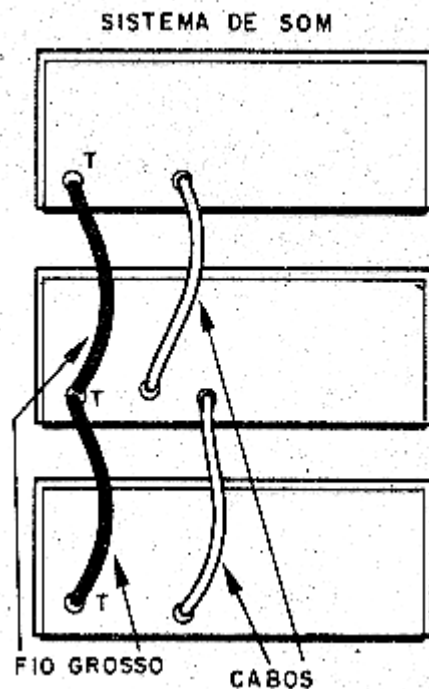


Figura 277 – Usando um fio grosso como interligação de terras (T)

O fio usado nesta interligação deve ser grosso e o mais curto possível.

c) Terras fora de fase

Dois aparelhos conectados à mesma rede de energia, um funcionando como fonte de sinal (tape-deck, pré-amplificador, equalizador, etc.), e outro como amplificador final de potência, podem apresentar

pequenas diferenças de potencial entre seus chassis ou caixas, da mesma forma que no caso anterior, mas por estarem com as fases diferentes de alimentação.

O que ocorre é que seus transformadores de força podem estar com as fases diferentes em relação à tensão de entrada, o que afeta levemente a tensão do secundário em relação a fase, conforme mostra a figura 278.

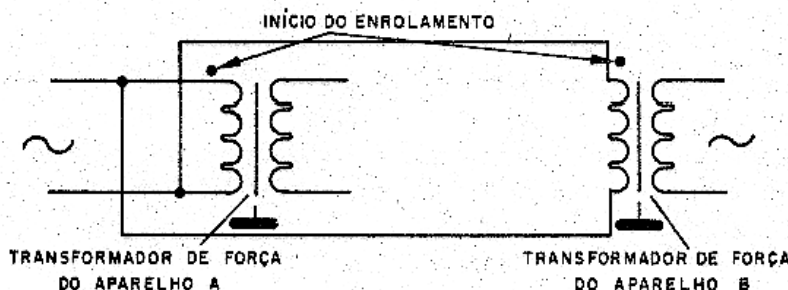


Figura 278 – Transformadores fora de fase

Assim, entre os chassis ou caixas surge uma pequena tensão alternada na frequência de 60 Hz, resultante da defasagem da alimentação dos transformadores.

Uma maneira simples de se verificar se o problema é este é a seguinte:

- * Ligue os aparelhos de modo que o ronco seja produzido.
- * Inverta a tomada de força de um dos aparelhos, girando-a de 180 graus, conforme mostra a figura 279.

Captando estações de rádio

Um problema comum em amplificadores é a captação de estações de rádio. Abrindo o volume, sem música ou som sendo reproduzido, podemos ouvir ao fundo as estações de rádio local. Este problema também pode ter origens nos cabos, quando os sinais fortes das estações podem penetrar no circuito sendo detectados. Além da blindagem, em alguns casos a conexão de um capacitor cerâmico de 1 a 10 nF em paralelo com o cabo pode resolver o problema.

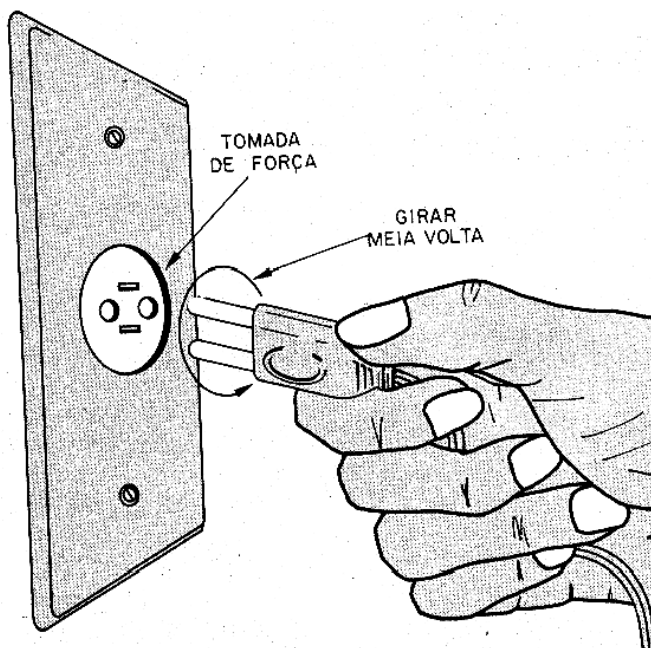


Figura 279 – Girando uma tomada para reduzir ou eliminar roncões

* Se o ronco desaparecer por completo, estará caracterizado o problema. Uma interligação adicional com fios grossos entre os chassi pode resolver de forma definitiva o problema.

8.1.8 – Drivers ou Impulsores

Antes de chegarmos à potência máxima que desejamos para um sinal, para que ele possa ser usado para excitar um alto-falante, pode ser necessário o uso de uma etapa de amplificação intermediária. Esta etapa é denominada driver ou impulsora, conforme o leitor poderá verificar pela figura 280.

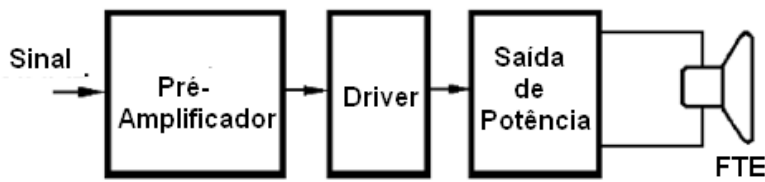


Figura 280 – A etapa impulsora ou driver de um amplificador de áudio

Dependendo do amplificador considerado, esta etapa pode ter potências as mais variadas. Num grande amplificador que tenha uma potência de saída de dezenas de watts, a etapa de excitação pode ter alguns watts de saída, o que corresponde a um verdadeiro amplificador de potência de pequeno porte.

8.1.9 – Amplificadores de potência

Estes são amplificadores dotados de uma ou mais etapas, cuja finalidade é excitar alto-falantes, por exemplo, com sinais de grande intensidade que podem ir desde 100 mW para amplificadores alimentados por pilhas em sistemas multimídia e fones, até mais de 500 W para amplificadores de sonorização de grandes ambientes.

Para estes amplificadores de maior potência, ou ainda para suas etapas finais, são usados transistores de potência montados em radiadores de calor apropriados, conforme o leitor pode ver na figura 281.

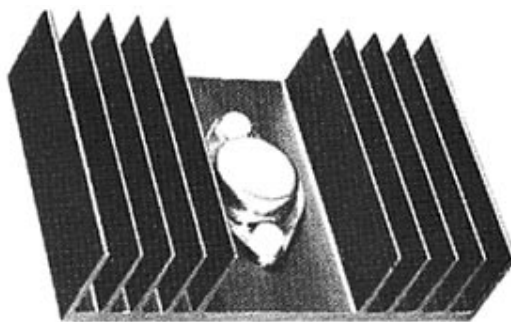


Figura 281 – Transistor em radiador de calor, como visto em amplificadores.

Na Prática

Em equipamentos de som, as etapas amplificadoras de som têm as configurações indicadas, ou ainda próximas delas, mas não usam componentes discretos. O que ocorre é que os transistores, e demais componentes que formam estas etapas, estão contidos em circuitos integrados (chips). Vale, entretanto, o mesmo princípio de funcionamento. Um amplificador completo de um sistema multimídia, rádio ou toca CDs, alimentado por pilhas, por exemplo, está contido num único circuito integrado, mas neste integrado podemos encontrar todas as etapas que analisamos nesta lição.



Figura A- Um circuito integrado que contém todos os componentes de um amplificador de áudio, como o que estudamos

É interessante observar que, dependendo da faixa de potência, do tipo de sinal com que trabalhamos, uma etapa que será considerada driver, pode ser igual a uma etapa de potência de outro.

Assim, as configurações para todos os tipos de amplificadores que vimos têm pontos em comum no que se refere ao princípio e funcionamento, mudando apenas o tipo de sinal trabalhado, a potência e as características de entrada e de saída.

Desta forma, ficará muito mais fácil fazermos um estudo geral das configurações usadas e como elas funcionam.

8.2 - Classes de amplificadores

Para efeito de estudo, vamos supor que os amplificadores de áudio trabalhem exclusivamente com sinais senoidais. Assim, levando em conta que o sinal a ser amplificado é uma senóide de uma frequência que certamente estará entre 15 e 15 000 Hz, podemos fazer comparações e ver melhor o que ocorre com cada um deles.

Para isso, tomemos a curva de transferência de sinais de um transistor que pode ser vista na figura 282, a qual depende da sua polarização.

Classes de amplificadores

O que veremos nas linhas seguintes também é válido para amplificadores que usam válvulas e transistores de efeito de campo (FET).

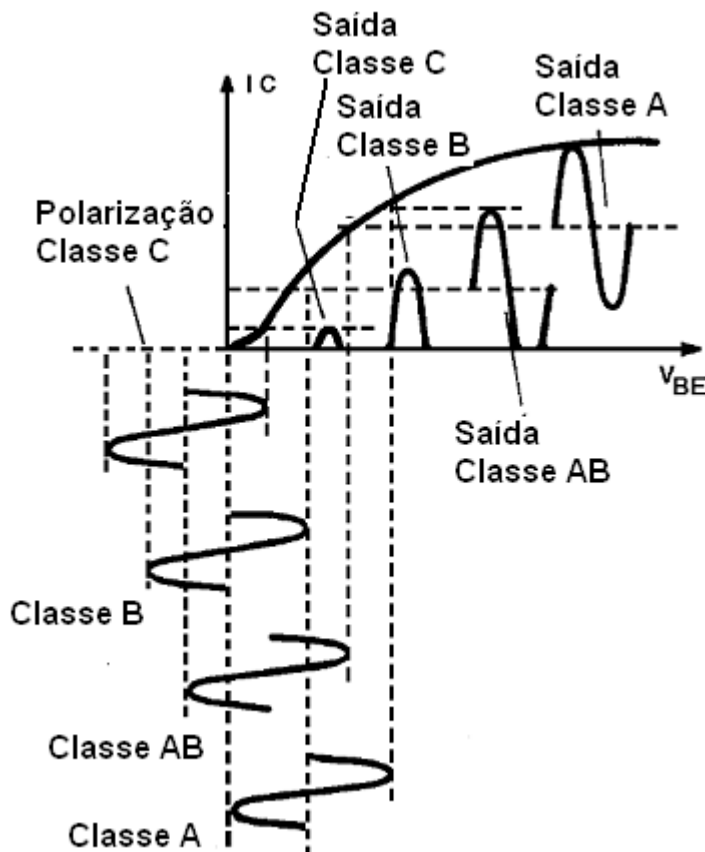


Figura 282 – Classes de operação de um transistor como amplificador

Conforme podemos ver, o transistor pode ser polarizado em quatro pontos diferentes que correspondem às classes, A, AB, B, e C. (Na verdade, existem outros pontos, mas os que estudaremos, são os principais).

Em capítulos anteriores, já havíamos falado destas maneiras de polarizar o transistor, exceto pela classe AB, que é algo intermediário entre o A e o B, na qual temos a amplificação do semiciclo positivo totalmente e parcialmente do negativo.

O importante no nosso caso é saber quando usar cada um dos tipos analisados de amplificadores. É claro que, observando a necessidade de termos uma amplificação sem distorção, devemos antes de tudo pensar na classe A para a amplificação de áudio.

Assim, nos pré-amplificadores e em muitas etapas de saída de amplificadores de áudio, como as que podem ser observadas na figura 283, temos a polarização do transistor no centro da curva de transferência (região linear), o que nos leva à amplificação dos dois semiciclos do sinal. Para aplicações em que trabalhamos com sinais de pequenas intensidades como pré-amplificadores, drivers e saídas de pequena potência, esta etapa não tem muitos inconvenientes.

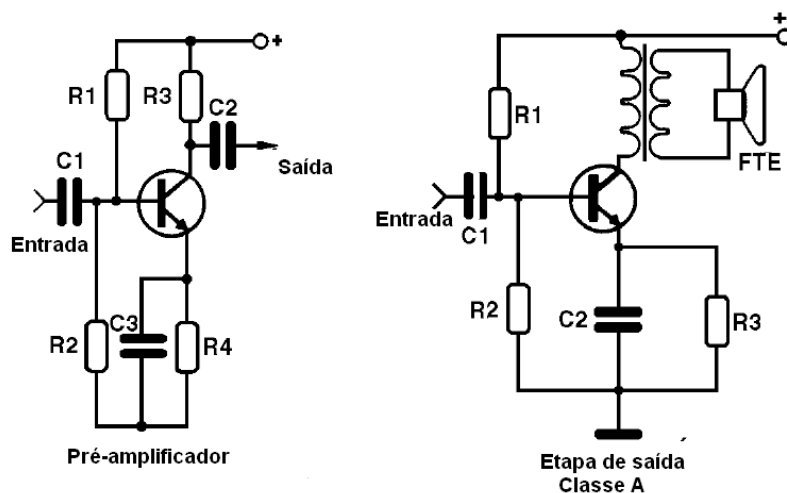


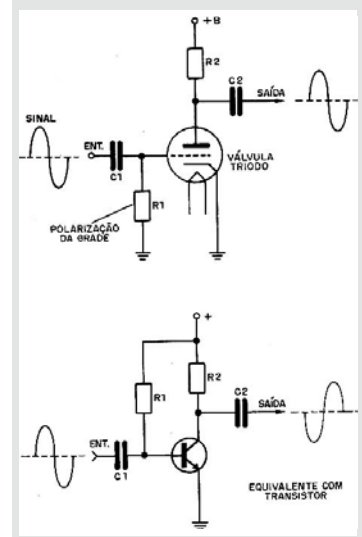
Figura 283 – Exemplos de etapas Classe A

No entanto, nos circuitos de potência mais alta como, por exemplo, na saída de um amplificador de som multimídia alimentado por pilhas, ou na saída de áudio de um rádio portátil também alimentado por pilhas, onde o consumo é importante, num auto-rádio, ou mesmo num amplificador doméstico, o fato do transistor permanecer em condução na ausência de sinal é um sério inconveniente.

De fato, dependendo da potência da etapa de saída, uma forte corrente circula pelo transistor, mesmo na ausência de sinal e isso significa gasto de energia e produção de calor. No caso de um aparelho alimentado por pilhas, o desgaste dessas pilhas será muito rápido, se for usado um circuito que tenha este tipo de saída.

Válvulas

As mesmas configurações que vimos para os transistores são encontradas em circuitos valvulados. Assim, podemos ter válvulas funcionando em amplificadores classe A, B, C ou AB. Na figura abaixo uma comparação entre os circuitos com os dois tipos de componentes.



Multimídia

É importante observar que os computadores possuem dois tipos de sistemas de som multimídia, no que se refere à alimentação. Existem as caixinhas que possuem os amplificadores incorporados e que são alimentadas pela própria fonte do PC, através da USB. Isso significa que estas caixas não precisam de pilhas ou fonte externa para funcionar. Existem outras caixas que não recebem alimentação do PC e que, portanto, precisam de um amplificador externo. Estes amplificadores externos ficam nas caixinhas dos alto-falantes e precisam ser alimentados por pilhas ou por um plugue conectado à rede de energia.

Para um amplificador de alta potência, podemos dizer que mais de 50% da energia será perdida nesta configuração que então se caracteriza por ter um baixo rendimento.

Como resolver o problema? Se polarizarmos o transistor de modo que ele tenha uma baixa corrente na ausência de sinal como, por exemplo, em classe C ou B, a amplificação é só de metade dos semiciclos, causando assim distorção do sinal?

Este problema é resolvido por algumas configurações que empregam dois transistores em disposições apropriadas e que são muito usadas na maioria dos amplificadores de áudio.

8.3 - AMPLIFICADORES EM CONTRAFASE

Uma maneira de se contornar o problema de consumo em repouso de uma etapa de potência de um amplificador e, ao mesmo tempo, ter os dois semiciclos amplificados sem distorção, consiste em se usar dois transistores na configuração chamada em contrafase ou “push-pull”, conforme o leitor poderá ver na figura 284.

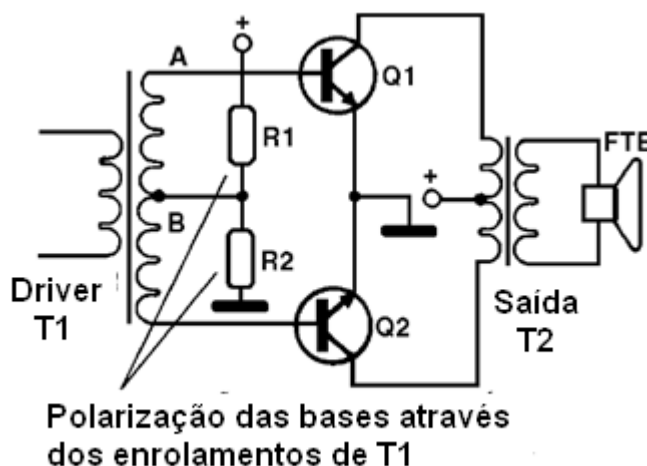


Figura 284 – Etapa de saída push-pull

Nesta configuração, usamos um transformador com derivação no enrolamento secundário para retirar o sinal da etapa anterior e também um transformador com derivação no enrolamento primário, para “jogar” o sinal no circuito de carga, por exemplo, um alto-falante.

Os dois transistores são polarizados em classe B, de modo a apresentarem uma corrente de repouso muito baixa. Desta forma, praticamente não há consumo de energia na ausência de sinal.

Os semiciclos positivos do sinal de entrada aparecem com a mesma fase na derivação A do transformador. Isso significa que o transistor Q1 é polarizado no sentido de fazer sua amplificação. No entanto, na derivação B, o sinal aparece com a fase invertida, o que faz

com que o transistor Q2 seja polarizado no sentido de não amplificar os sinais, permanecendo no corte.

Nos semiciclos negativos do sinal, A tem polaridade tal que Q1 não o amplifica, permanecendo no corte. Porém, como o sinal aparece invertido em fase na derivação B, o transistor Q2 é polarizado de modo a amplificá-lo normalmente.

Como os coletores são ligados a um transformador único, na amplificação, ora de um, ora de outro transistor nos ciclos completos, o sinal é jogado no transformador, onde se recompõe na íntegra e depois passa para a carga. Na figura 285, o leitor poderá ver as formas de ondas nos diversos pontos deste circuito.

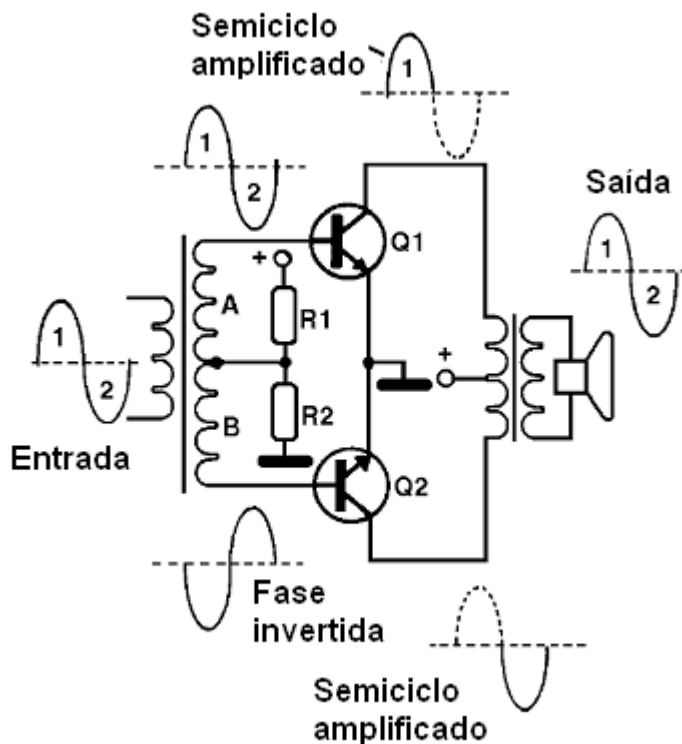


Figura 285 – Formas de onda numa etapa push-pull classe B

Nos pequenos rádios transistorizados antigos, é muito comum o uso deste tipo de etapa de amplificação, dado o seu baixo consumo e ao excelente rendimento que proporciona.

No entanto, este tipo de circuito não é interessante para potências elevadas, pois seriam necessários transformadores volumosos e caros. Na verdade, em amplificadores valvulados de alta qualidade (HI-FI), este tipo de configuração é comum.

Outro fator importante, que torna este tipo de etapa algo crítica, é o fato de que os transistores devem ser mantidos rigorosamente polarizados no ponto próximo ao que começa a condução, de modo a não haver distorção.

Para aparelhos sujeitos a uso contínuo sob condições adversas de tempo, a elevação de temperatura, por motivos diversos, pode cau-

HI-FI Ultralineaes

Nos amplificadores valvulados antigos, e mesmo nos modernos de alta qualidade (HI-FI), esta configuração de saída é empregada. De modo a garantir a qualidade do som e a alta potência, são usados pesados transformadores drivers e saída, de tipo especial, denominados “ultra lineares”. Estes transformadores, que chegam a pesar vários quilos, são caros e seu tamanho depende da potência do amplificador. Na foto abaixo, um amplificador com estes transformadores.



Um amplificador valvulado ultra-linear

sar um deslocamento do ponto de polarização dos transistores, que os leva a distorções e também a maior consumo de corrente. Muitos técnicos já pegaram radinhos com excesso de consumo, porque os transistores saíram de sua polarização normal.

Para manter a etapa estabilizada numa faixa ampla de temperaturas, encontramos em alguns circuitos de polarização um NTC (Negative Temperature Resistor ou Resistor com Coeficiente Negativo de Temperatura) em lugar de um resistor comum, ou seja, um termistor ou resistor cuja resistência diminui quando a temperatura aumenta.

Assim, quando a corrente de base no transistor tende a aumentar com a elevação da temperatura, o resistor entra em ação polarizando a base com menor tensão, pois sua resistência diminui e com isso leva a etapa de volta ao ponto de funcionamento normal. Na figura 286, temos um exemplo de etapa que usa um desses componentes.

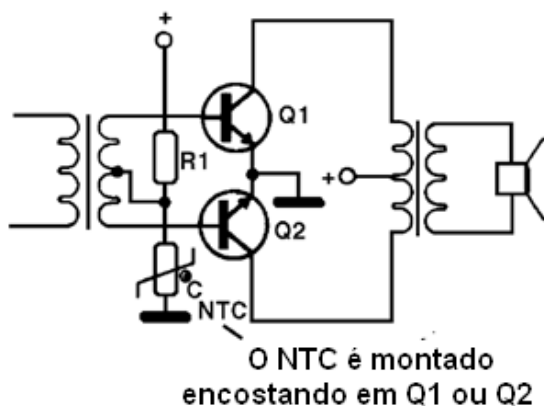


Figura 286 – Etapa de saída estabilizada termicamente com um NTC

Também devemos observar que, em muitos equipamentos de alta qualidade, para se manter a fidelidade do som, são usados transistores casados, ou seja, com as mesmas características de ganho, de modo que os dois semiciclos amplificados sejam exatamente iguais.

8.4 – Amplificadores em Simetria Complementar

Pela fidelidade com que amplifica sinais de áudio, e pela potência que pode fornecer, além da não necessidade de transformadores de saída, este tipo de configuração é a mais usada nos amplificadores de som, lineares ou analógicos, com potências que vão de alguns miliwatts até centenas de watts.

Conforme podemos ver, pelo circuito básico da figura 287 são usados dois transistores, um PNP e NPN, ligados de tal forma, que são excitados por um único transistor, que no exemplo é NPN.

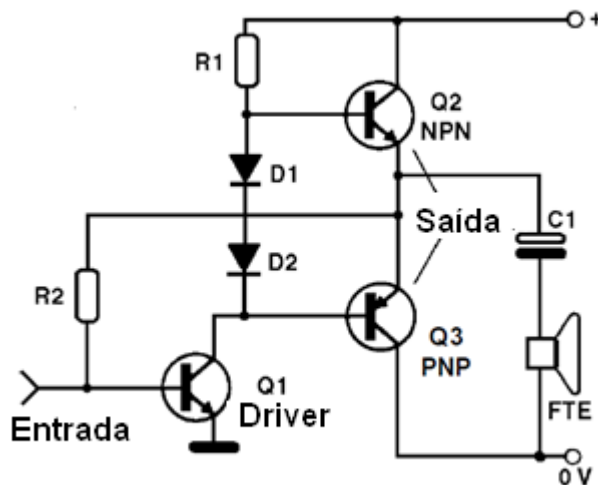


Figura 287 – Etapa de saída sem transformador com transistores complementares

Podemos fazer a mesma excitação, ligando um transistor PNP, conforme o leitor poderá ver na figura 288.

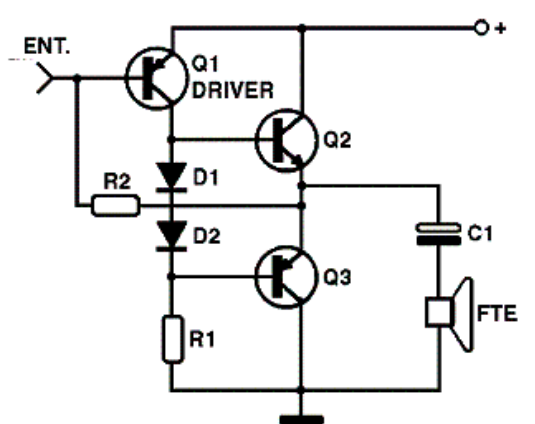


Figura 288 – Etapa de saída com excitação por transistor PNP

Neste circuito, o transistor excitador (driver) é polarizado de modo a manter no seu coletor uma corrente da ordem de metade da tensão de alimentação do circuito, ou seja, em classe A, para poder amplificar os dois semiciclos do sinal de entrada.

Esta polarização é assegurada pela ligação do resistor de sua base nos emissores dos transistores de saída. Desta forma, variações de sua polarização que causem um deslocamento da polarização, provocam uma variação da tensão do ponto em que está ligado o resistor, compensando o efeito.

O coletor do transistor excitador é ligado diretamente à base de um dos transistores e à base do outro, através de dois diodos (em alguns circuitos utiliza-se em lugar dos diodos um resistor e um diodo, ou então um único resistor ou um termistor NTC).

Os diodos têm por função proporcionar uma queda de tensão no circuito equivalente à dada pelas duas junções emissor-base dos transistores de saída. Além disso, por serem do mesmo material que os transistores (silício), os diodos acompanham as variações de características que ocorrem com esses transistores em função da temperatura.

Sem sinal de entrada, os dois transistores de saída permanecem próximos ao corte, e a tensão entre seus emissores é aproximadamente metade da tensão de alimentação. Esta tensão carrega o capacitor em série com o alto-falante.

Na aplicação de um semiciclo de sinal negativo no transistor de entrada, ele vai próximo ao corte, acompanhando este sinal, o que faz com que a tensão de seu coletor se eleve, tendendo a polarizar o transistor de saída NPN no sentido de conduzir e o PNP no sentido de permanecer no corte.

Nestas condições, flui uma corrente pelo transistor NPN correspondendo ao semiciclo amplificado, carregando o capacitor através do alto-falante, que então reproduz este sinal. Veja o sentido de circulação desta corrente na figura 289.

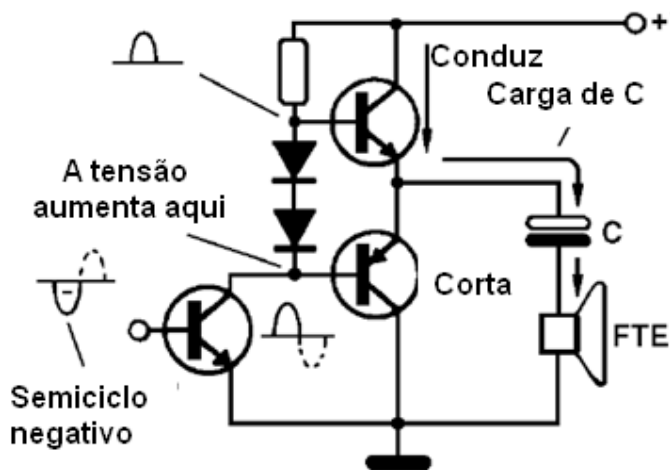


Figura 289 - No semiciclo negativo, conduz o transistor NPN

Quando aplicamos o semiciclo positivo do sinal à entrada, o transistor NPN conduz colocando em curto o capacitor que está em série com o alto-falante. Nestas condições, ocorre sua descarga, com uma forte corrente que corresponde em forma de onda e frequência do sinal aplicado na entrada, e isso provoca a reprodução no alto-falante. Na figura 290, o leitor poderá ver as formas de onda e a corrente neste aparelho.

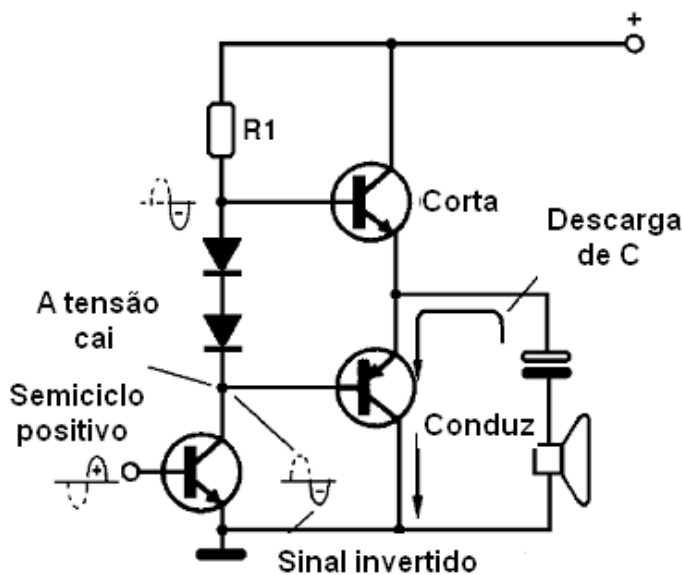


Figura 290 – Operação no semiciclo positivo

Na verdade, este circuito que descrevemos inicialmente, tem uma simetria “quase-complementar”, pois os transistores trabalham apenas com um semiciclo. O outro corresponde a uma descarga do capacitor que armazena energia.

Uma configuração, mais elaborada, pode ser vista clicando-se figura 291. Ela não usa o capacitor, de modo que realmente os transistores amplificam os dois semiciclos do sinal.

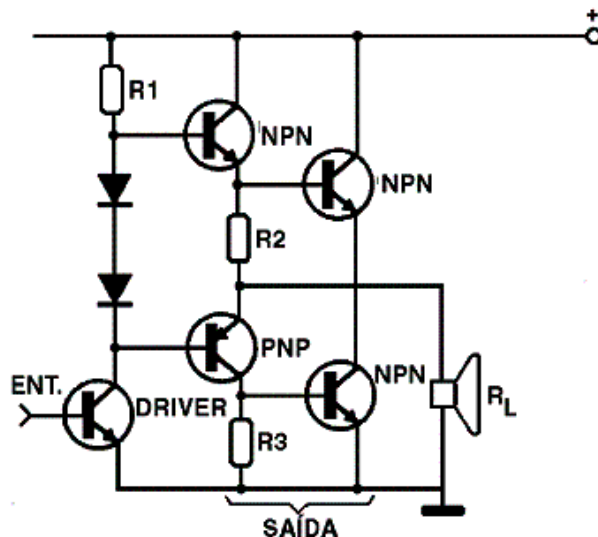


Figura 291 – Etapa em simetria complementar total

Este circuito é denominado de simetria complementar total, e também é muito usado em equipamentos comerciais, principalmente de custo mais elevado e de alta potência, onde um capacitor eletrolítico seria um componente volumoso e caro quando usado na saída.

Simetria complementar com outros componentes

Diferentemente dos transistores bipolares, que existem nos tipos NPN e PNP, em que as correntes fluem em sentidos opostos, as válvulas são apenas de um tipo: não existem “válvulas complementares”. Assim, não é possível elaborar amplificadores em simetria complementar com estes componentes. No entanto, existem outros tipos de semicondutores de potência, como os MOSFETs de potência, com os quais podemos ter etapas amplificadoras equivalentes.

8.5 - AMPLIFICADORES DE RF

As configurações para a amplificação de sinais de altas frequências (RF) não diferem muito das configurações de áudio. Além das características de impedância de entrada e de saída, nível de sinal de entrada e de saída e ruído, que vimos para os amplificadores de áudio, os amplificadores de RF têm ainda outros pontos importantes a serem considerados quando os projetamos.

Um deles refere-se ao fato de que, enquanto num amplificador de áudio normalmente trabalhamos com uma faixa muito ampla de frequências, normalmente a faixa audível entre 15 e 15 000 Hz, no caso dos amplificadores de RF existe a possibilidade tanto de trabalharmos com uma faixa larga de frequências, como de trabalharmos com uma faixa muito estreita de frequências de um sinal.

Assim, em primeiro lugar temos os chamados amplificadores “aperiódicos”, como o que pode ser visto se na figura 292, que se destinam a amplificar certa faixa de sinais, não havendo assim uma determinação ou sintonia.

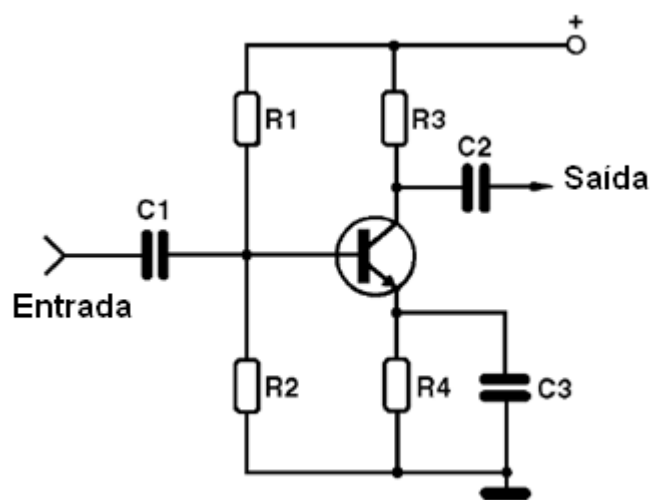


Figura 292 – Um amplificador de RF aperiódico com um transistor

Um amplificador deste tipo pode ser usado como reforçador ou amplificador de antena para rádios. O circuito da figura, por exemplo, opera razoavelmente bem até a faixa de ondas curtas, em torno de 20 MHz.

Conforme já estudamos nos capítulos anteriores, os transistores possuem um limite para a frequência que podem amplificar. Este limite é fixado pela velocidade com que as cargas podem se movimentar nas junções, e também pelas capacitâncias parasitas que existem entre os elementos do transistor.

Na figura 293 mostramos a distribuição destas capacitâncias responsáveis por uma redução da “velocidade” de operação dos transistores e que, portanto, impedem a amplificação de sinais de frequências muito altas.

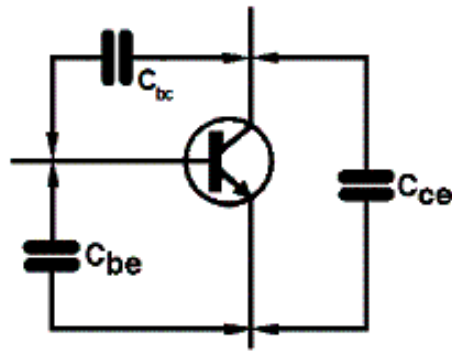


Figura 293 – As capacitâncias de um transistor bipolar

Tipos especiais de transistores para RF podem ter formas e dimensões que reduzem bastante estas capacitâncias, mas ainda assim existem limites. Os limites também dependem da configuração em que o transistor é usado.

Na configuração de emissor comum, por exemplo, como o sinal entra pela base, a capacitância de base do transistor fica multiplicada praticamente pelo seu ganho, o que quer dizer que temos um efeito de “aumento” desta capacitância que reduz a velocidade de operação do componente. O sinal deve antes carregar o capacitor de base, conforme o leitor pode ver na a figura 294, para depois passar a controlar o fluxo de corrente entre o coletor e o emissor.

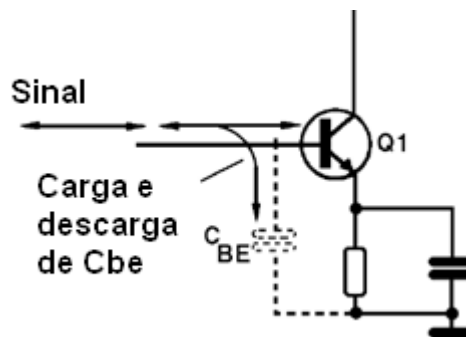


Figura 294 – O efeito da capacitância de entrada num circuito de emissor comum

Uma configuração muito usada em circuitos de RF é a de base comum na qual temos a possibilidade de contornar os problemas da capacitância intrínseca do transistor, levando-o a máxima frequência de operação.

Nesta configuração, o sinal é aplicado no emissor e retirado do coletor, não havendo então problemas com a capacitância de base, conforme mostra a figura 295.

Na Prática

As altas frequências, que podem ser encontradas num equipamento eletrônico comum, se concentram principalmente em circuitos receptores ou transmissores de sinais, como rádios, televisores, controles de abertura de portas de garagem, etc. Os circuitos desses equipamentos são extremamente sensíveis, quer seja pela intensidade do sinal com que trabalham, como pela possibilidade de não operarem corretamente, se não forem bem ajustados.

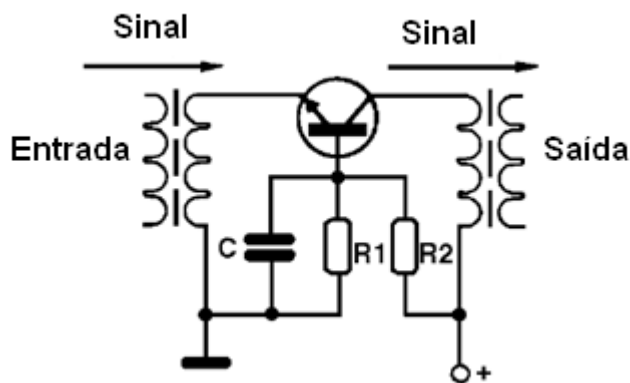


Figura 295 - Amplificador de RF em base comum

As impedâncias de um circuito amplificador de RF, que trabalhe com sinais muito fracos como, por exemplo, os captados por uma antena de um receptor, são muito importantes para se obter o melhor rendimento.

No caso de um amplificador aperiódico, por exemplo, é muito difícil manter a impedância constante em toda a faixa que ele opera, o que quer dizer que ele vai apresentar um comportamento não linear em sua faixa de frequências, conforme o leitor poderá observar na figura 296.

FETs

O que estudamos neste item também é válido para os transistores de efeito de campo. Assim, estes componentes também podem ser utilizados na configuração de gate comum, para minizar os efeitos das capacitâncias, em circuitos de alta frequência.

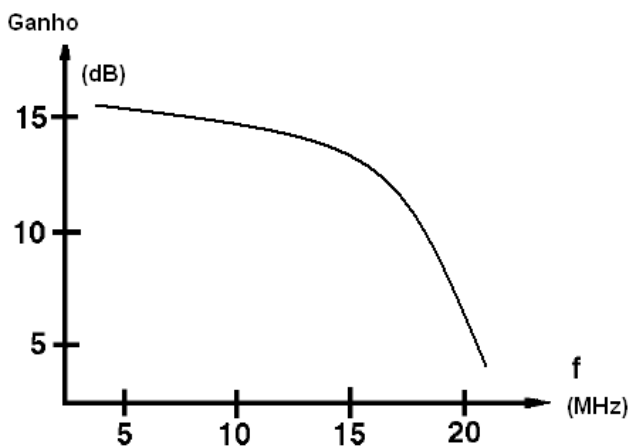


Figura 296 – O ganho diminui como aumento da frequência

Assim, enquanto temos uma frequência em que o ganho é maior, existem outras em que o ganho é bem menor. A melhor solução para se obter o melhor rendimento quando se pretende em cada instante trabalhar com uma determinada frequência como, por exemplo, na sintonia de rádios ou transmissores, é utilizar amplificadores sintonizados.

8.6 - AMPLIFICADORES SINTONIZADOS

Temos então diversas possibilidades. Uma delas pode ser vista na figura 297, consistindo em se sintonizar o sinal que se deseja amplificar apenas na entrada do circuito.

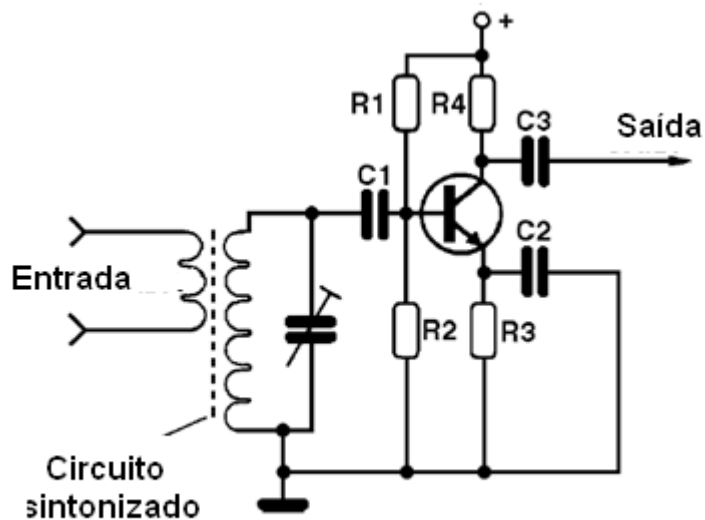


Figura 297 – Amplificador com entrada sintonizada

Esta configuração permite obter o melhor acoplamento do sinal ao transistor, de modo a termos um bom casamento de impedâncias e, com isso, o melhor rendimento. No entanto, existem aqui ainda alguns problemas que às vezes precisam ser contornados.

Os transistores ligados na configuração de emissor comum, como mostra o exemplo, apresentam uma impedância de entrada relativamente baixa, conforme já estudamos. Esta baixa impedância “carrega” um circuito sintonizado formado por uma bobina e um capacitor, que apresenta uma alta impedância (veja no capítulo correspondente que na frequência sintonizada a impedância tende ao infinito).

O resultado é que, se fazemos um acoplamento sem levar em conta este fato, a seletividade é reduzida, ou seja, a capacidade do circuito sintonizado de separar estações. Num rádio isso é um problema grave, pois ele poderá “misturar” estações de frequências próximas.

Uma maneira de contornar este problema consiste em se retirar o sinal de uma derivação da bobina, conforme o leitor pode ver na figura 298.

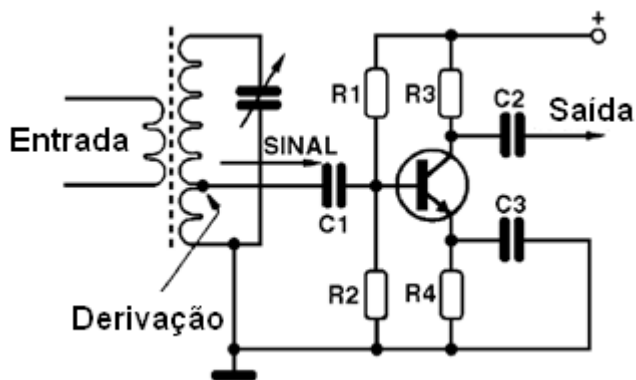


Figura 298 – Obtendo melhor casamento de impedâncias

A impedância da derivação é bem menor do que a impedância de extremo a extremo da bobina e, portanto, “casa” melhor com a entrada do transistor. O ponto exato em que deve ser feita esta derivação, pode ser determinado por meio de cálculos que fogem ao interesse deste curso, que tem finalidade mais prática.

Outra maneira de contornar o problema consiste em se utilizar um segundo enrolamento para a bobina, conforme o leitor pode ver na figura 299.

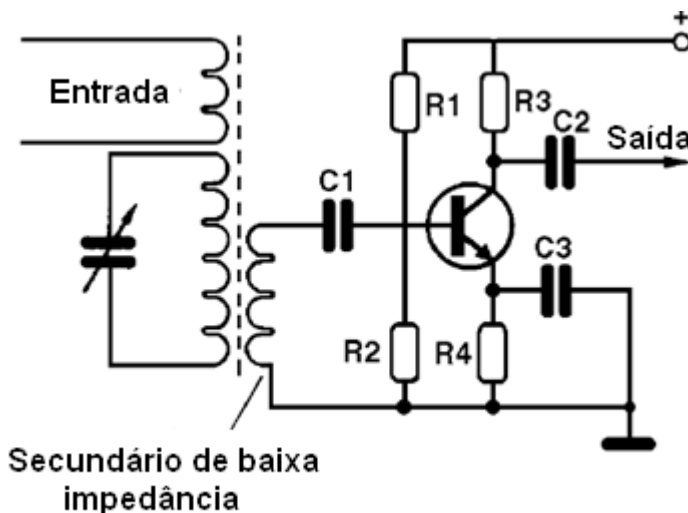


Figura 299 – Casando as impedância através de um transformador

Esta segunda bobina terá menos espiras que a bobina sintonizada, o que resultará então num transformador casador de impedâncias, com o mesmo princípio de funcionamento que estudamos no item sobre acoplamentos.

Outra possibilidade, para este tipo de circuito, consiste em se colocar circuitos sintonizados tanto na saída como na entrada, conforme mostra a figura 300.

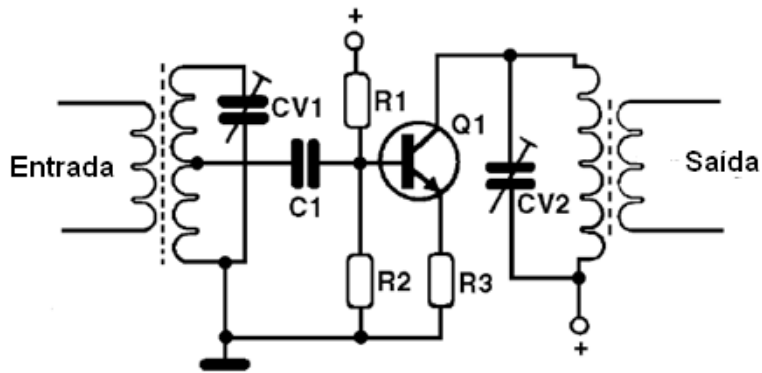


Figura 300 – Circuito com entrada e saída sintonizadas

Com isso, obtemos acoplamentos ideais tanto na saída como na entrada com muito melhor rendimento.

A mesma configuração com transistor na configuração de base comum, usada num circuito de frequência elevada como, por exemplo, num rádio de FM, como o leitor pode ver na figura 301.

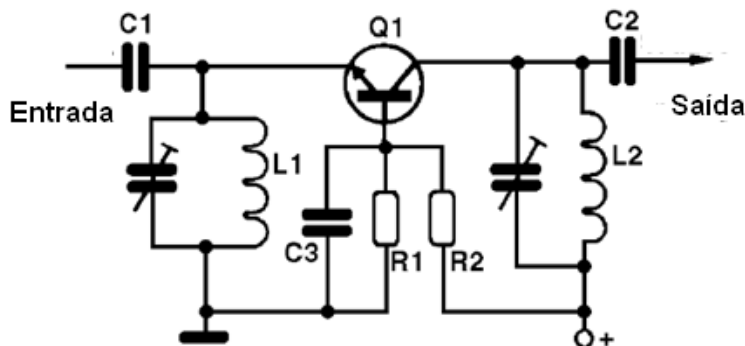


Figura 301 – Amplificador em base comum, com entrada e saída sintonizadas

8.7 – Amplificadores em Contrafase

Da mesma forma que no caso de amplificadores de áudio, devemos distinguir os que operam com sinais de baixa intensidade, como os usados em rádios receptores, “boosters” (amplificadores de antena) e outros, dos circuitos que operam com sinais de potências maiores como nos transmissores.

Uma maneira de se amplificar sinais de um transmissor, de modo a se elevar a potência do sinal, consiste no uso de um único transistor de maior potência após o oscilador, ligado conforme mostra o leitor poderá ver na figura 302.

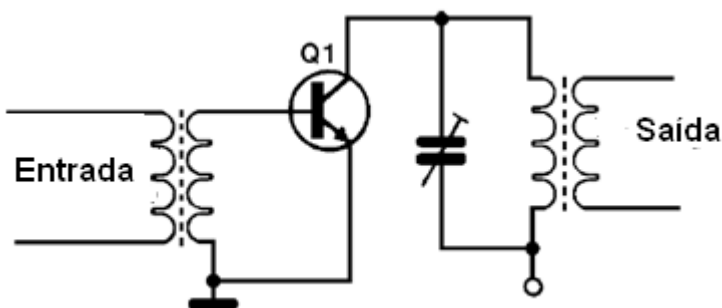


Figura 302 – Etapa amplificadora de RF

Podemos polarizar este transistor em classe A, B ou C, conforme o rendimento desejado, mas da mesma forma que nos circuitos de áudio, temos limitações a considerar. Nessa figura, o transistor está configurado em Classe C.

Na polarização em classe A, amplificamos os dois semiciclos do sinal, mas temos um rendimento mais baixo. Por outro lado, a distorção do sinal é menor, o que para sinais de RF significa a produção de menos frequências múltiplas, ou harmônicas, que podem prejudicar o comportamento final do aparelho.

Na polarização em classe B ou C, por outro lado, como amplificamos somente um semiciclo do sinal, a distorção é grande, o que causa a produção de muitas harmônicas, ou ainda harmônicas intensas que também podem ser irradiadas, o que não é permitido numa aplicação normal.

Devem então ser acrescentados filtros ou outros recursos que encarecem o projeto.

Quando potências de até algumas dezenas de watts são exigidas, a configuração em classe C pode ser usada, mas se quisermos realmente o máximo rendimento, devemos partir para a configuração em contrafase que pode ser vista na figura 303.

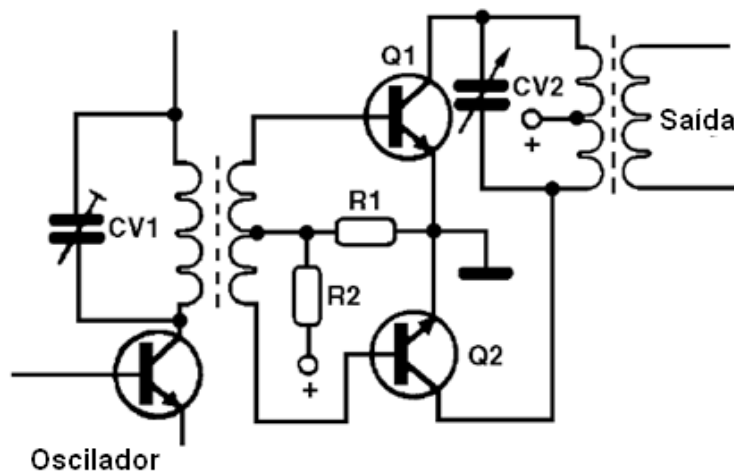


Figura 303 – Etapa de RF de potência com transistores em contrafase

Não existe diferença quanto ao funcionamento desta etapa de alta frequência em relação à do mesmo tipo que opera com sinais de áudio.

Apenas neste caso, os transformadores são de tipos para altas frequências, ou seja, bobinas com capacitores para sintonia na frequência desejada. Esta configuração é usada na maioria dos transmissores profissionais que precisam de potências acima de 5 W, com excelente rendimento.

8.8 – Amplificadores Integrados

Como a maioria dos circuitos usados em aplicações de uso comum, como equipamentos de som, televisores, rádios, computadores e periféricos, os amplificadores também podem ser encontrados na forma integrada.

Neste caso, devemos separar os amplificadores encontrados nesses equipamentos e periféricos em dois grupos: de pequena potência e de grande potência.

Os amplificadores de pequena potência normalmente aparecem na forma de amplificadores operacionais, consistindo em circuitos integrados simples, cuja finalidade é exercer a função de aumentar a intensidade de pequenos sinais. Estes sinais tem seu nível elevado a ponto de excitar outros circuitos, mas não a ponto de gerarem muito calor, ou de exigirem muita potência da fonte.

Encontramos amplificadores deste tipo em algumas funções de apoio e em periféricos, como na entrada de microfones, em modems, gravadores de som, etc. Em muitos casos estes circuitos são incorporados a circuitos integrados mais complexos.

Os amplificadores de maior potência podem ser usados com diversas finalidades e normalmente, por operarem com correntes intensas, e por isso gerarem muito calor, são dotados de recursos para sua montagem em radiadores de calor.

Um amplificador deste tipo pode ser encontrado nos sistemas multimídia, tanto na própria placa de som, como nas pequenas caixas amplificadas e trabalhando exclusivamente com sinais de áudio. Também encontramos esses amplificadores na saída de sons domésticos, televisores, etc.

Os amplificadores de potência também são usados para aumentar a intensidade de sinais de controle de motores como, por exemplo, nas impressoras, equipamentos industriais, etc.

O importante para o leitor é saber que os amplificadores existem em todos os equipamentos, e suas configurações se enquadram nos tipos que estudamos. A diferença pode estar apenas no modo como os circuitos são encontrados: em lugar de componentes discretos, os componentes em sua maior parte podem estar contidos em invólucros únicos na forma integrada.

Novamente lembramos que a dificuldade em se integrar capaci-

tores de valores elevados faz com que sejam necessários componentes externos discretos. Nos amplificadores, em especial, são necessários diversos capacitores em muitos circuitos, e eles aparecem na forma discreta em torno do amplificador propriamente dito, que tem os demais componentes na forma integrada. Na figura 304 mostramos alguns amplificadores integrados.

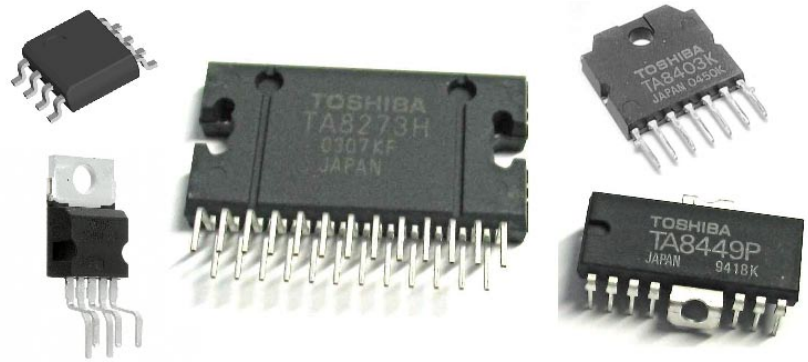


Figura 304 – Amplificadores integrados

Termos em inglês

Os termos para amplificadores são muito importantes, pois também aparecem nos manuais dos equipamentos de som. Damos, a seguir, alguns dos mais importantes.

Distortion – distorção
Power output – potência de saída
Bass-graves
Treble – agudos
Preamplifier – pré-amplificador
Amplifier – amplificador
Tube amplifier – amplificador valvulado
Input – entrada
Output – saída
Peak Power – potência de pico
RMS Power – potência RMS

Temas Para Pesquisa

- Distorção
- Distorção harmônica
- Amplificadores transistorizados
- Alta fidelidade
- HI FI
- Decibel
- Amplificadores com FET
- Amplificadores valvulados

QUESTIONÁRIO

1. Qual deve ser a impedância de entrada de um amplificador que deva operar com sinais fracos de um microfone dinâmico ou cápsula de baixa impedância?

- a) muito baixa b) baixa c) média d) alta

2. Que configuração devemos usar preferivelmente para um pré-amplificador de um transistor com entrada de baixa impedância?

- a) emissor comum
b) coletor comum
c) base comum
d) Darlington

3. De que forma é expressa a saída de um pré-amplificador em termos de intensidade de sinal?

- a) Hz b) ohms c) V_{pp} d) watts

4. Por que a polarização em classe C de um único transistor para amplificadores de áudio é inconveniente?

- a) tem baixo ganho
b) tem baixo rendimento
c) distorce muito
d) só amplifica sinais de baixas frequências

5. Qual é o inconveniente de usarmos um amplificador em contrafase num circuito de alta potência?

- a) O transformador aquece
b) o transformador deve ser muito grande
c) não é possível usar transformador
d) ocorre distorção em nível elevado

6. Onde são usados os amplificadores aperiódicos de RF?

- a) osciladores
b) transmissores
c) reforçadores de sinais
d) receptores de rádio

7. O que diferencia uma etapa de saída em “push-pull” ou contrafase para áudio da mesma etapa usada em RF?

- a) O tipo de transformador usado
b) a polarização
c) O ganho dos transistores
d) A potência do circuito



» Outros componentes importantes

Nos capítulos anteriores estudamos mais alguns elementos da família dos semicondutores como os SCRs, TRIACs, DIACs, SUSs, etc. No entanto, além destes, encontramos nos equipamentos eletrônicos muitos outros dispositivos interessantes, alguns da família dos semicondutores e outros não, cujas características permitem sua utilização numa infinidade de aplicações práticas. Estes componentes devem ser conhecidos de todos os profissionais. Dedicaremos este capítulo a estes componentes, analisando-os e verificando onde eles podem ser usados na prática. Dentre estes componentes, temos os varistores, os transdutores de efeito Hall, as válvulas Geiger, as fotocélulas, ou pilhas solares, os mostradores de cristal líquido, acopladores ópticos, chaves ópticas, além de outros. Muitos destes sensores exigem circuitos bastante complexos para operação. Itens deste capítulo:

- 9.1 - Os varistores
- 9.2 - Transdutores de efeito Hall
- 9.3 - Válvulas Geiger - Muller
- 9.4 - Pilhas solares
- 9.5 - Mostradores de cristal líquido
- 9.6 - Outros dispositivos

9.1 - Os Varistores

Os varistores de óxido de zinco, ou ainda MOVs, SIOVs, são componentes bipolares passivos (possuem dois terminais e não geram nem amplificam sinais) destinados à proteção de circuitos contra surtos de tensão ou transientes.

Os varistores de óxido de zinco têm um princípio de funcionamento que pode ser facilmente explicado a partir de sua estrutura interna, mostrada na figura 305.

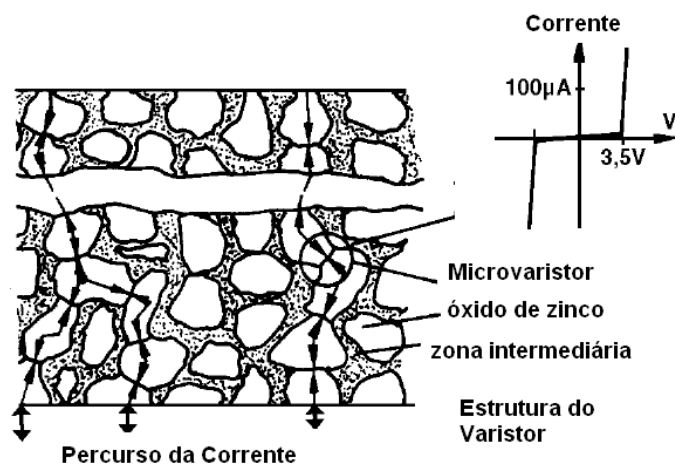


Figura 305 - Estrutura e curva características de um varistor

Este componente é formado por contatos metalizados que encostam numa massa de óxido de zinco sintetizado (ou outro material de propriedades semelhantes).

O componente é protegido por um encapsulamento de epóxi, apresentando o aspecto final que o leitor verá na figura 306, onde também temos o seu símbolo.

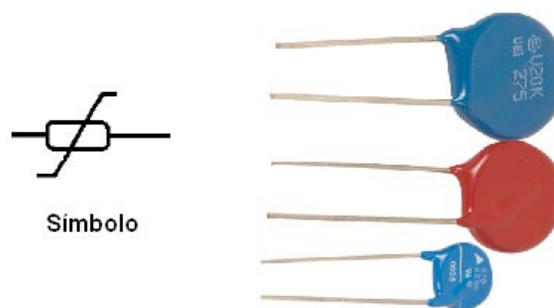


Figura 306 - Varistor - símbolo e aspectos

A resistência elétrica apresentada entre os terminais e, portanto, entre os contatos metalizados depende basicamente da tensão aplicada. Se a tensão for baixa, não há condução de corrente, e o componente se comporta praticamente como um circuito aberto. Isso ocorre porque os grãos de óxido de zinco não se tocam praticamente e, por isso, não deixam haver a circulação de corrente.

No entanto, quando a tensão aplicada supera um determinado valor, a corrente pode vencer o micro-isolamento entre os grãos que então passam a se tocar.

Podemos dizer que cada pequeno grão de óxido de zinco se comporta como uma espécie de micro-diodo zener que entra em condução com determinada tensão, mas de forma muito rápida, e que o comportamento final do componente é dado pelo número de diodos

zeners que estão ligados em série no percurso da corrente, ou seja, em função da espessura da camada de óxido de zinco.

A figura 307 apresenta a curva característica deste componente, observando que ela possui um comportamento bastante agudo no ponto em que se inicia a condução.

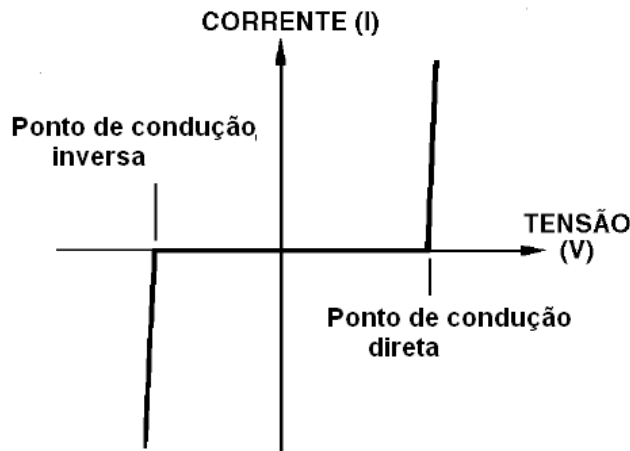


Figura 307 - Curva característica do varistor

A tensão em que ocorre a condução, assim como demais propriedades elétricas do componente, depende dos seguintes fatores:

- Da espessura do material condutor que determina a tensão em que começa a condução. Podemos dizer que esta tensão é equivalente à ligação em série dos micro-diodos zener. Quanto mais grossa for a camada, maior é a tensão de ruptura.

- Da superfície de contato entre os eletrodos com o elemento ativo. Quanto mais percursos existirem para a corrente, maior poderá ser sua intensidade máxima.

- Do volume final do componente, que determina a energia que ele pode absorver quando conduz a corrente.

Devemos observar que, enquanto num semicondutor a distribuição de energia se concentra na pequena região da junção, num varistor a energia se distribui por todo o componente, ou toda a região condutora, o que significa uma capacidade de absorção muito maior.

Os varistores são ligados em paralelo com dispositivos que estejam sujeitos a excesso de tensão que possa causar algum problema de funcionamento.

Na figura 308 temos uma aplicação típica em que o varistor é ligado em paralelo com um conjunto de tomadas usado na alimentação de computadores e outros equipamentos sensíveis.

Na Prática

Os varistores são elementos de grande importância na proteção de equipamentos sensíveis, como os computadores, DVDs players, periféricos, etc., contra picos, surtos e transientes que possam aparecer na linha de alimentação. Os varistores podem então ser encontrados ligados em paralelo com a rede de energia, nas chamadas tomadas protegidas, nas próprias entradas dos circuitos estabilizadores de tensão e dos computadores e seus periféricos.

Varistores e fusíveis

Os varistores podem absorver transientes de curta duração, não havendo necessidade de se desconectar o aparelho alimentado para efeito de proteção. No entanto, se a sobrecarga for maior, o varistor não consegue absorver a energia e, neste caso, entram em ação os fusíveis.



Figura 308 - Tomada protegida por varistores

Se por um instante houver a presença de um pico de tensão que supere o valor de condução do varistor, o que poderia causar dano aos equipamentos alimentados, o varistor entra em condução imediatamente e, por um momento, conduz a corrente enquanto a tensão superar o “valor perigoso”.

O varistor praticamente entra em curto, nestas condições, evitando que a alta tensão do transiente chegue ao aparelho. É claro que durante esta condução deve ser dissipada energia, o que quer dizer que o varistor só protege o aparelho se estes pulsos forem de curta duração. Se a duração for grande, o varistor não consegue dar conta da energia gerada e “queima”. Como muitos dos excessos de tensão que observamos na rede, e que são perigosos, são de curtíssima duração (transientes), os varistores podem cumprir esta função de proteger sem problemas. Os transientes podem ter diversas origens. Uma delas é a conexão ou desconexão (comutação) de uma carga indutiva como, por exemplo: um motor, um solenóide ou ainda um reator de lâmpada fluorescente.

9.1.1 - A “Sujeira” Da Rede de Energia

Se você pensa que a energia elétrica que chega até sua casa, vinda pelos cabos da empresa fornecedora, é limpa”, está enganado. Da mesma forma que a água que chega até sua casa pode conter algumas impurezas, a energia elétrica também pode ter suas “sujeiras”.

É claro que a empresa fornecedora faz todo possível para “filtrar” qualquer tipo de sujeira que possa chegar a sua casa, e afetar de algum modo os aparelhos alimentados. Computadores, videocassetes, rádio-relógios, secretárias eletrônicas, aparelhos de som são alguns dos equipamentos mais sensíveis a estas “sujeiras” que podem chegar junto com a eletricidade fornecida, causando sérios estragos e até funcionamento anormal.

O que ocorre é que, a energia da rede é fornecida na forma de uma corrente alternada. Isso, conforme já vimos, significa que a tensão entre os pinos da tomada de força deve variar suavemente entre um valor positivo e um valor negativo.

Essa variação suave da tensão provoca um movimento de vai e vem dos elétrons através dos aparelhos alimentados, permitindo que eles transfiram a energia que eles precisam para funcionar.

O movimento de vai e vem dos elétrons pelos aparelhos pode ser comparado ao movimento de sobe e desce de uma bóia num mar agitado.

No caso da rede de energia, o vai-e-vem dos elétrons ocorre numa frequência de 60 Hz, ou seja, em cada segundo os elétrons vão 60 vezes e voltam 60 vezes, isso de um modo suave.

A representação deste vai e vem, que identifica uma corrente alternada, é na verdade, feita por um gráfico suave que lembra uma onda do mar: a senóide.

Em cada ciclo da corrente alternada, a tensão sobe até o valor máximo positivo, quando a corrente é empurrada, para depois de atingi-lo, voltar suavemente ao zero, e depois invertendo sua polaridade atingir o valor máximo negativo ou pico negativo. No pico negativo, podemos dizer que a corrente é “puxada” com mais força, invertendo seu sentido de circulação.

Tudo ocorreria bem com os aparelhos alimentados, se as variações da tensão numa tomada seguissem esse ritmo de uma forma suave, sem problemas.

No entanto, exatamente como no caso de uma onda do mar, podem existir “marolas” superpostas e até mesmo “rajadas” de água que se sobrepõem a onda original, conforme mostra a figura 309.

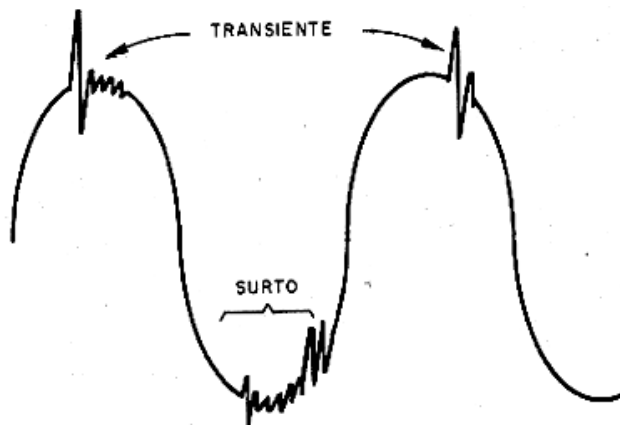


Figura 309 - Os transientes podem alcançar picos de tensões muito altos

Quando um interruptor é aberto, ou fechado, nas vizinhanças de sua casa, alimentando algum aparelho, ele provoca uma pequena variação no consumo de energia a qual é sentida, se bem que, de maneira quase que imperceptível, por todos os aparelhos alimentados pela mesma rede de energia. Uma pequena “ondulação” pode sobrepor-se à energia que chega à sua casa, com talvez uma pequena queda de tensão.

Se o aparelho ligado naquele instante pelo interruptor acionado tiver um alto-consumo, pode-se até verificar a queda de tensão provocada por meio de um multímetro, ou pelo súbito piscar das lâmpadas, conforme mostra a figura 310.

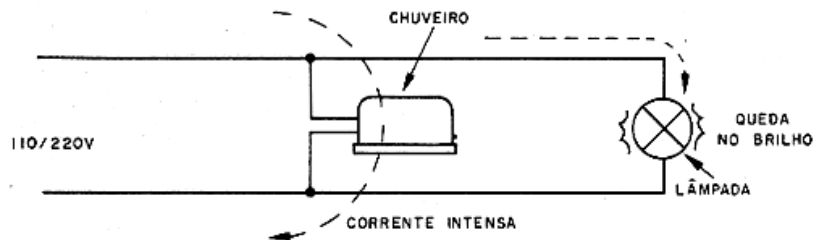


Figura 310 - Queda de tensão causada pelo acionamento de um aparelho de alto consumo

Mesmo dentro de sua casa, quando a geladeira liga, ou um aparelho de maior consumo é acionado, percebemos este tipo de variação, mas em especial nos interessa aqui as variações ou “sujeiras” que vem de fora.

Esta variação não causa muito problema, mesmo deformando um pouco a nossa senóide, por ser muito pequena. A maioria dos aparelhos eletrônicos não é sensível a esta variação, a não ser quando ela cause uma queda de tensão muito grande.

O problema maior ocorre quando os aparelhos que são ligados ou desligados por uma chave ou interruptor, ou ainda de modo automático na mesma linha de energia, possuem características especiais.

São os chamados aparelhos “indutivos”, ou seja, aqueles que possuem bobinas e, eventualmente, escovas de comutação, tais como motores, solenóides, relés, campainhas, máquinas de solda elétrica, etc. Um aparelho indutivo, conforme o nome diz, possui uma característica de indutância.

Uma indutância, conforme mostra a figura 311, tende a apresentar uma oposição forte a qualquer variação de corrente que tenda a ocorrer em seu circuito.

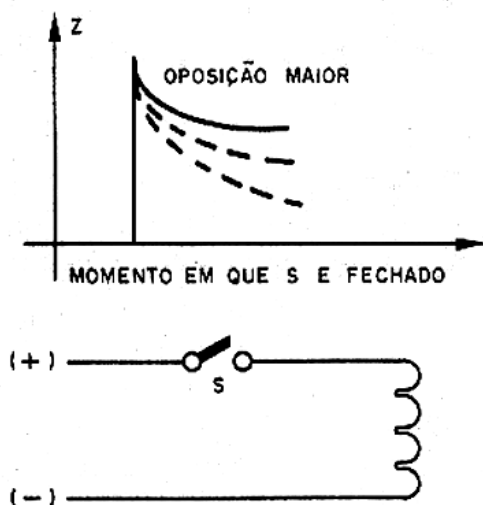


Figura 311 - Acionamento de uma carga indutiva

Quando ligamos um dispositivo qualquer que tenha uma bobina, como, por exemplo, um transformador, a corrente logo se estabelece, invertendo e revertendo seu sentido de circulação, não sem encontrar uma certa oposição, mas mesmo assim, entregando a energia que ele precisa para funcionar.

As variações da corrente farão com que um campo magnético apareça e desapareça no mesmo ritmo da corrente, invertendo o sentido de orientação de suas linhas de força.

Até aí tudo bem, mas vamos supor que, em dado momento do funcionamento de um dispositivo deste tipo, ele seja desligado. Se a corrente for interrompida justamente num instante em que o campo magnético esteja num valor alto (não importa o sentido), o dispositivo sofre uma alteração muito grande de condição, a que ele tende a se opor. O resultado é que as linhas do campo magnético que estava presente naquele instante se contraem com uma velocidade muito maior do que a da variação suave da corrente que o produz.

Essa velocidade pode ser tão grande, que na contração, as linhas de força do campo, cortando as espiras do dispositivo, geram um pulso de alta tensão. Essa alta tensão pode ser muitas vezes, até dezenas de vezes, maior que a tensão da rede de energia que alimenta o dispositivo.

A faísca que aparece nos fios ou interruptores quando desligamos este tipo de dispositivo nos revela que esta faísca por ela “saltar” os contatos, passando então para a rede de energia.

Essas faíscas de curta duração, que podem chegar a milhares de volts, são denominadas transientes e propagam-se pela rede de energia, passando até de uma casa para outra.

Se um vizinho seu aciona uma bomba de água de um poço, ou liga uma geladeira, o transiente gerado pode chegar até sua tomada, na forma de um pulso de curta duração (alguns micro-segundos), conforme mostra a figura 312.

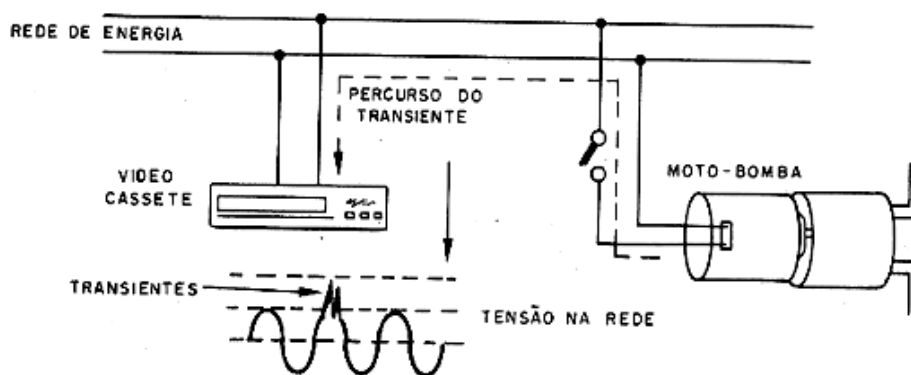


Figura 312 - Transiente propagando-se pela rede de energia

Em alguns casos, quando um aparelho é desligado, e é fortemente indutivo, a corrente chega a oscilar, indo e vindo várias vezes,

Indutâncias

Veja no capítulo correspondente do Curso de Eletrônica - Eletrônica Básica - Volume 1, mais sobre o comportamento dos indutores em diversos tipos de circuitos.

antes de ser interrompida, mas gerando um trem de pulsos de alta tensão de maior duração que se propaga pela rede de energia. Dizemos, neste caso, que se trata de um “surto”, e isso consiste num outro tipo de “sujeira” que se propaga até nossa casa pela rede de energia.

Motores elétricos, que são fortemente indutivos, e que possuem um sistema que liga e desliga suas bobinas centenas de vezes por segundo, consistem em uma fonte indesejável de transientes.

Outra fonte de “sujeira” na rede de energia é a própria natureza. Descargas estáticas, ou mesmo raios que caem na linha de distribuição, podem se propagar pela rede de energia chegando até sua casa. Neste caso, dependendo da distância em que isso ocorrer, os picos de tensão podem variar de intensidade e de duração.

9.1.2 - Como a sujeira afeta os equipamentos eletrônicos

Pequenas variações de tensão, ou variações muito rápidas da tensão da rede de energia, não são sentidas por muitos aparelhos que, além de robustos, possuem uma inércia suficientemente grande para não reagir. É o caso de uma lâmpada incandescente comum que demora certo tempo para ter seu filamento aquecido por uma corrente.

Quando ocorre uma variação brusca muito rápida da tensão, a lâmpada não tem tempo de reagir, e nada acontece. A variação deve durar pelo menos uma fração de segundo para que aconteça alguma coisa e, na maioria dos casos isso não ocorre.

Um motor também não reage rapidamente a uma variação muito brusca de tensão, e mesmo grande, absorvendo a energia que esta variação representa e nada acontece.

Em suma, a maioria dos aparelhos eletrodomésticos tem uma construção suficientemente robusta, e uma inércia suficiente grande, para não sofrer e nem reagir com a “sujeira” da rede de energia que é representada por transientes e surtos.

No entanto, não é o que ocorre com muitos aparelhos eletrônicos, que em geral são mais sensíveis, com uma inércia muito menor, reagindo facilmente, mesmo às variações de menor duração.

As fontes de alimentação dos aparelhos eletrônicos possuem componentes que deveriam filtrar todos os ruídos, ou “sujeiras”, que podem chegar junto com a tensão de alimentação, mas não é isso o que ocorre na prática.

As fontes filtram a maior parte da energia a ser entregue aos aparelhos eletrônicos através de capacitores eletrolíticos.

Eles funcionam como “amortecedores” que suavizam a corrente de alimentação, evitando “solavancos” devidos a buracos.

Os buracos são os transientes que podem afetar o circuito, aplicando-lhes tensões maiores do que a que suportam normalmente, mas existe um problema: os “amortecedores”, ou melhor, os capacitores dos filtros possuem certa inércia. Eles, pela sua construção física, são levemente indutivos, ou seja, não respondem à variações muito rá-

Estabilizadores de tensão

Quando uma rede de energia está sujeita a variações constantes de tensão e presença de transientes e surtos, recomenda-se utilizar um estabilizador de tensão.



Um estabilizador automático de tensão

pidas da tensão e por isso podem deixar passar os transientes. O resultado pode ser fatal para os componentes delicados dos circuitos eletrônicos.

Aparelhos como computadores, secretárias eletrônicas, telefones sem fio, videogames, videocassetes, rádio-relógios possuem componentes internos, denominados circuitos integrados, de um tipo muito delicado, denominado CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor e suas variantes MOS-FET, JFET, DMOS, etc.) que consistem em pastilhas microscópicas de silício onde são integrados os componentes principais do aparelho. Entradas e saídas destes integrados dão em elementos que são isolados por uma finíssima camada de óxido metálico isolante (daí o nome). Essa camada de alguns microns de espessura só consegue isolar tensões de alguns volts, que é justamente o que o aparelho precisa para funcionar e que sua fonte fornece em condições normais.

Se um transiente ou surto consegue passar pelo circuito, chegando a este componente, sua tensão elevada “fura” a capa de óxido semicondutor, “queimando” de modo irreversível o componente e inutilizando o aparelho.

Em muitos casos, o circuito integrado é o “coração” do aparelho, ficando mais caro sua substituição (quando é possível encontrar um semelhante, pois nos equipamentos importados normalmente isso é uma tremenda dificuldade!) do que adquirir um novo.

Existem casos em que o transiente, em lugar de entrar pela rede de energia, pode entrar de outras formas, como no caso de telefones sem fio e secretárias eletrônicas, quando ele vem pela linha telefônica.

Quantos aparelhos desse tipo já “pifaram” coincidentemente depois de uma tempestade com muitos raios caindo nas vizinhanças?

Mesmo aparelhos menos delicados podem sofrer seriamente com estes transientes, se forem muito fortes. Alguém que esteja próximo demais de uma indústria, ou de alguma oficina com máquina de soldas, pode sofrer bastante com a “sujeira” que chega até suas tomadas.

9.1.3 - As Proteções que já existem

A presença de transformadores, no percurso da energia que chega até sua casa, é interessante porque estes componentes conseguem bloquear uma boa parte dos surtos de alta tensão e transientes que podem afetar seus aparelhos.

Os próprios fios longos, e a presença de certos dispositivos que possuam características “capacitivas”, fazem com que algumas das “sujeiras” que chegam com a energia sejam atenuadas ou mesmo desviadas.

Os fusíveis que existem na entrada de sua instalação, infelizmente não são rápidos o bastante para proteger suas instalações contra

Relógios digitais

Um caso interessante em que a “sujeira” não queima, mas afeta o aparelho, é o de relógios digitais de cabeceira. O ritmo desses relógios é dado pelas “ondulações” da tensão da rede de energia que se mantém, com boa precisão nos 60 Hertz, ou seja, 60 vezes por segundo. Dividindo por 60 essa frequência, o relógio obtém um pulso em cada segundo para seu funcionamento. No entanto, o circuito que faz a divisão pode ser “enganado” pela presença de transientes ou surtos, dependendo de sua duração. Se não houver um bom filtro interno no circuito, um transiente é contado como uma ondulação a mais e o relógio passa a andar mais rápido. Se seu relógio de cabeceira adianta alguns minutos por mês, é sinal que ele está sendo enganado pela “sujeira” de sua rede de energia. Este problema nada tem a ver com os relógios importados que, projetados para a rede de 50 Hz, são ligados em 60 Hz e por isso passam a andar mais depressa. Tais relógios passam a contar uma hora de 50 minutos e, por isso, adiantam muito mais. Normalmente, é possível identificar os pinos de programação do circuito integrado interno, fazendo então a troca de 50 para 60 Hz.

estes picos de tensão que podem entrar, pois eles têm uma duração muito curta. Nem mesmo os disjuntores conseguem isso.

Isso significa que, mesmo havendo certa proteção natural da rede de energia, não se consegue eliminar totalmente os transientes, e o problema se agrava nas regiões mais densamente povoadas onde podem existir muitos dispositivos geradores de “sujeira” ligados a uma mesma rede de energia.

Evidentemente, tais tomadas protegidas também podem ser usadas com outros aparelhos sensíveis como videocassetes, fax, televisores, etc. Na figura 313, mostramos uma destas tomadas.

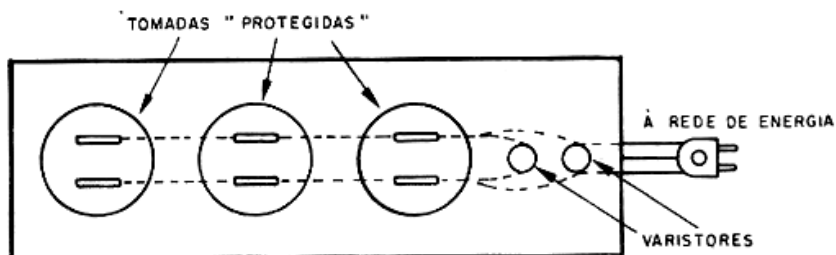


Figura 313 - Um conjunto de tomadas protegidas

Outra maneira de se evitar problemas com os transientes e surtos é através de um bom aterramento, caso os aparelhos já possuam proteção interna.

Computadores, normalmente possuem varistores nos seus circuitos de entrada, mas estes varistores são ligados de tal forma que precisam de um fio terra para que o surto ou transiente seja absorvido. Isso ocorre, porque na realidade as correntes provocadas por eles na condução do dispositivo de proteção precisam escoar para a terra, conforme mostra a figura 314.

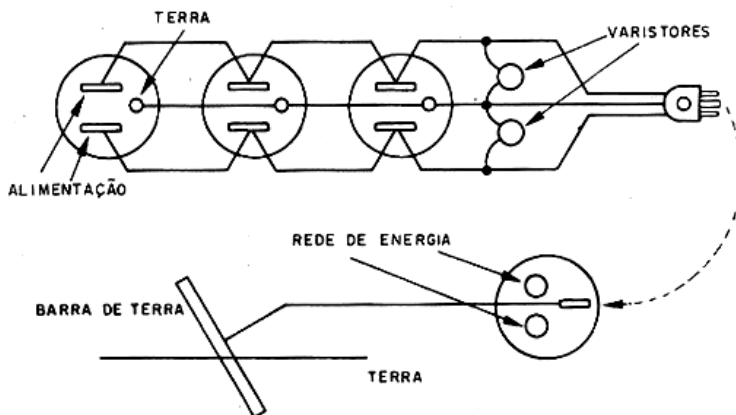


Figura 314 - A importância do aterramento

Isso significa que, sem a presença do fio terra, os varistores perdem sua capacidade de proteção, pois não há para onde escoar a energia absorvida da “sujeira” da rede.

É por este motivo que os cabos de entrada dos computadores, e de todos os equipamentos modernos sensíveis, possuem três fios: dois para a alimentação, e um terceiro para conexão à terra.

Essa conexão é feita por meio de um condutor grosso a uma barra de metal enterrada no solo.

9.2 - Transdutores de Efeito Hall

Determinados materiais semicondutores como o silício, germânio, algumas ligas de antimônio, óxidos de cobre e titânio apresentam propriedades elétricas que dependem da presença de campos magnéticos.

De fato, se tivermos um pedaço de material que apresente estas propriedades, e fizermos fluir uma corrente através dele, veremos que os portadores de carga podem ser fortemente influenciados em sua trajetória pela presença de um campo magnético externo, conforme o leitor poderá ver na figura 315.

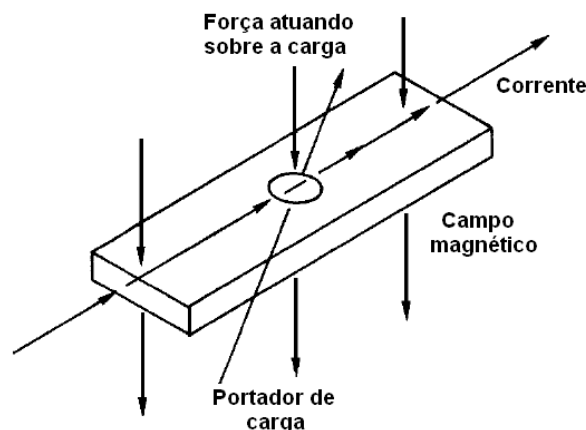


Figura 315 - Campos magnéticos atuam sobre correntes

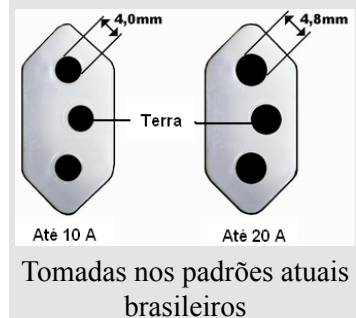
O resultado disso é que observamos que a resistência elétrica apresentada pelo material depende da presença do campo magnético aplicado. Este efeito sobre a movimentação dos portadores de carga é denominado “Efeito Hall”, e permite a elaboração de interessantes dispositivos eletrônicos denominados “sensores de efeito Hall”, os quais são encontrados em algumas aplicações importantes.

Estes pequenos componentes podem ser usados para acionar algum dispositivo em função da presença de campos magnéticos, por exemplo, um circuito de inversão de movimento quando de peça mecânica.

Outra aplicação é como sensor de corrente, sendo colocados junto a um fio condutor que alimenta uma carga, por exemplo. Quando a corrente na carga aumenta (um motor que trava, por exemplo), o campo em torno do fio aumenta e o sensor detecta esse aumento, desligando o circuito. Na figura 316 temos um desses dispositivos.

Novos plugues e tomadas

A norma NBR5410, que trata das instalações elétricas domiciliares e equipamentos alimentados pela rede de energia, prevê em seus plugues e tomadas um fio terra. Esse fio é de extrema importância, não só para proteger o próprio aparelho, como as pessoas que o utilizam. Para mais detalhes aguarde nosso Curso de Eletricidade - Instalações Elétricas



Tomadas nos padrões atuais brasileiros



Figura 316 - Um sensor Hall

A variação apresentada na condutividade ou resistência do componente depende da polaridade do campo magnético aplicado.

A outra aplicação para tais sensores, que podemos citar, são as ignições eletrônicas de automóveis. Em lugar de usarmos os tradicionais platinados, que são controlados por um eixo excêntrico movimentado pelo motor, temos simplesmente um pequeno ímã que gira de acordo com o motor, passando diante de um sensor de efeito Hall.

A cada passagem do ímã, o sensor tem sua resistência alterada, produzindo assim o pulso de comutação que aciona a ignição eletrônica, conforme a figura 317.

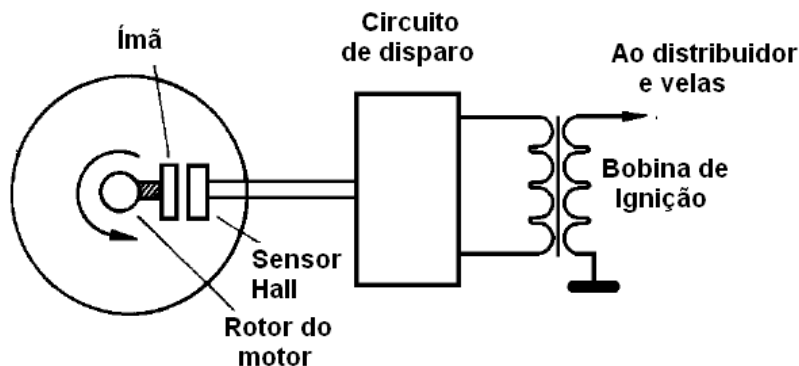


Figura 317 - Ignição automotiva com sensor de efeito Hall

Numa aplicação industrial, podemos dar como exemplo o controle de máquinas através da detecção do movimento de rodas dentadas, conforme mostra a figura 318.

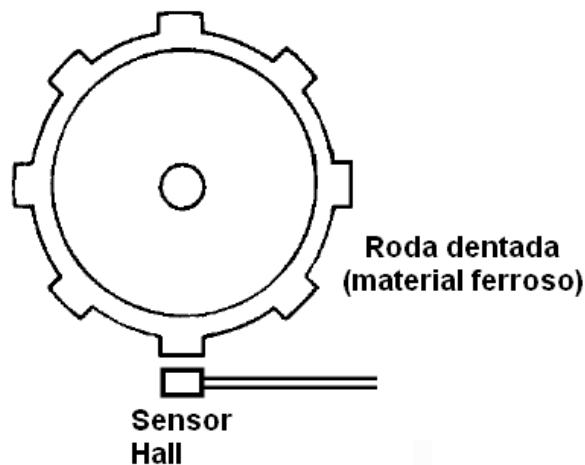


Figura 318- Monitorando o movimento de uma engrenagem

A cada passagem de um dente diante do sensor, um pulso é gerado, sendo usado para monitorar a rotação da engrenagem.

9.3 - VÁLVULA GEIGER-MULLER

É um dispositivo muito interessante que é usado nos detectores de radiação nuclear. Quando uma partícula ionizante de radiação nuclear, por exemplo, uma partícula Alfa (núcleo de hélio, formada por dois prótons e dois nêutrons e, portanto, carregada positivamente), ou ainda partículas Beta (elétrons), passam através de um gás em grande velocidade, elas provocam sua ionização tornando-os momentaneamente condutores de correntes elétricas, conforme o leitor poderá ver na figura 319.

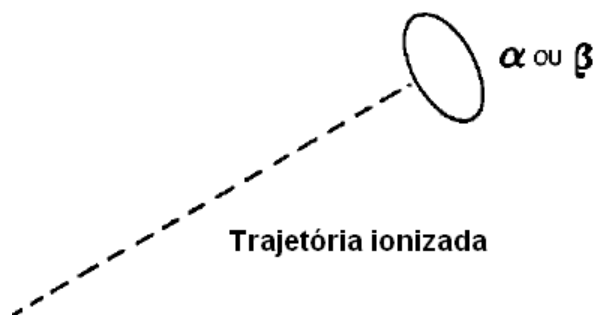


Figura 319- Partículas alfa e beta, deixam um rastro de ionização na sua passagem.

Baseado neste princípio funciona a válvula Geiger-Muller, que tem a estrutura que o leitor poderá ver na figura 320.

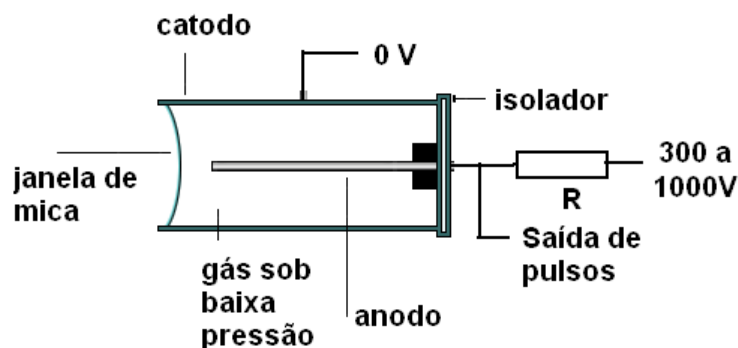


Figura 320 - Estrutura da válvula Geiger-Müller

A radiação deve penetrar por uma janela de mica, pois a mica é quase que transparente para as radiações alfa e beta, o que não ocorre com outros materiais como o vidro, plástico, etc. No interior do tubo existe gás sob baixa pressão e dois eletrodos que são submetidos a uma tensão muito alta, tipicamente entre 300 V e 600 V.

Com esta tensão o gás fica próximo de seu ponto de ionização, mas ainda não se comporta como um condutor, mas sim um isolante não havendo entre os eletrodos qualquer corrente perceptível.

No momento em que uma partícula ionizante (radiação) penetra no gás através da janela de mica, na sua trajetória ocorre a ionização e com isso, por um instante, o gás se torna condutor. Uma corrente pode então fluir entre os dois eletrodos. Um pulso de corrente é gerado e ele pode servir para disparar algum circuito externo.

Na figura 321 o leitor poderá ver um exemplo prático de circuito de Detector de Radiação ou Detector Geiger.

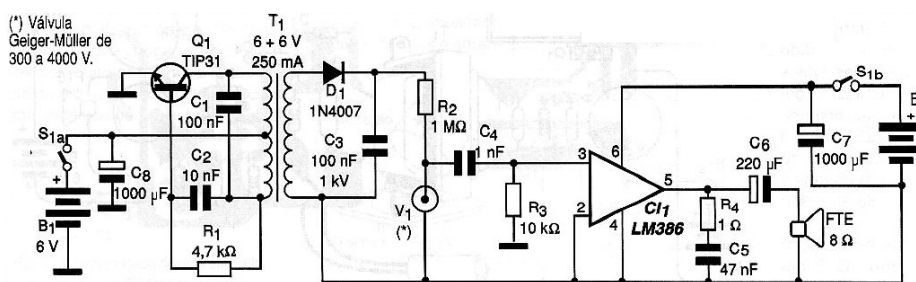


Figura 321 - O transistor deve ser dotado de um pequeno radiador de calor

O inversor permite gerar a partir de pilhas comuns ou baterias a alta tensão para os eletrodos do tubo. Os diodos retificam a corrente e o capacitor faz a filtragem, já que a operação deve ser feita com tensão contínua.

Como carga, o circuito tem um resistor onde aparecem pulsos de tensão sempre que uma partícula ionizante penetra no gás provocando sua ionização. Os pulsos são levados a um pequeno amplificador

de áudio, aparecendo então num alto-falante, ou fone, na forma de “cliques” audíveis.

Quanto maior for a intensidade da radiação, mais freqüentes serão as penetrações de partículas no sensor e, portanto, aumenta a freqüência de produção dos cliques no fone ou alto-falante, conforme mostra a figura 322.

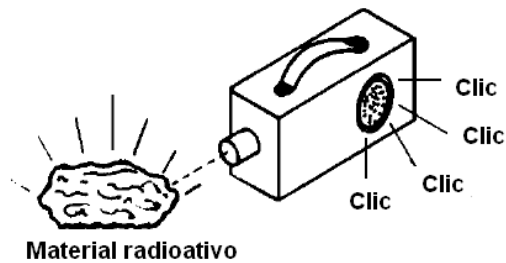


Figura 322 - Utilizando o detector de radiação

Se em lugar de um amplificador, usarmos um integrador, é possível “somar” os pulsos e ter uma indicação numérica num instrumento. Alguns tipos de aparelhos operam com este tipo de indicador conforme mostra a figura 323.



Figura 323 - Detector com indicador através de instrumento

Veja que a sensibilidade dependerá justamente do tamanho da janela e, evidentemente, da sua transparência. Existem outros dispositivos modernos que podem ser usados para detectar radiações nucleares. Um deles é o próprio diodo que, no entanto, deve ser adaptado para tal finalidade.

Existem então diodos de grande superfície que, ao serem expostos à radiação e polarizados no sentido inverso produzem pulsos a cada partícula ionizante que penetra na sua junção. Esta radiação

Dosímetros

São aparelhos portáteis utilizados para monitorar a exposição a raios X, radiação nuclear e outras, que podem afetar a saúde das pessoas. Normalmente, são utilizados por pessoas que trabalham em locais sujeitos à presença de radiação, como usinas nucleares, etc.



libera portadores de carga, produzindo então os pulsos que igualmente podem ser amplificados. Na figura 324 temos um exemplo de diodo deste tipo.



Figura 324 - Diodo sensor de radiação nuclear

9.4 - PILHAS SOLARES

Pilhas solares, fotocélulas, células solares ou ainda baterias solares, são os nomes usados para designar um mesmo tipo de dispositivo, capaz de converter energia luminosa (luz) em eletricidade. Estes dispositivos encontram uma larga gama de aplicações na eletrônica, tais como: satélites, iluminação noturna em locais sem energia (a célula é usada para carregar uma bateria durante o dia), carga de bateria em barcos e aviões, estações repetidoras, carga de celulares, etc.

O princípio de funcionamento de uma célula solar ou fotocélula é o seguinte:

Se luz incidir na junção PN entre dois materiais semicondutores, portadores de carga são liberados aparecendo entre os extremos do material uma tensão elétrica, conforme podemos ver na figura 325.

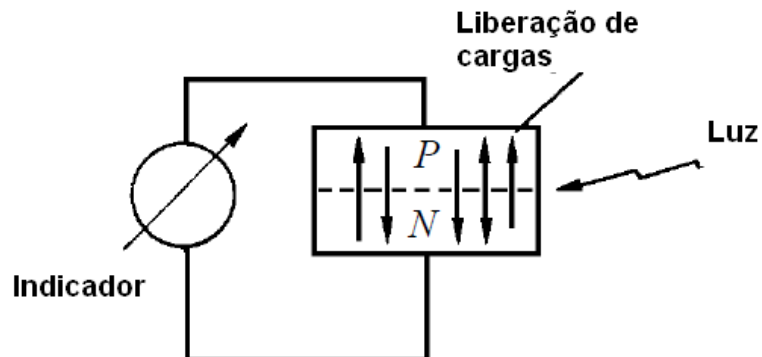


Figura 325 - A luz libera portadores de carga numa junção semicondutora

Independentemente da intensidade da luz, a tensão que aparece no material é sempre a mesma, dependendo apenas da natureza deste material. No entanto, com maior intensidade de luz temos mais por-

tadores de carga liberados e, com isso, a capacidade de corrente será maior.

Um simples transistor de silício, que tenha sua capa retirada, e seja exposta uma de suas junções, se transforma numa pequena célula solar, capaz de gerar uma tensão da ordem de 0,6 V, sob corrente de alguns miliampères.

No entanto, a superfície exposta a luz, de uma junção, é que determina a quantidade de energia que podemos converter em eletricidade.

Na iluminação solar máxima, que ocorre em torno do meio dia em países tropicais, obtemos mais de 1 kW de energia por metro quadrado. Todavia, a eficiência de uma célula solar é muito pequena, de poucos por cento, de modo que obtemos apenas alguns watts de energia elétrica, mesmo com uma célula que tenha junções expostas grandes.

Assim, para se obter boa quantidade de energia, as células são ligadas em conjunto, paralelo e série, de modo a formar painéis, conforme mostra a figura 326.



Figura 326 - Num painel solar, muitas células são ligadas em conjunto

Para termos maior rendimento, diversos são os recursos utilizados na produção da foto-célula.

O tipo mais comum é feito com silício monocristalino, partindo-se de um tarugo de silício puro, conforme a figura 327.

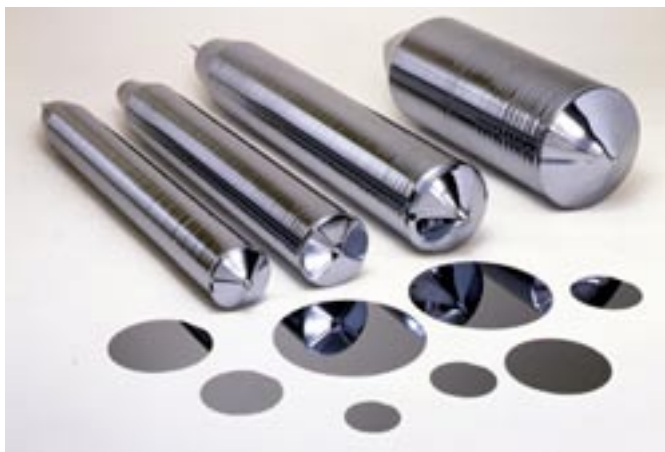


Figura 327 - Tarugos e wafers de silício monocristalino, usados na fabricação de células solares.

Este tarugo é cortado em fatias (wafers) que então são levadas a um processo de difusão num forno, formando-se uma fina camada de semicondutores de polaridades opostas nas faces. Desta forma, toda a superfície da fatia se torna uma junção que pode ser exposta à luz. Finos fios condutores são então dispostos em forma de rede sobre este material de modo a “colher” a energia elétrica gerada.

Um disco, como o que pode ser visto na figura 328, pode fornecer perto de 2 V de tensão sob correntes de até 200 mA sob iluminação direta do sol.

Célula solar e aquecimento solar

Não se deve confundir a célula solar com o aquecimento solar que é usado em muitas casas hoje em dia, e que não tem nada de elétrico. No aquecimento solar, o Sol aquece a água que é armazenada num reservatório que mantém sua temperatura. Não existe nenhum dispositivo que converte luz em energia elétrica neste sistema.



Figura 328 - Uma célula de silício pronta para uso

Painéis de grande potência podem ser então montados com a utilização de dezenas desses discos que são ligados em combinações série e paralelo, conforme as tensões e correntes necessárias às diversas aplicações práticas.

Infelizmente, um dos inconvenientes deste tipo de dispositivo é o custo. O rendimento das células é ainda é baixo em relação ao seu custo, de modo que seu uso ainda compensa apenas em condições em que não podemos usar qualquer outro tipo de fonte de energia.

Nos satélites, por exemplo, em que temos como única fonte externa de energia a luz do Sol, este tipo de gerador deve ser usado. Outra aplicação é em locais em que não possamos chegar com fios de uma rede elétrica, no alto de uma montanha, por exemplo, onde seja instalada uma estação repetidora temos outra possibilidade. Para uso doméstico, entretanto, o uso das células solares ainda está um pouco longe de ser uma realidade.

Na prática, entretanto, pequenas células solares podem fornecer energia para dispositivos de baixo consumo, como calculadoras, relógios, brinquedos, etc. Hoje já podemos ver no mercado diversos destes aparelhos funcionando somente com a luz ambiente, conforme o leitor poderá ver na figura 329.



Figura 329 - Aparelhos alimentados por energia solar

Outras Aplicações

A maioria dos equipamentos de uso doméstico tem consumo elevado, de modo que seria praticamente impossível que poucas fotocélulas conseguissem fazer sua alimentação. O custo das células necessárias a isso não compensaria. Por outro lado, o que se pode fazer é usar as fotocélulas para carregar baterias de um sistema de menor consumo como, por exemplo, um dos que vimos.

9.5 - MOSTRADORES DE CRISTAL LÍQUIDO

Letras, números e outros símbolos podem “aparecer” em pequenas telas feitas do material especial que vamos estudar neste item.

Há substâncias cujas moléculas apresentam certa polarização. Diferentemente da maioria das moléculas em que as cargas elétricas se distribuem de uma maneira mais ou menos uniforme, de modo que não temos uma predominância de uma carga positiva ou negativa em determinada direção, estas moléculas possuem um lado que é “mais positivo” que outro, conforme mostra a figura 330. .

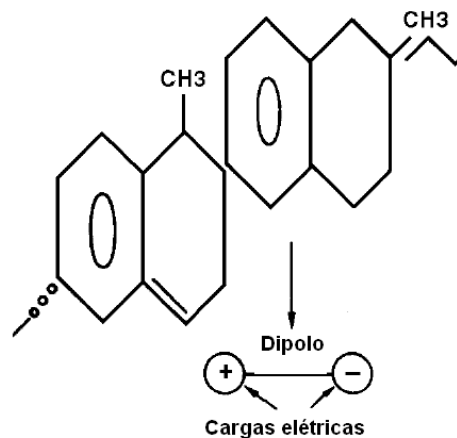


Figura 330 - Uma molécula orgânica que forma um dipolo natural

Interessa-nos substâncias deste tipo que existem na natureza, em condições normais de temperatura e pressão (condições ambientais), no estado líquido.

Assim, se tivermos um recipiente com certa quantidade deste líquido, as suas moléculas estão orientadas de maneira mais ou menos desordenada. Quando a luz penetra neste material, com as moléculas dispostas desordenadamente, ela sofre uma rotação no seu plano de polarização, conforme o leitor poderá ver na figura 331.

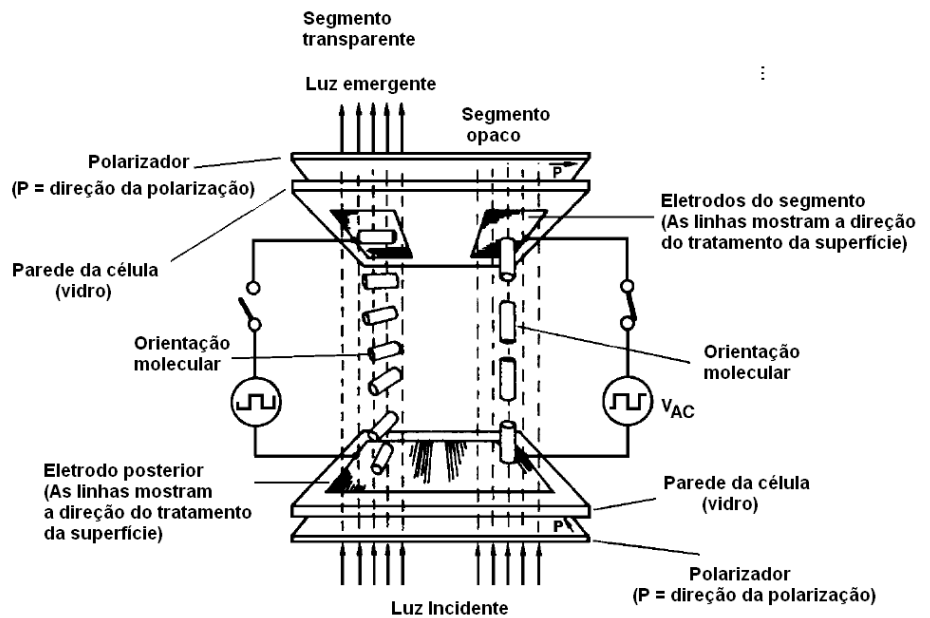


Figura 331 - Estrutura de um mostrador de cristal líquido

Lembramos que luz consiste em ondas eletromagnéticas, e como tal, possui um componente elétrica e uma magnética com determinada orientação. Existem materiais denominados “polarizadores” que deixam passar a luz polarizada apenas num determinado sentido.

Estes materiais podem ser usados em filtros de máquinas fotográficas para eliminar os reflexos, conforme o leitor poderá entender observando a figura 332, ou ainda na fabricação de óculos de sol, com a mesma finalidade.



Figura 332 - A ação do polarizador

Os raios refletidos possuem uma polarização num sentido único e os filtros são dispostos justamente no sentido de “negar” a luz com esta polarização.

Se na frente do material, com a substância que tomamos como exemplo, colocarmos um polarizador de tal forma que a luz que sofra uma rotação no material passe, observando-o deste lado, ele nos parecerá transparente, conforme o leitor poderá ver ao clicar na figura 333.

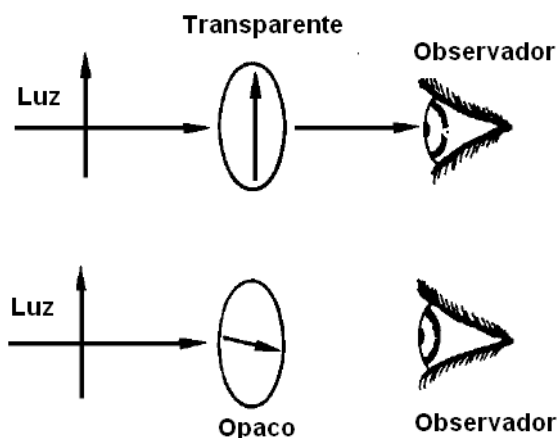


Figura 333 - Olhando através de um filtro polarizador

No entanto, se agora aplicarmos um campo elétrico neste recipiente, de tal forma que ele possa atuar sobre as moléculas que formam pequenos dipolos, o que ocorre é que estas moléculas vão girar e se orientar todas, no sentido de ficarem paralelas ao campo elétrico aplicado.

O resultado disso é que teremos uma espécie de “persiana” que se fecha e não mais atua sobre a polarização da luz que entra no recipiente. O resultado é que, não sofrendo a necessária rotação de polarização, a luz não mais passa pelo polarizador e quem está “do outro lado” passa a ver o material opaco ou escuro.

Existem três formas de conseguirmos “projetar” imagens usando então este material e que são mostradas na figura 334.

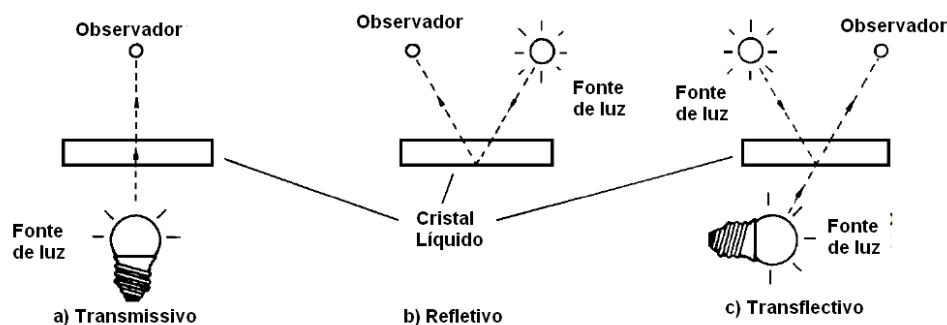


Figura 334 - Modos de utilização dos cristais líquidos

Numa delas usamos uma fonte de luz “por trás” de modo a controlarmos sua passagem em relação ao observador. É o processo transmissivo, mostrado na figura e que é usado nas telas dos lap-tops e note-books.

Na outra, denominada tipo refletivo, que encontramos na maioria das calculadoras e relógios, aproveitamos a luz ambiente. É o processo refletivo. Finalmente temos o processo em que tanto usamos uma fonte de luz por trás, como a própria luz ambiente.

Veja então que, se “fizemos zonas” que formam os segmentos de um número, e ligarmos estas zonas a fios onde possamos aplicar tensões que criem campos elétricos exatamente sobre elas, temos um dispositivo eletrônico de grande importância.

Os eletrodos que estão sobre os segmentos são transparentes e em número de 7. Combinando a aplicação de tensão nos 7 segmentos, podemos fazer com que apenas determinados deles “apareçam”, rodando o plano de polarização da substância líquida que está abaixo e que pode ser vista na figura 335.

Na prática

Displays de cristal líquido em forma de tela, pelo seu baixo consumo de energia, são ideais para diversos tipos de aplicações como, telefones celulares, iPads, iPods, televisores, monitores de vídeo, etc. De fato, estes dispositivos, que são alimentados por baterias não poderiam fazer uso, de cinescópios, como encontrados em televisores e monitores antigos.

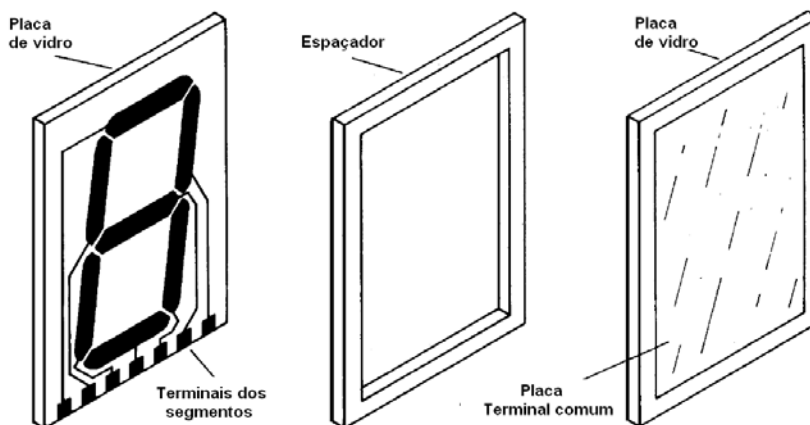


Figura 335 - Um display de 7 segmentos de cristal líquido

O resultado é que, facilmente podemos a partir de circuitos eletrônicos fazer aparecer os algarismos de 0 a 9. Segundo esse princípio funcionam os mostradores dos relógios e das calculadoras, com alguns elementos adicionais como símbolos gráficos e palavras (mensagens).

Se usarmos tensões contínuas puras, temos um processo de eletrólise que em pouco tempo estraga os eletrodos fazendo a substância interna perder suas propriedades.

A inversão constante de polaridade da tensão aplicada movimenta as moléculas evitando este processo. No entanto, para excitar tais mostradores precisamos de dispositivos especiais, ou seja, circuitos integrados especialmente projetados para esta finalidade. A principal vantagem deste tipo de mostrador em relação a outros tipos é o seu baixo consumo.

Para movimentar moléculas não precisamos “fazer força”, o que quer dizer que podemos fazer aparecer muitos caracteres num mostrador com um pequeníssimo gasto de energia. Isso torna este tipo de mostrador ideal para funcionar com aparelhos alimentados por pilhas.

9.6 - Outros dispositivos

Há muitos outros componentes de grande importância para as mais diversas aplicações eletrônicas.

Um fato que impede nossa abordagem mais profunda destes componentes é que eles são empregados em aplicações muito restritas, de modo que uma teoria, que explique seu funcionamento de maneira completa, seria extremamente longa e não caberia no espaço de que dispomos, além de fugir às nossas finalidades. O primeiro componente “extra” que apresentamos é o cristal de quartzo.

9.6.1 -Cristais

Os cristais de rádio frequência, cristais de quartzo, que também são abreviados por XTAL, são dispositivos que mantêm a frequência de oscilação de um circuito dentro de valores muito estreitos, com grande precisão. Na figura 336t emos o símbolo e os aspectos deste componente.



Figura 336 - O cristal de quartzo

O quartzo é um material piezoelétrico que gera uma tensão elétrica quando submetido a tensões mecânicas, sofrendo deformações mecânicas quando submetido a tensões elétricas.

Se colocarmos um cristal num circuito de realimentação de um oscilador, veremos que ele tende a vibrar numa frequência única que depende de seu formato, e de suas dimensões. Desta forma, podemos cortar um cristal de tal maneira que ele vibre numa frequência única.

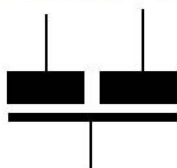
Usamos então os cristais em osciladores para fixar e manter sua frequência. Os transmissores, que devem ter frequências exatas de operação, usam para esta finalidade cristais em seus osciladores. Na figura 337 temos um oscilador a cristal com FET.

Aplicações diversas

Os cristais têm uma importância especial nos computadores e diversos circuitos digitais. São eles que determinam a velocidade de operação dos circuitos, pelos chamados osciladores de clock ou relógios. Assim, os computadores possuem osciladores controlados por cristais de quartzo que determinam a sua velocidade de processamento e também determinam a precisão de seu relógio interno.

Ressonadores cerâmicos

O mesmo efeito piezoelétrico manifestado nos cristais de quartzo pode ser observado em certas cerâmicas, que tanto são usadas para fabricar transdutores, como também ressonadores. Os ressonadores nada mais são do que dispositivos semelhantes aos cristais que, oscilando numa única frequência, podem ser usados nas mesmas funções. No entanto, são menos precisos.



Símbolo

Ressonadores cerâmicos - observe a marcação da frequência

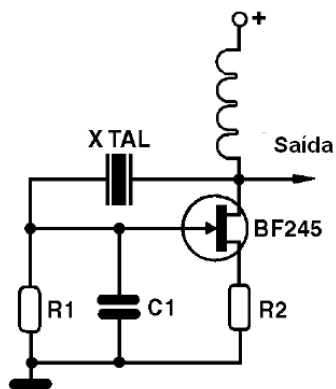


Figura 337 - Um oscilador controlado por cristal

Para que o leitor tenha uma idéia de até aonde vai a precisão de um cristal, basta dizer que as alterações em função da temperatura, e outros fatores que podem influenciar o funcionamento do cristal, são medidas em termos de ppm (partes por milhão)!

Os cristais também podem ser usados em filtros, deixando passar sinais de uma única frequência para a qual são cortados. Nos televisores analógicos em cores encontramos estes cristais no setor de codificação das cores.

Encontramos cristais à venda, nas frequências que vão de algumas centenas de quilohertz até dezenas de megahertz.

9.6.2 - Lâmpadas de xenônio

Este outro dispositivo eletrônico que merece ser analisado em nosso curso. A lâmpada de xenônio tem a estrutura que pode ser vista na figura 338.



Figura 338 - Lâmpada de xenônio - estrutura e aspectos

Esta lâmpada é formada por um tubo de vidro, reto ou curvado, contendo, no seu interior, o gás inerte xenônio. Temos também dois

eletrodos que ficam nos extremos do tubo internamente, e um terceiro eletrodo de disparo, que é preso externamente.

Os eletrodos internos ficam submetidos a uma tensão muito alta, normalmente proveniente da carga de um capacitor, da ordem de 300 V a 600 V. Mesmo com esta tensão, o gás ainda é isolante e nada acontece.

Quando um pulso de disparo obtido a partir de um transformador, com uma tensão mais elevada ainda, de 1 000 V a 2 000 V, é aplicado ao eletrodo de disparo, o gás no interior da lâmpada ioniza-se, conduzindo fortemente a corrente.

O resultado é a descarga total do capacitor, com a produção de um forte “flash” de luz que dura uma fração de segundo. Na figura 339 temos o circuito de disparo da lâmpada xenônio.

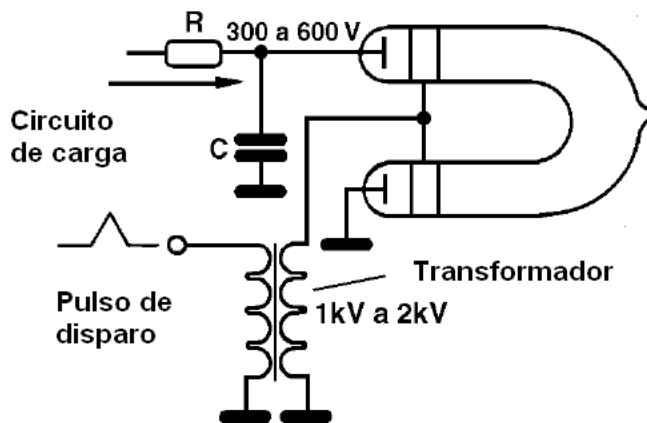


Figura 339- O circuito de disparo de uma lâmpada de xenônio

Para produzir novo “flash”, devemos carregar novamente o capacitor e, como em cada pulso de condução a corrente é extremamente intensa, a lâmpada não pode funcionar de maneira contínua. Por este motivo, as lâmpadas de xenônio são usadas apenas em aplicações em que precisamos de pulsos de luz de curta duração, como em sinalização (polícia, aviões, alto de torres), em flashes de máquinas fotográficas e nas luzes estroboscópicas usadas em festas e bailes.

As lâmpadas de xenônio são especificadas pela intensidade em Joules (J) do pulso de luz que podem produzir. Esta intensidade é dada pela energia armazenada no capacitor. Quanto maior o capacitor, e maior a tensão, maior será a intensidade do pulso produzido.

9.6.3 - ACOPLADORES ÓPTICOS

Quer melhor isolante entre dois circuitos do que o vazio do ar existente entre eles? Baseados neste princípio operam os chamados acopladores ópticos que têm símbolo e aspecto mostrados na figura 340.

LEDs x Flashes de Xenônio

Hoje podemos contar com LEDs de altíssimo brilho, capazes de produzir pulsos de luz muito intensos, de curta duração, exatamente como as lâmpadas de xenônio. Estes LEDs têm a vantagem de poderem operar com uma tensão muito mais baixa, podendo então ser incorporados a aplicativos como câmaras digitais, celulares com câmaras e dispositivos de sinalização.



Flash de LED num iPhone

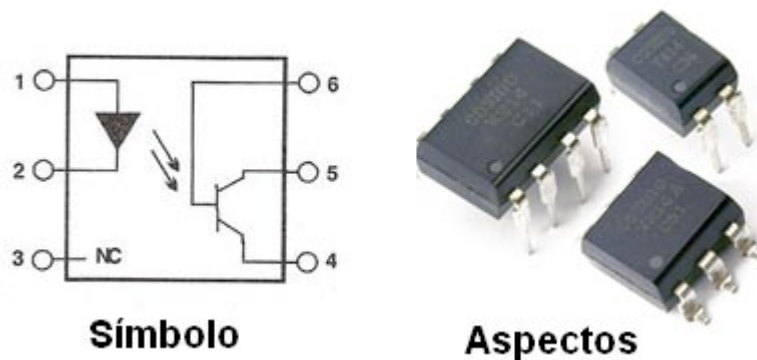


Figura 340 - Acoplador óptico com foto-transistor

Estes pequenos dispositivos consistem num emissor de luz, que pode ser um LED comum vermelho ou mesmo um LED infravermelho, e um foto-sensor, que pode ser um fotodiodo, um foto-transistor ou qualquer outro dispositivo sensível à luz. O conjunto fica encerrado num pequeno invólucro à prova de luz.

Acopladores com foto-diacs, foto-SCRs, foto-triacs também são comuns, mas eles deverão ser abordados mais profundamente no nosso volume que trata de eletrônica de potência, controle e automação.

É fácil perceber que só teremos saída de sinal no fotodiodo, ou foto-transistor, quando o LED for acionado. Em outras palavras, o sinal aplicado ao LED “passa” para outro lado, o foto-sensor, na forma de luz, aparecendo em sua saída.

O isolamento entre a entrada e a saída é total, pois entre o foto-emissor e o foto-sensor não existe conexão elétrica alguma.

A alta velocidade de operação do LED, e também do sensor, permitem a transferência de sinais, de um lado para outro do dispositivo, com grande velocidade, conforme mostra a figura 341.

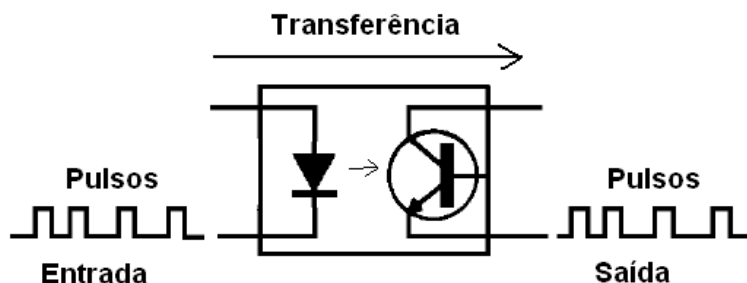


Figura 341 - Transferência de sinal com um acoplador óptico ou opto-acoplador

Os foto-acopladores ou opto-acopladores podem ser usados numa grande quantidade de aplicações importantes.

Dentre as aplicações citamos a transmissão de dados para computadores através de circuitos próprios isolados, o controle de dis-

positivos de potência a partir de sinais vindos de circuitos de baixa potência que precisem ser isolados. Uma aplicação importante dos opto-acopladores pode ser encontrada nos circuitos das fontes de alimentação chaveadas, encontradas em PCs e muitos outros equipamentos de consumo e mesmo profissionais.

Um opto-acoplador tem o emissor (LED) ligado na saída da fonte de modo que a quantidade de luz dependa da tensão. O sensor do opto-acoplador é ligado ao circuito de controle da fonte. Quando a tensão na saída tende a variar, a luz do LED varia e o sensor transmite esta informação ao circuito de controle. O circuito de controle reage então de modo a restabelecer o valor desejado da tensão de saída.

A grande vantagem deste circuito é que a sua saída de baixa tensão, que alimenta os circuitos, está isolada do circuito de entrada, que é ligado na rede de energia. Este isolamento, mais o isolamento do transformador, garantem então a segurança dos circuitos do equipamento. Tocando em qualquer circuito do equipamento alimentado, depois da fonte, por este motivo não existe perigo de choques, mesmo que eles estejam ligados.

Relés de estado sólido

Em muitas aplicações os acopladores ópticos podem fazer às vezes de relés sendo, por este motivo, também definidos como “relés de estado sólido”. O emissor faz (LED) faz as vezes da bobina, e o sensor, que pode ser um dispositivo de potência como um opto-diac, opto-triac ou mesmo um transistor, controla a carga externa, fazendo as funções dos contatos.

9.6.4 - Chaves ópticas

Semelhantes aos acopladores ópticos são as chaves ópticas, que também são formadas por um emissor de luz (LED) e um receptor, que pode ser tanto um foto-transistor como um fotodiodo.

A diferença é que entre eles existe uma abertura por onde pode passar um objeto que interrompa a passagem da luz, conforme o leitor poderá verificar na figura 342.

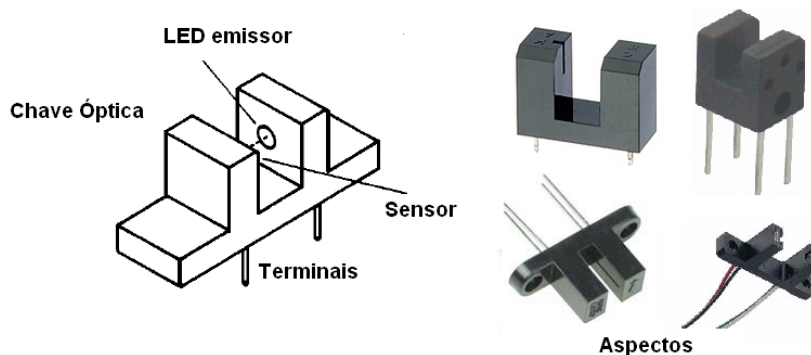


Figura 342 - Tipos de chaves ópticas

Desta forma, mantendo o LED ativado, a presença de sinal na saída do sensor vai depender da passagem de um objeto pela abertura existente na chave.

Uma aplicação importante deste dispositivo é no controle de máquinas ou ainda acionamento de instrumentos, a partir de rodas perfuradas, discos denteados, ou mesmo objetos que possam passar rapidamente pela abertura do dispositivo. Sua velocidade de ação per-

mite detectar a passagem de milhares, ou mesmo centenas de milhares de dentes ou objetos, pela abertura em cada segundo.

9.6.5 - O Tubo de raios catódicos

Um componente, que foi de enorme importância na Eletrônica, e que é a base da televisão e dos monitores de vídeo dos computadores mais antigos, é o Tubo de Raios Catódicos ou abreviadamente TRC.

Se bem que este componente tenda a desaparecer, substituído por displays de tecnologias mais modernas, como os de cristal líquido (LCD) e LEDs, é importante conhecer seu princípio de funcionamento, tanto pelo valor histórico, como pelo fato de que ainda existem equipamentos em funcionamento que os utiliza.

Este tubo tem a estrutura mostrada na figura 343, a partir de onde explicaremos o seu princípio de funcionamento.

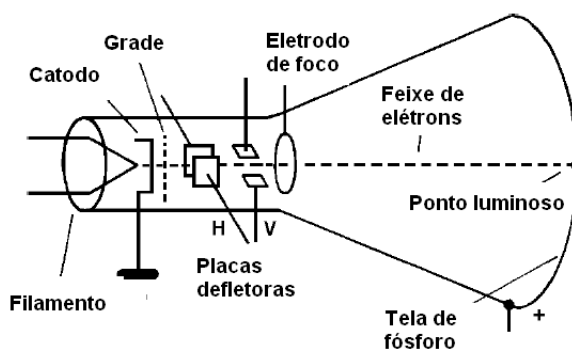


Figura 343 - Estrutura de um tubo de raios catódicos

No “pescoço” do tubo existe um canhão de elétrons, ou raios catódicos, que na parte interna leva um filamento de tungstênio o qual é aquecido por uma baixa tensão (como uma válvula).

Este filamento aquece um catodo que é feito de material tal que, submetido a uma tensão negativa, pode liberar com facilidade uma grande quantidade de elétrons.

Como a extremidade oposta do tubo (tela) é submetida a uma forte tensão positiva, os elétrons que são liberados pelo catodo são atraídos com grande força. O resultado é um efeito semelhante ao disparo de um “canhão”, em que elétrons são disparados em direção à tela.

Estes elétrons disparados são concentrados na forma de um fino feixe através meio de uma espécie de lente, que nada mais é do que um eletrodo interno carregado com certa tensão, ou então através de bobinas colocadas no “pescoço” do tubo.

Veja que, uma vez disparados, os elétrons podem ter sua trajetória mudada, tanto pela ação de campos elétricos, bastando para isso colocar placas ou eletrodos carregados no seu caminho, como pela ação de bobinas, conforme o leitor poderá na figura 344.

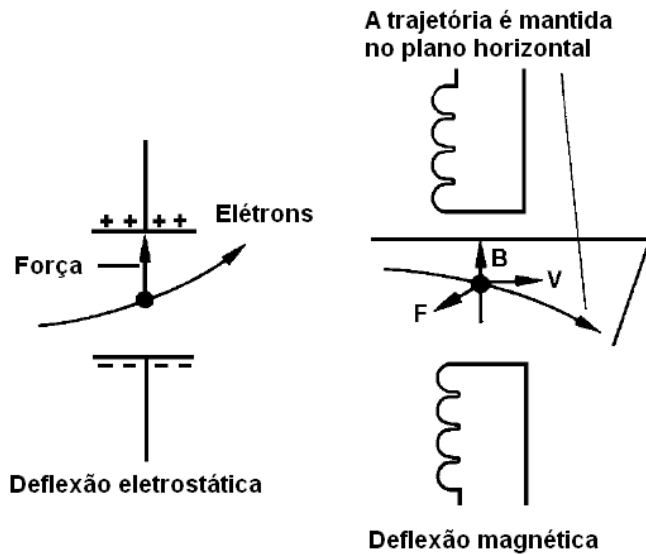


Figura 344 - Dois tipos de deflexão

No caso de campo elétrico, os elétrons se deflexionam em direção as placas positivas, pois possuem carga negativa e pólos diferentes se atraem.

No caso dos campos magnéticos a modificação da trajetória se faz pela combinação vetorial da direção de deslocamento, com a direção do campo magnético.

O fato é que podemos então “focalizar” o feixe de elétrons num determinado ponto da tela, usando tais elementos.

A tela é recoberta com uma fina camada de fósforo que, ao receber o “impacto” dos elétrons, torna-se luminosa. Assim, no pequeno local em que incide o feixe de elétrons, aparece um ponto ou mancha clara, dependendo da maior ou menor focalização, conforme mostra a figura 345.



Figura 345 - Ponto de imagem na tela de fósforo

Mas, ainda temos eletrodos adicionais que são colocados na trajetória dos elétrons. Temos ainda dois conjuntos de placas que são

dispostas horizontalmente e verticalmente e que, pela aplicação de tensões elétricas, podem deslocar para esquerda e direita o feixe de elétrons, ou ainda para cima e para baixo, conforme o leitor poderá observar na figura 346.

Movimentos possíveis do ponto na tela

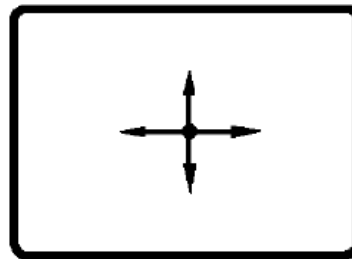


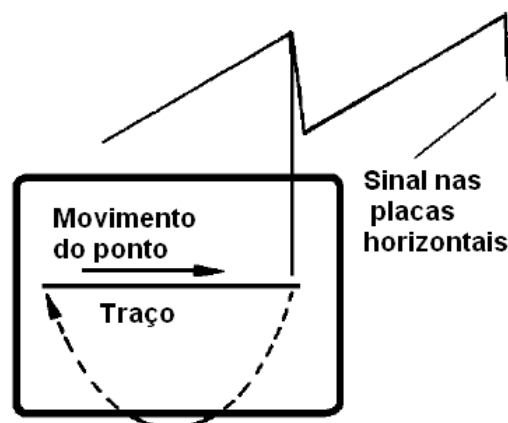
Figura 346 - Movimentos do ponto de imagem

Desta forma, com a utilização de tensões apropriadas nos dois conjuntos de placas de deflexão horizontal e vertical, podemos fazer com que o feixe de elétrons incida em qualquer ponto da tela.

Finalmente, temos uma grade de controle que pode determinar a quantidade de elétrons que “passam” pelo local, influenciando assim na intensidade do ponto luminoso.

Estas possibilidades de controlarmos um ponto luminoso numa tela, exclusivamente a partir de meios elétricos, nos levam a duas importantes aplicações práticas para os tubos de raios catódicos: os monitores de vídeo/televisão analógicos e o osciloscópio.

No caso do osciloscópio, as placas horizontais são ligadas a uma base de tempo que consiste num oscilador que gera um sinal dente de serra, conforme o leitor poderá ver na figura 347.



O ponto volta rapidamente ao canto esquerdo da tela

Figura 347 - Gerando um traço contínuo na tela

Assim, o ponto, desloca-se da esquerda para a direita com uma velocidade constante na tela e depois, quando chega ao final da trajetória, quando a tensão cai, volta tão rapidamente para a direita que não o vemos (alguns circuitos “apagam” o ponto nesta trajetória de volta), para que no ciclo seguinte ele repita o mesmo trajeto da esquerda para a direita.

O resultado prático disso é o aparecimento de uma linha reta na tela, pois o fósforo usado tem certa persistência, não apagando de imediato.

Quando então aplicamos nas placas verticais um sinal qualquer, por exemplo senoidal, ao mesmo tempo em que o ponto descreve a trajetória da esquerda para direita, ele também faz uma trajetória no sentido vertical que corresponde ao sinal, ou seja, uma senóide. O resultado final é o aparecimento na tela do aparelho da senóide, conforme poderemos observar na a figura 348.

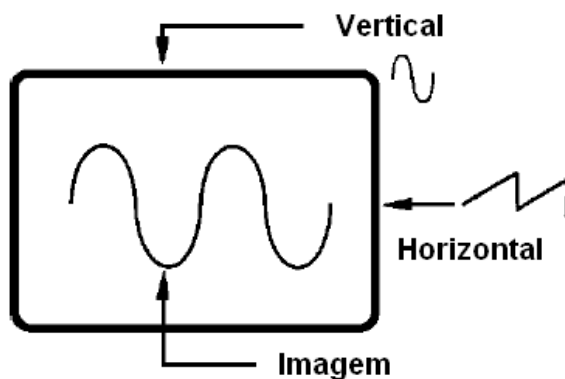


Figura 348 - Gerando uma senóide

Verificamos que, qualquer que seja a forma de onda do sinal aplicado nas placas verticais, ela será projetada na tela pelo movimento do ponto luminoso. Podemos então visualizar no osciloscópio formas de onda de sinais elétricos, o que torna este aparelho de extrema utilidade na oficina.

Os cinescópios em cores possuem, na verdade, três canhões, já que precisam gerar feixes que correspondam às três cores que, combinadas, resultam em todas as outras. Veja que os elétrons não têm cores: as cores são obtidas a partir de fósforos que emitem luz de cores diferentes quando recebem o impacto dos elétrons.

As tensões necessárias ao funcionamento destes cinescópios (tubos de raios catódicos) são muito elevadas, da ordem de dezenas de milhares de volts. Trata-se, portanto, de um componente que deve ser manuseado com extremo cuidado pelos técnicos reparadores.

Como a velocidade de movimentação no sentido horizontal é muito maior que no vertical, o resultado é que a tela se enche de linhas paralelas. Os circuitos que fazem isso no televisor são denominados de varredura.

Persistência

É graças a persistência retiniana que existe a TV e o cinema. As imagens que vemos “persistem” em nossa retina por um intervalo de fração de segundo. Assim, quando as imagens de uma tela de TV ou cinema, que trocam 60 vezes por segundo, mudam, nossos olhos não acompanham a mudança e “emendamos” a imagem, vendo uma só em movimento. Os cinescópios de TV e osciloscópio usam fósforos que têm uma certa persistência, justamente para que a imagem se mantenha por fração de segundo, dando tempo de ser completada na tela.

Osciloscópio digitais

Existem hoje osciloscópios que operam de forma diferente com mostradores de cristal líquido ou ainda LEDs. Nestes osciloscópios, as imagens são amostradas, processadas e apresentadas na tela de forma diferente.

Modulando então o feixe, de modo a obter instantes de claros e escuros de acordo com informação transmitida pela estação, podemos reproduzir imagens, o que é mostrado na figura 349.



A imagem é formada por linhas (traços) que varrem a tela

Figura 349 - Formando uma imagem num cinescópio de raios catódicos

Os ciclos de varredura se repetem tão rapidamente que não vemos sua mudança, e isso nos dá a sensação de continuidade ou movimento da imagem.

Na televisão analógica em cores, como nos monitores dos computadores, existem três canhões que disparam feixes de elétrons que incidem em pontos diferentes da tela que são recobertos com fósforo de cores diferentes (vermelho, verde e azul). A combinação das 3 cores gera imagens com todas as outras, conforme poderemos entender observando a figura 350.

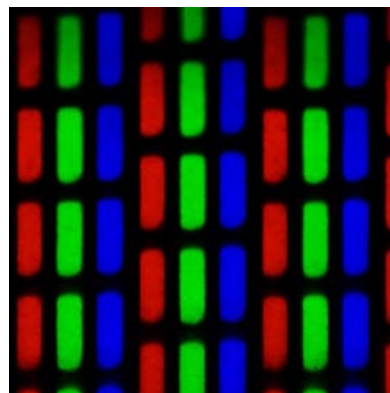


Figura 350 - Pontos de imagem da tela de um cinescópio.

9.6.6 - Diodos Laser

Um componente que merece destaque é o diodo Laser, encontrado nos leitores de CD, DVDs e em muitas outras aplicações.

Conforme estudamos, os LEDs são diodos diferentes que se caracterizam por emitirem luz visível ou infravermelha quando são percorridos por uma corrente no sentido direto. Projetando de forma

bastante crítica o formato do diodo, acrescentando-lhes impurezas apropriadas e dotando-lhe ainda de um sistema refletor que forme uma cavidade ressonante, o diodo emissor de luz comum pode se tornar um diodo Laser. Na figura 351 temos a estrutura de um diodo Laser.

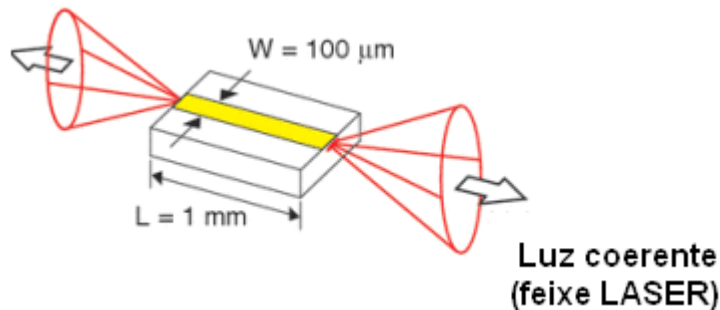


Figura 351 - Estrutura de um diodo laser

Na figura 352 temos alguns tipos comuns de diodo laser, como os encontrados em laser pointers.



Figura 352 - Diodos laser

LASER significa Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação.

Explicando melhor, o diodo laser consegue produzir feixes muito estreitos de luz ou radiação infravermelha de um comprimento único de onda com propriedades excepcionais.

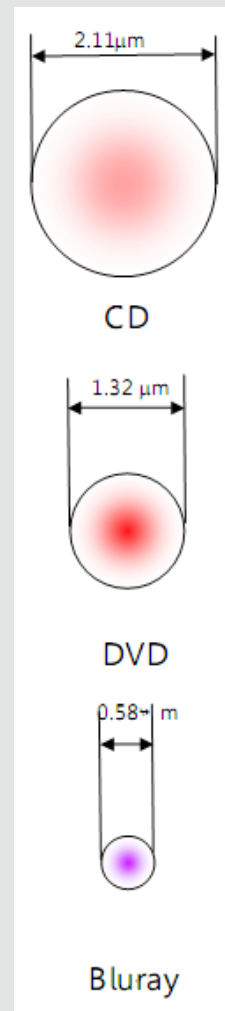
No caso dos CD musicais, DVDs ou CD-ROM, a leitura das informações é feita por um sistema que inclui dois componentes muito importantes que merecem destaque.

Um deles é o diodo laser que emite em direção ao disco um estreito feixe de radiação infravermelha. As informações no CD ou DVD estão gravadas na forma de elevações e afundamentos microscópicos que podem alterar o modo como a luz do laser se reflete.

No Blu-ray o diodo emissor é azul, com um comprimento menor de onda, pode ler informações gravadas mais densamente.

Laser azul

O azul tem menor comprimento de onda que o vermelho usado nos leitores de CDs e DVDs. Assim, com este tipo de laser pode-se gravar pixels menores no disco, aumentando sua quantidade. Desta forma, obtém-se uma capacidade de armazenamento muito maior, nesta modalidade de DVD.



Um foto-diodo ou um foto-transistor ligados a um sistema óptico muito preciso consegue focalizar as elevações e afundamentos denominados “pits”, convertendo-os em impulsos elétricos que são interpretados pelos circuitos como bits gravados.

Desta forma o drive consegue ler as informações gravadas no disco por meio de um LASER, daí sua denominação de CD-laser que também é usada.

Diodos emissores de luz e foto-sensores (diodos ou transistores) também são usados para detectar se o furo de proteção contra gravação de um disquete está aberto ou fechado, se um mecanismo numa impressora ou scanner está numa determinada posição, e em muitas outras aplicações.

Em alguns mouses, a posição de seu deslocamento é obtida pela movimentação de um disco perfurado diante de um diodo emissor de luz, e um foto-sensor de modo a produzir impulsos que indicam como ele se move.

9.6.7 - Motores de Passo

Muitos equipamentos industriais, eletro-eletrônicos que possuem partes móveis, drives de disquetes, impressoras, scanners e alguns outros dispositivos automotivos fazem uso de um tipo especial de motor denominado “motor de passo”.

Diferentemente dos motores comuns, que giram sem parar quando lhes aplicamos alimentação, o motor de passo é um motor que gira controlado por impulsos, e pode parar em uma determinada posição que depende dos impulsos aplicados.

Isso significa que o motor de passo pode ser levado a qualquer posição de seu giro, controlado por sinais vindos diretamente de um circuito digital.

Esta importante propriedade dos motores de passo os torna ideais para aplicações em que se exige precisão no posicionamento de uma peça.

É o caso de alguns dispositivos usados no computador como, por exemplo, os drives que devem girar numa velocidade precisa, um mecanismo de uma impressora que deve ser colocado numa posição exata ou mesmo um braço de robô num automatismo controlado pelo computador.

Na figura 353 mostramos um motor de passo típico em corte, do tipo quadripolar que possui duas bobinas com derivações.

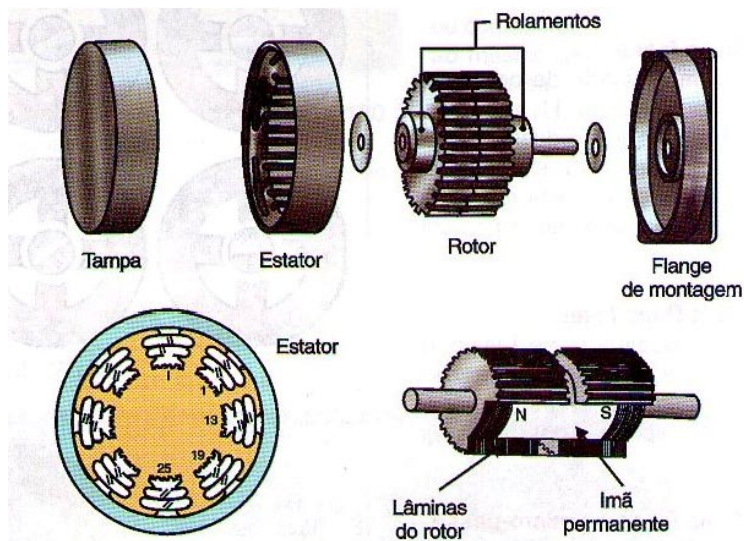


Figura 353 - Um motor de passo em corte

A maneira como essas bobinas são excitadas determina o modo como ele gira ou se posiciona. Os tipos mais comuns são os de 12 V que são excitados por correntes até 500 mA.

Os motores de passo não se destinam a movimentar dispositivos pesados ou de alta velocidade, mas sim dispositivos leves e de alta precisão.

Motores de passo

Dada a importância deste componente, ele será estudado mais profundamente no volume que trata de automação e controle.

Termos em Inglês

Temos diversos termos importantes neste capítulo.

Liquid crystal display - LCD ou display de cristal líquido

Particle - partícula

Photocell - foto-célula

Hall Effect - efeito hall

Varistor - varistor

Geiger tube - válvula Geiger

7 segment display- display de 7 segmentos

Ceramic resonator - ressonador cerâmico

Xenon lamp - lâmpada de xenônio

Optocoupler - acoplador óptico

Solid state relay - SSR - relé de estado sólido

Cathode Ray tube - CRT - tubo de raios catódicos

Termos para pesquisa

* LCD

* Energia solar

* Radiação nuclear

* Surtos e transientes

* Ressonância

* Efeito Hall

* Flashes de xenônio

QUESTIONÁRIO

1. De que grandeza elétrica depende a resistência apresentada por um varistor?

- a) tensão
- b) corrente
- c) temperatura
- d) frequência

2. Em que dispositivo do automóvel encontramos um sensor de efeito Hall?

- a) sistema de ignição
- b) indicar de temperatura
- c) controle de nível de óleo
- d) acionamento da ventoinha

3. Quais são os tipos de radiação ionizante detectadas por uma válvula Geiger?

- a) infravermelho
- b) ultravioleta
- c) raios X
- d) radiação atômica

4. De que são feitas as pilhas solares?

- a) silício
- b) selênio
- c) germânio
- d) arseneto de gálio

5. Que propriedade importante apresentam as moléculas das substâncias usadas como cristais líquidos?

- a) são despolarizadas
- b) são polarizadas
- c) são neutras
- d) são simétricas

6. O que podemos afirmar sobre o consumo de energia de um mostrador de cristal líquido?

- a) é alto
- b) é variável
- c) é baixo
- d) é muito alto

7. Quais são os emissores normalmente usados nos acopladores ópticos?

- a) lâmpadas
- b) LEDs vermelhos
- c) LEDs infravermelhos
- d) lâmpadas neon

8. Por que usamos Laser azul no bluray?

- a) É mais rápido
- b) É mais barato
- c) Tem menor comprimento de onda
- d) É mais potente



» Os circuitos integrados

Nos capítulos anteriores vimos diversos tipos de componentes que são utilizados na elaboração dos circuitos eletrônicos. Cada componente é fabricado era usado de uma maneira diferente, o que de certa forma consistia num obstáculo para a obtenção de aparelhos muito complexos, ou compactos. No entanto, graças à tecnologia avançada dos circuitos integrados, conseguimos fabricar, num processo único, componentes diferentes e, mais do que isso, colocá-los já interligados num invólucro de reduzidas dimensões. Pastilhas de silício ou chips, contendo milhares ou mesmo milhões de transistores, diodos, resistores e outros elementos são hoje uma realidade, possibilitando a construção de aparelhos tremendamente complexos em gabinetes de reduzidas dimensões, como os telefones celulares, calculadoras, DVD players, computadores, periféricos, microcontroladores e muitos outros. Neste capítulo veremos como são fabricados os circuitos integrados e como usar estes componentes. Veremos também os seus tipos e suas limitações. Este capítulo consta dos seguintes itens:

- 10.1 - Integrando componentes
- 10.2 - O circuito integrado
- 10.3 - Tipos de circuitos integrados
- 10.4 - Identificação de terminais
- 10.5 - Invólucros
- 10.6 - Componentes SMD
- 10.7 - Com usar integrados
- 10.8 - Como testar integrados
- 10.9 - Circuitos integrados na prática

10.1 - Integrando componentes

Os componentes que encontramos nas montagens eletrônicas, tais como transistores, diodos, capacitores, resistores, indutores etc., são fabricados segundo processos diferentes, cada qual com seu invólucro, que às vezes ocupa um espaço muito maior do que o componente em si.

Assim, no caso de um transistor, o componente em si, ou seja, o elemento ativo, consiste numa pequena pastilha de silício com dimensões de apenas fração de milímetro ou pouco mais de milímetro, para os tipos de potência, colocada no interior de cápsulas muitas vezes maiores, com terminais ainda maiores, conforme poderemos ver na figura 354.

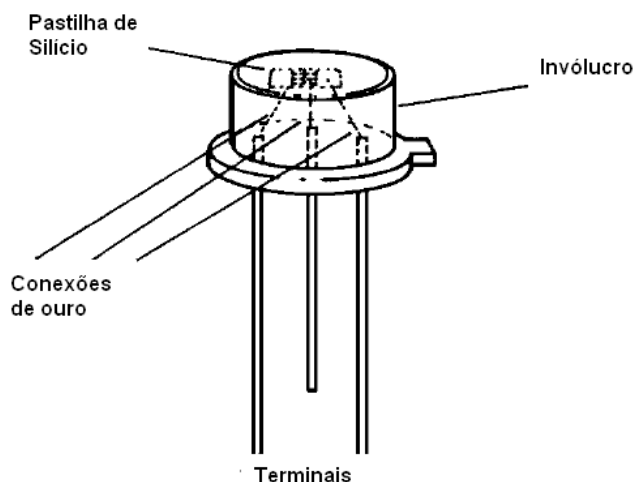


Figura 354 - O elemento ativo é apenas uma pequena pastilha num grande invólucro

Do mesmo modo, diodos, resistores e até capacitores possuem invólucros que correspondem a uma porcentagem razoável do elemento ativo em si. Se levarmos em conta isso, veremos que na elaboração de um determinado equipamento, uma boa parte do espaço ocupado não corresponde aos elementos ativos em si, mas sim aos invólucros dos componentes que são grandes e pesados.

Outro ponto negativo a ser considerado quando examinamos os componentes isoladamente é que, além de termos uma diversificação muito grande de processo, para obter cada tipo de componente, existe o trabalho adicional de termos de montar e soldar todos os componentes, um a um, de modo a obter o circuito desejado, conforme mostra a figura 355.

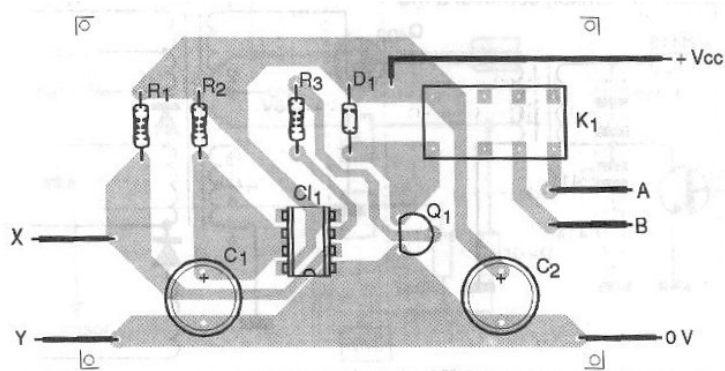


Figura 355 - Uma montagem completa de um circuito eletrônico

A idéia de se “fabricar” os componentes num processo único, e antes mesmo de encapsulá-los num invólucro único, já com as interligações para obter o aparelho ou circuito desejado, é bem antiga.

Já no tempo das válvulas houve uma tentativa neste sentido com a chamada “válvula integrada”, que é mostrada na figura 356.

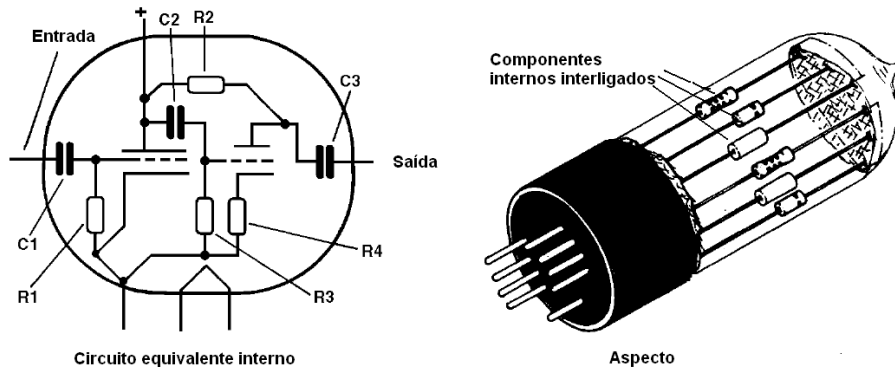


Figura 356 - A válvula “integrada”

O que se fazia, era montar no interior do invólucro de vidro os resistores e capacitores nas posições que resultassem num circuito amplificador completo, de modo a não se necessitar de elementos externos adicionais.

A “válvula integrada” era, na realidade, um amplificador de dois estágios (dois triodos), podendo ser usada em amplificadores de áudio ou receptores de rádio. A idéia básica era válida, mas havia algumas dificuldades na obtenção de um componente prático: a válvula trabalhava muito quente e, estando resistores e capacitores montados no seu interior, eles não resistiam a este aquecimento, deteriorando-se rapidamente.

Com o advento do transistor, que trabalha frio e tem dimensões muito menores que a válvula, a possibilidade de se obter a integração de componentes se tornou mais fácil.

Assim, numa primeira etapa, o que se fazia era fabricar diversos transistores numa única pastilha de silício. Estes transistores podiam ser isolados para uso independente, tendo apenas a base (substrato) em comum, ou, em alguns casos, já interligados de certa forma de modo a se obter um “Darlington”, ou então com outra forma de acoplamento, conforme o leitor poderá ver na figura 357.

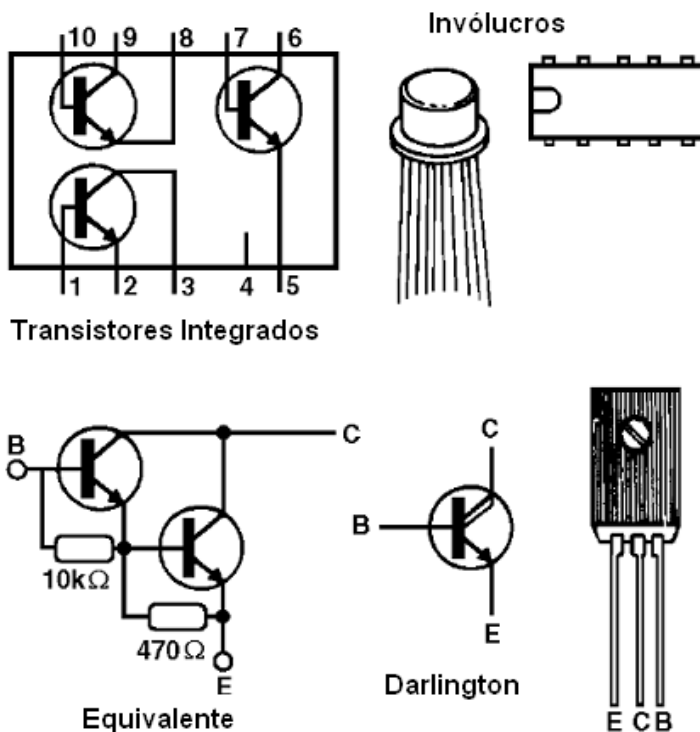


Figura 357 - Os primeiros circuitos integrados

Nesta figura também mostramos o encapsulamento, que então passava dos “3 terminais”, para um maior número deles. Estes encapsulamentos, que inicialmente eram metálicos redondos, logo evoluíram para um tipo de invólucro mais prático e que hoje é o mais comum de todos pela sua versatilidade e facilidade de uso, que é o Dual In Line (Duas filas de terminais paralelas), ou abreviadamente DIL.

Este invólucro também é abreviado por DIP e Dual In-Line Package, conforme poderemos ver na figura 358. Veja então que, nestes integrados, o componente em si, ou seja, a pastilha que possui os transistores, ocupa ainda um espaço muito pequeno no interior do invólucro, sendo ligada aos terminais por meio de finíssimos fios de ouro.

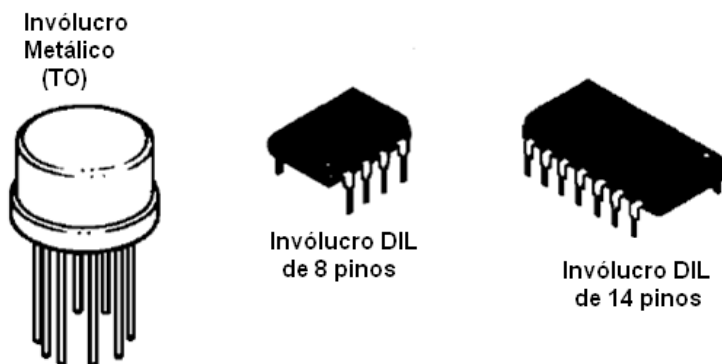


Figura 358 - Os primeiros invólucros mais comuns

Para estes primeiros integrados, entretanto, muitos componentes adicionais para se obter o aparelho desejado ainda precisavam ser ligados externamente e ser do tipo comum, como resistores, capacitores, indutores, etc., conforme o leitor poderá ver na figura 359.

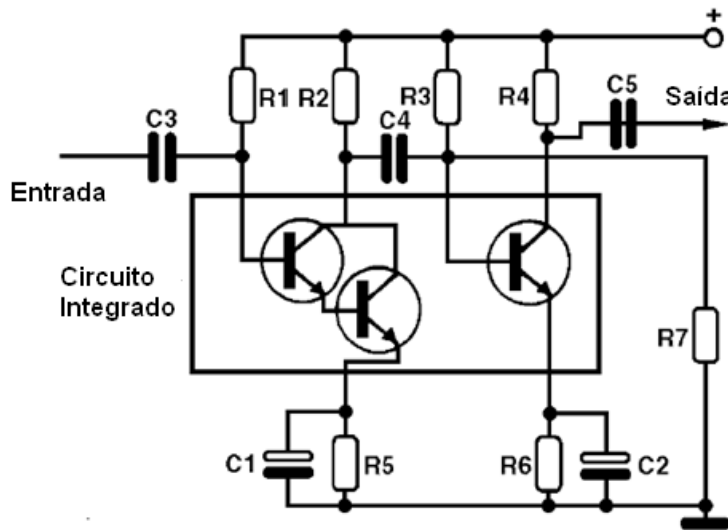


Figura 359 - Componentes passivos ainda eram ligados externamente

O passo seguinte foi a integração de outros componentes, ou seja, a montagem na pastilha de silício de outros elementos como diodos, resistores, etc.

Para um diodo não existem dificuldades. Se podemos formar numa pastilha de silício duas junções, dando assim origem a um transistor, na mesma pastilha podemos formar uma única junção, e assim ter um diodo, conforme mostra a figura 360.

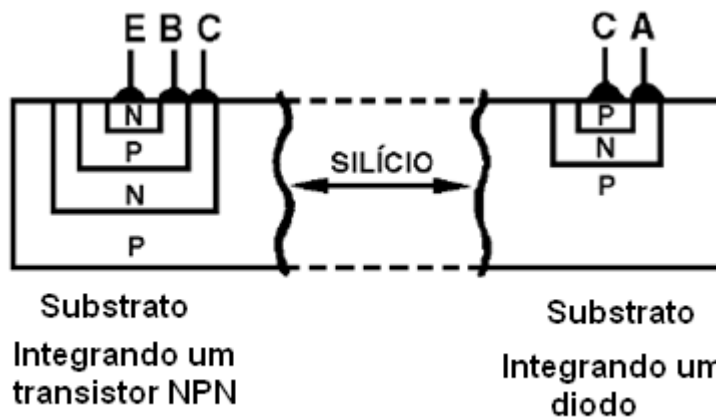


Figura 360 - Integrando um diodo e um transistor

Veja que é fácil isolar um componente de outro, fabricado na mesma pastilha. Basta que entre eles seja formada uma junção que, no funcionamento normal do componente, seja polarizada no sentido

Jack Kilby

Inventor do circuito integrado em 1958. Trabalhando na Texas Instruments, ele pela primeira vez montou mais de um transistor numa única pastilha de silício, formando assim um circuito integrado. Kilby ganhou o Prêmio Nobel pela sua invenção.



inverso para que nenhuma corrente passe por ela e, portanto, ela se constitua num isolamento entre componentes.

O próprio substrato ou base em que é montado todo o circuito leva em conta isso. Sua polaridade é tal, que ele forma com todos os componentes uma junção que, em funcionamento normal, fica polarizada inversamente. Desta forma, ele “isola” todos os componentes que ficam acima.

Para obter um resistor, o procedimento é relativamente simples: se tivermos uma região na pastilha de material semiconductor que tenha certo comprimento e seja estreita, ela terá uma resistência proporcional a estas dimensões, conforme poderemos ver na a figura 361.

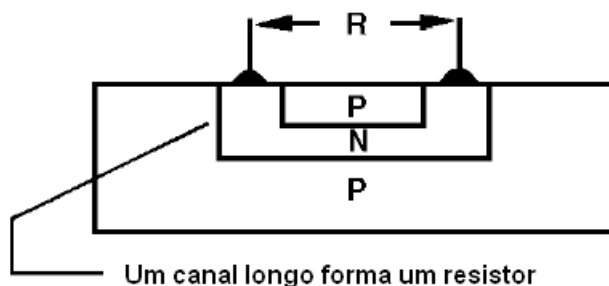


Figura 361 - Obtendo um resistor integrado

Basta então formar regiões de acordo com a resistência necessária, para termos na pastilha “resistores” integrados. Para os capacitores o procedimento na integração poderá ser visto na figura 362.

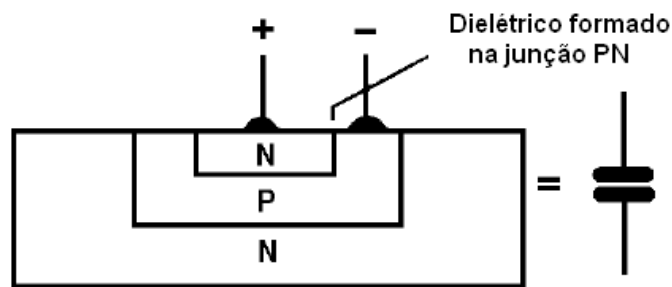


Figura 362 - Integrando um capacitor

O que fazemos é colocar duas regiões de materiais semicondutores de naturezas diferentes, separadas por uma junção polarizada no sentido inverso. O tamanho da junção vai determinar a capacitância apresentada (como num varicap, que já estudamos).

Veja, entretanto, que as pastilhas em que são fabricados os integrados são extremamente pequenas, da ordem de alguns milímetros no máximo, o que significa que, infelizmente, a integração de capacitores só é possível para valores muito baixos, da ordem de picofarads.

É por este motivo que, apesar da grande quantidade de integrados na placa de um computador e outros equipamentos, nem todos os componentes estão no seu interior. Podemos facilmente localizar ain-

da capacitores grandes em alguns pontos, que são justamente aqueles em que não seria possível fazer a integração.

A grande maioria dos componentes externos, que ainda precisamos usar com circuitos integrados é constituída por capacitores de grandes valores, normalmente eletrolíticos que devem ser conectados externamente.

Para os indutores também temos dificuldades em relação aos grandes valores: basta fazer uma espiral de material semicondutor, separada das vizinhanças por uma junção para que isso funcione como uma bobina, conforme o leitor poderá ver a na figura 663.

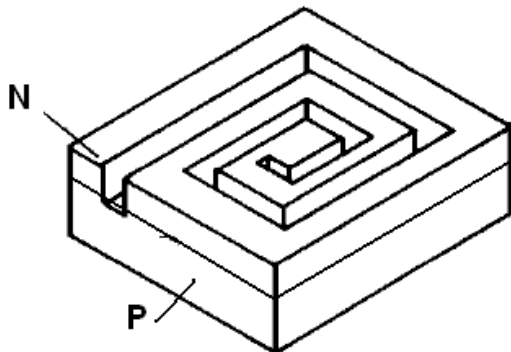


Figura 363 - Integrando um indutor

Indutores de valores maiores, que sejam necessários em determinados circuitos, são ligados externamente. É claro que existem ainda muitos elementos que não podem ser integrados, por motivos óbvios, como microfones, alto-falantes, transformadores, etc.

Uma variação interessante do processo de integração, e que é usada principalmente com circuitos de alta potência, consiste no que denominamos de circuito híbrido.

O que se faz neste caso, é integrar parte do circuito numa pastilha única de silício, e depois ligar a esta pastilha os elementos que não podem ser integrados, mas sem invólucros, conforme o leitor poderá ver na figura 364.

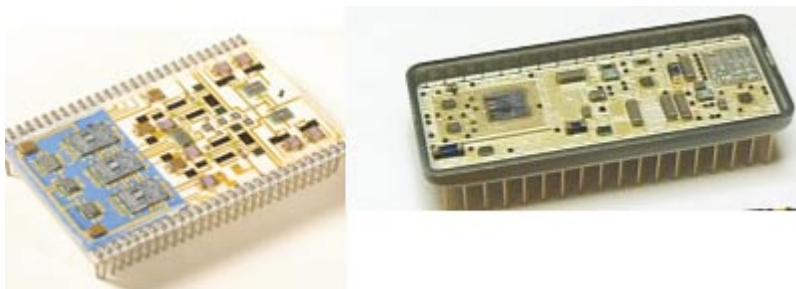


Figura 364 - Circuitos híbridos

Depois, todo o conjunto, componentes externos conectados às pastilhas, são colocados num invólucro único com terminais acessíveis externamente.

Na Prática

A existência de equipamentos eletrônicos extremamente complexos, acessíveis e de tamanhos reduzidos, como os telefones celulares, os computadores pessoais (PCs), câmeras digitais e outros, só é possível pela capacidade de se integrar numa pequena pastilha de silício milhares ou mesmo milhões de transistores. A complexidade dos circuitos de muitos aparelhos é tamanha que seria impossível a sua realização com componentes discretos. Para que o leitor tenha uma idéia, na pastilha de um microprocessador de última geração existem mais de 500 milhões de transistores, todos interligados formando um complexo circuito de processamento e apoio. Evidentemente, para se chegar a este grau de integração foram necessários muitos anos e provavelmente nos próximos anos, a possibilidade de circuitos integrados com cada vez mais componentes nos levará a novas maravilhas da Eletrônica.

10.2 - O Circuito integrado

A fabricação de um circuito integrado não é um processo simples.

O primeiro passo consiste em se desenvolver o desenho, determinando-se as posições das diversas regiões e junções e suas interligações, conforme mostra a figura 365.

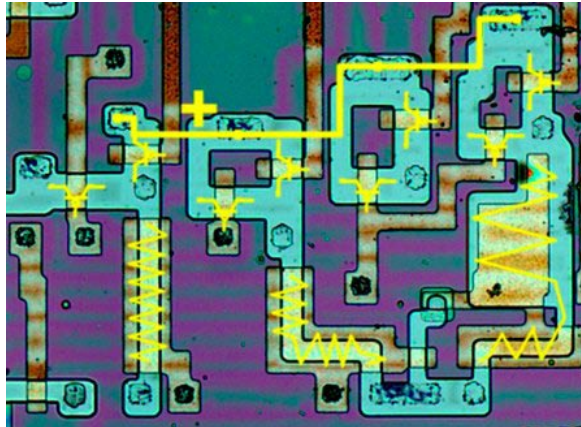


Figura 365 - Uma pastilha de um CI desenhada com os componentes equivalentes ressaltados em amarelo

A partir de um pedaço cilíndrico de silício ultra-puro, com dimensões de aproximadamente 1 metro de comprimento e de 8 a 10 cm de diâmetro, são cortadas fatias finíssimas, com espessura de menos de 1 mm que formarão os denominados “wafers” (bolachas).

O desenho do padrão do circuito integrado será então transferido para a fatia, em etapas sucessivas que envolvem a aplicação de resinas sensíveis à radiação ultravioleta, máscaras e a entrada em fornos de difusão, onde as substâncias dopantes são aplicadas penetrando profundamente no silício com a formação de regiões P ou N, conforme as necessidades, como o leitor poderá ver na figura 366.



Figura 366 - colocando wafers num forno de difusão

Esse processo é denominado litografia.

Numa única “fatia” de silício são então gravados dezenas ou centenas de circuitos integrados, dependendo de sua complexidade e tamanho, conforme o leitor poderá ver na figura 367.

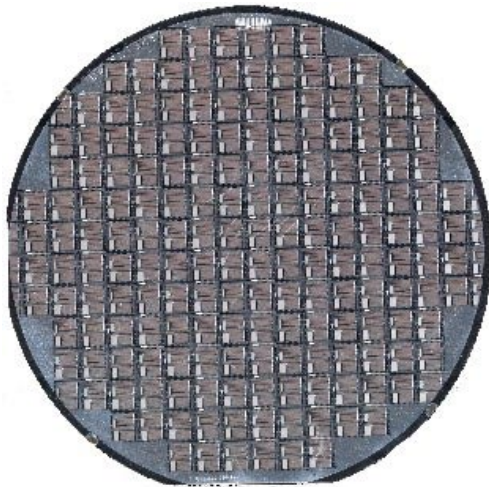


Figura 367 - Circuitos integrados individuais gravados num wafer

Veja que, cada “gravação” corresponde a uma região de apenas alguns milímetros quadrados, o que implica numa considerável redução do desenho que corresponde ao padrão original.

Gravados os integrados e prontos, a pastilha é cortada de modo a resultar nos “chips” dos circuitos integrados, ou seja, nas pastilhas individuais dos circuitos integrados, conforme o leitor poderá ver na figura 368.

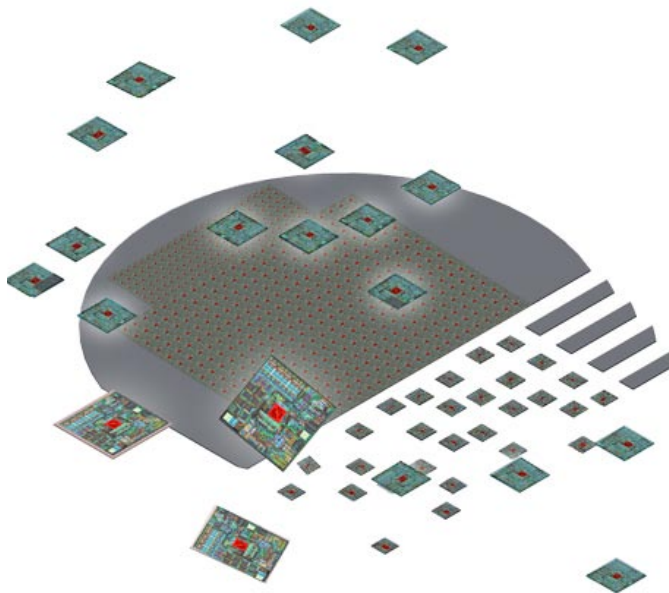


Figura 368- O wafer é cortado liberando os chips dos circuitos integrados
- Foto Allegro Micro

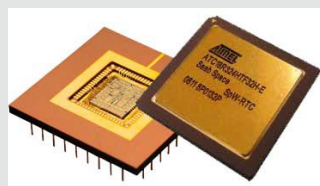
Salas limpas

Para trabalhar com as pastilhas, um mínimo de impurezas no ar é suficiente para afetar as características do componente. Assim, os funcionários que trabalham na manufatura de componentes ficam em salas limpas, onde as quantidades de partículas em suspensão no ar são medidas em partes por milhão (ppm) e, além disso, todos usam trajes especiais limpos.



Na Prática

O leitor deve ter percebido que aquilo que o circuito integrado vai fazer será determinado a partir do momento em que se inicia sua fabricação. Assim, um circuito integrado criado para ser um amplificador não pode funcionar como uma memória e, vice-versa. Uma técnica muito interessante, que está em uso, consiste nos circuitos integrados ASIC (Application Specific Integrated Circuits ou Circuitos Integrados para Aplicações Específicas). Estes circuitos consistem numa série de circuitos básicos que podem, depois do componente pronto, ser programados externamente para realizar uma determinada função. Em outras palavras, nestes circuitos, o usuário, depois que compra o componente é que determina o que ele vai fazer, e não antes como nos chamados circuitos integrados “dedicados”.



Chips ASIC

As pastilhas são então levadas ao processo de encapsulamento. Depois de montadas no local próprio do invólucro, elas recebem através de uma soldagem especial por pressão, os fios de ligação em ouro que as conecta aos terminais.

Completado o processo de soldagem, os integrados são então definitivamente fechados nos seus invólucros e embalados.

Na figura 369 temos tipos de embalagens próprias para integrados que os protege contra descargas estáticas, já que alguns são muito sensíveis a isso.

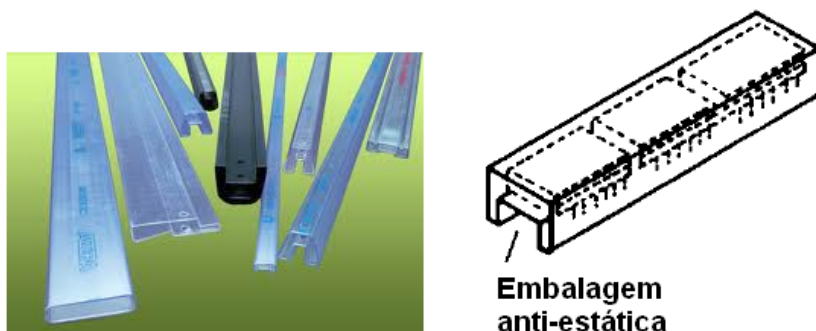


Figura 369 - Embalagens anti-estáticas para circuitos integrados

10.3 - Tipos de Circuitos Integrados

Cada circuito integrado é uma configuração completa com diversos componentes, em alguns casos milhares ou mesmo milhões e que, portanto, só pode ser usado para uma aplicação determinada. Não podemos tratar um integrado como um transistor que, tanto pode ser usado num amplificador, num transmissor, como num computador.

Da mesma forma, diferentemente dos transistores, os integrados dificilmente admitem “equivalentes”. Sua estrutura complexa faz com que um integrado projetado para determinado uso só seja útil naquela aplicação. Poucos são os integrados que admitem mais de uma aplicação, o que nos leva a uma classificação destes componentes em dois grupos: os de uso geral e os dedicados.

Os de uso geral são relativamente simples, contendo funções que podem ser utilizadas de diversas formas. Por exemplo, um integrado que tenha um pequeno amplificador de áudio, evidentemente só pode ser usado como amplificador de áudio, mas podemos instalá-lo em sistemas multimídia, rádios, pequenos toca-discos, gravadores, intercomunicadores, etc. Já os dedicados, possuem funções complexas únicas.

Outro exemplo: um integrado de calculadora que exerça as funções básicas desta máquina, não pode ser usado de outra forma senão numa calculadora, e com características únicas que correspondem ao projeto original.

Evidentemente, para os integrados de uso geral, é possível até fazer substituições, com pequenas alterações no circuito original, pois

podemos tirar um integrado amplificador de um tipo, e até colocar outro com características “equivalentes”, desde que seja também alterada a disposição de suas ligações. Já no caso de uma calculadora, ou de outra função mais complexa, a substituição por “equivalentes” é impossível.

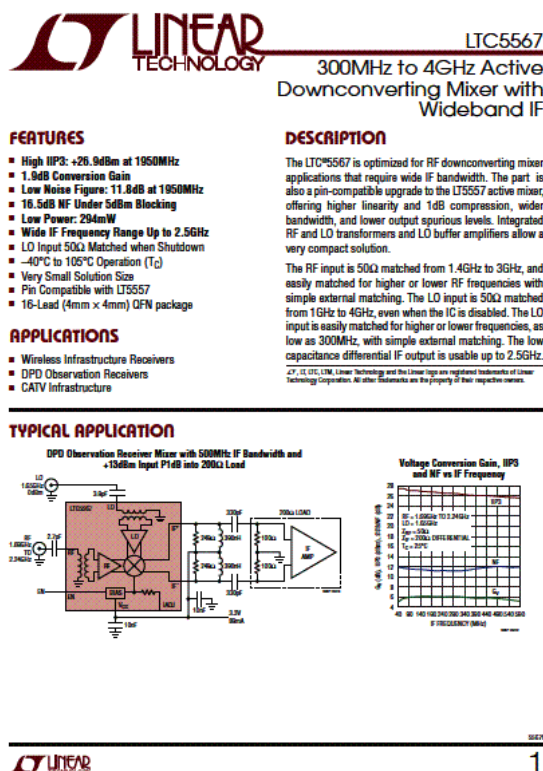
Hoje em dia podemos contar com centenas de milhares de tipos de circuitos integrados, o que torna muito difícil estudar cada um separadamente.

Desta forma, se o leitor pretende usar algum circuito integrado deve, obrigatoriamente, possuir literatura a seu respeito. Estas informações consistem basicamente nas funções de cada um dos pinos, suas características elétricas, como ganho, função, tipo de entrada e saída, a tensão de alimentação, enfim tudo que é preciso para a utilização prática.

Este tipo de informação pode ser obtido de diversas formas:

a) Dos próprios esquemas dos aparelhos em que eles estão sendo usados, ou que se pretende montar como, por exemplo, os esquemas que aparecem em publicações técnicas.

b) Manuais dos fabricantes. Muitos fabricantes possuem publicações específicas sobre seus integrados. Cada folheto ou “datasheet” pode trazer tanto as características do circuito integrado, como também circuitos de exemplo, em que ele pode ser usado, conforme o leitor verá na figura 370.



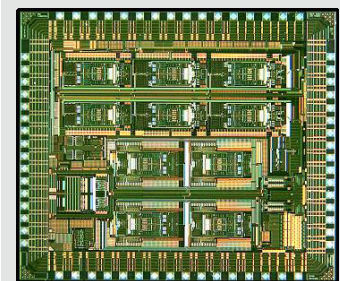
Nos equipamentos comuns

Nas placas de muitos equipamentos comerciais encontramos dois tipos de circuitos integrados:

Os de uso geral, que admitem equivalentes, e que correspondem à funções lógicas simples, como os reguladores de tensão, amplificadores, driver etc.

Os dedicados, que exercem funções complexas específicas como, por exemplo, os microprocessadores que contém uma unidade central de processamento (CPU), as memórias, circuitos de apoio VLSI e outros.

Estes circuitos VLSI (Very Large Scale Integration) são interessantes: em lugar de se usar muitos circuitos integrados, cada qual com uma função de apoio específica, um circuito integrado único muito completo é usado, contendo diversas funções necessárias ao equipamento. Como são circuitos muito complexos, eles usam uma técnica de Escala Muito Grande de Integração ou VLSI.



Pastilha de um circuito integrado VLSI, com milhares de componentes

Figura 370 - Página de um datasheet de circuito integrado

c) Internet, digitando-se o tipo do fabricante ou a função em mecanismos de buscas, ou ainda no site do autor deste livro.

d) Manuais ou databooks, muitos dos quais podem ser baixados na Internet nos sites do fabricante, ou ainda no site do autor deste livro.

Por exemplo, manuais somente de integrados amplificadores, somente de integrados usados em fontes de alimentação, somente usados como memórias em computadores, etc. Na figura 371 a capa de um Manual de Circuitos Integrados Digitais da Texas, disponível para download no site do autor.

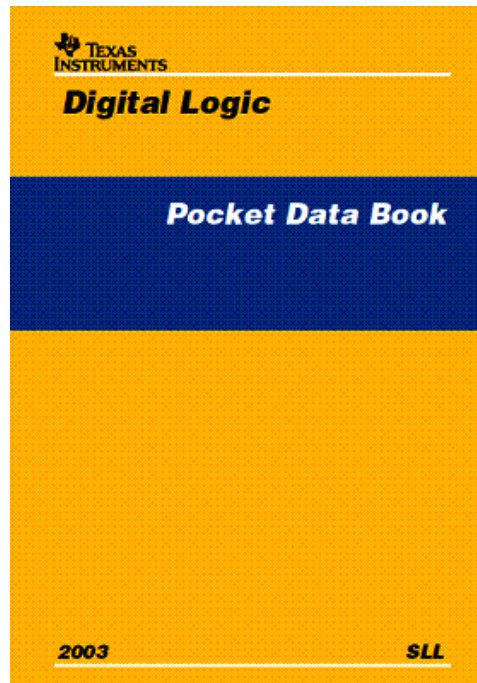


Figura 371 - Capa de um manual de circuitos lógicos da Texas Instruments

Evidentemente, para o experimentador que usa um integrado vez ou outra, investir num manual muito complexo não vale à pena. No entanto, o profissional que precisa constantemente de informações sobre os mais variados tipos de integrados, investir num manual deste tipo, ou saber como consegui-lo é importante.

Os diversos tipos de integrados também determinam os invólucros, e da mesma forma que no caso dos transistores, temos muitas aparências.

Começamos pelos mais antigos em invólucros metálicos redondos, que ainda podem ser encontrados em aparelhos mais velhos. A numeração de pinagem destes integrados é feita observando-se o componente por baixo, conforme o leitor verá na figura 372, e fazendo-se a contagem no sentido horário (sentido dos ponteiros do relógio). Esses invólucros raramente são encontrados atualmente.

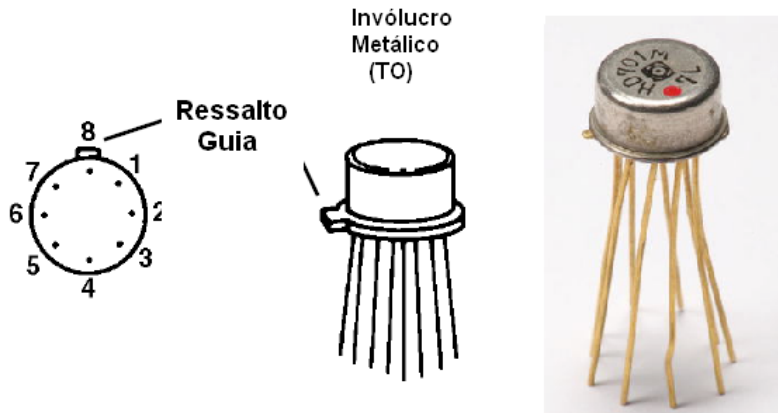


Figura 372 - Pinagem de um CI com invólucro metálico

10.3.1- O Invólucro DIL

O invólucro DIL ou DIP (Dual In-line Package), como também é chamado, é muito usado em muitos equipamentos mais simples e de montagem artesanal, mas também encontramos estes componentes em algumas funções de apoio nos equipamentos complexos.

O invólucro mais comum é o DIL (Dual in Line) de 8 pinos, que pode ser visto na figura 373, juntamente com outros de 14 e 24 pinos.

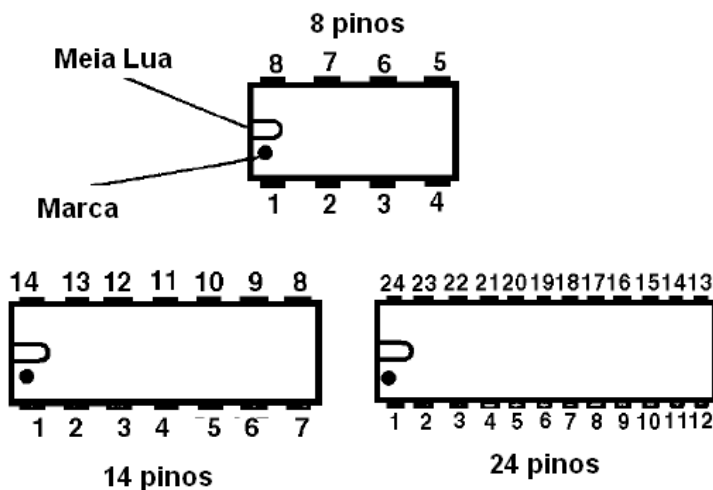


Figura 373 - Alguns tipos de invólucros DIL

Evidentemente, trata-se de um invólucro de baixa potência, ou seja, empregado em circuitos integrados que trabalham com sinais de pequena intensidade. Podemos encontrar invólucros de 8 a 40 pinos, dependendo da complexidade do circuito integrado.

Na figura 374 temos um caso especial de invólucro que possui uma “janela” de quartzo.



Figura 374 - Invólucro com janela de quartzo (uma memória EPROM)

Este tipo de invólucro é usado em memórias EPROM. Estas memórias podem armazenar grande quantidade de informações na pequena pastilha de silício que existe no seu interior. No entanto, podemos “apagar” estas informações, bastando para isso submeter a pastilha em que elas estão gravadas a um “banho” de luz ultra-violeta. Isso é feito através da pequena janela de quartzo, que é um material que deixa facilmente passar este tipo de radiação.

Quando temos uma memória deste tipo gravada, mantemos a “janela” vedada com um adesivo, de modo que a pequena pastilha no seu interior não receba qualquer tipo de luz, principalmente ultravioleta.

10.3.2 - Outros invólucros

Circuitos integrados que operam com sinais de grande intensidade, ou que devem controlar correntes intensas, são montados em invólucros que facilitam a utilização de radiadores de calor. Na figura 375 temos alguns circuitos integrados de potência que são usados em fontes de alimentação, amplificadores, etc.

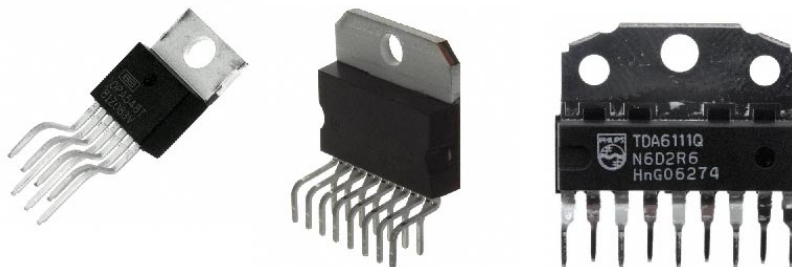


Figura 375 - Circuitos integrados de potência

A disposição de terminais alinhados facilita a montagem de alguns desses integrados em radiadores de calor. A necessidade cada

vez maior de montagens compactas, e ainda a produção através de máquina, também leva à disponibilidade de invólucros ultra-miniaturizados, como os empregados na tecnologia de montagem em superfície (SMD).

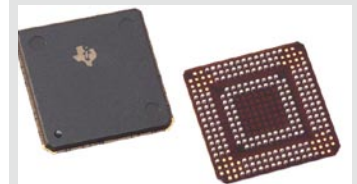
Na figura 376 temos alguns invólucros de circuitos integrados de tecnologias mais modernas, incluindo a montagem em superfície (SMD).



Figura 376 - Invólucros de CIs para montagem em superfície

Invólucros de muitos pinos

Outras tecnologias de invólucros, como a BGA, são usadas com circuitos integrados extremamente complexos. Na foto, invólucros BGA (Ball Grid Array) de 256 pinos. O circuito integrado em questão é um microprocessador da Texas Instruments,



Na tecnologia de montagem convencional os componentes possuem invólucros que são muito maiores que os próprios elementos ativos em seu interior, e que podem ser manuseados com facilidade por um operador humano, o que é mostrado na figura 377.

De fato, se os transistores tivessem um invólucro com dimensões da mesma ordem que a pequena pastilha de silício que ele é propriamente, nossos dedos teriam dificuldades em manuseá-lo, então o que dizer de fazer uma montagem utilizando-o de forma direta?

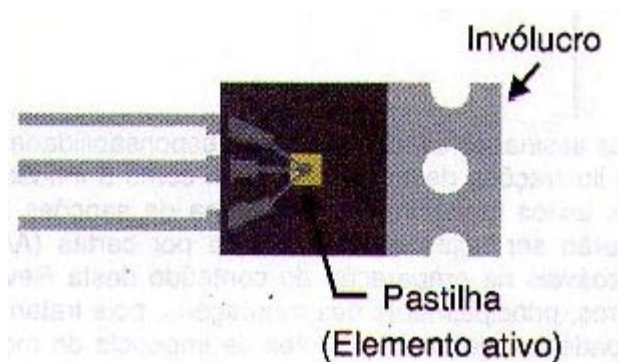


Figura 377 - O chip é apenas uma pequena parte do componente

Entretanto, a necessidade de se colocar cada vez mais componentes numa placa, levando-a a ter dimensões cada vez menores, fez com que o montador humano fosse deixado de lado em função da montagem feita por máquinas.

Assim, considerando-se que para a máquina não existe uma dimensão mínima que ela possa manusear, o problema de termos componentes muito pequenos deixou de existir.

10.6 - Tecnologia SMD

A tecnologia de montagem em superfície ou SMT (Surface Mounting Technology) que faz uso de componentes para montagem em superfície, ou SMD (Surface Mounting Devices) é o resultado desta miniaturização que encontramos nos principais tipos de aparelhos comerciais.

Mas, se esta tecnologia leva a montagens muito compactas, com componentes ultra-miniaturizados, de que maneira os humanos que devem reparar tais aparelhos com suas mãos ou ainda desejem fazer montagens pessoais usando tais componentes devem proceder? Veja a figura 378.

SMT e SMD

SMT ou Surface Mounting Technology é o nome da tecnologia que usa componentes muito pequenos. SMD ou Surface Mounting Device é o nome do componente usado em montagens em superfície.

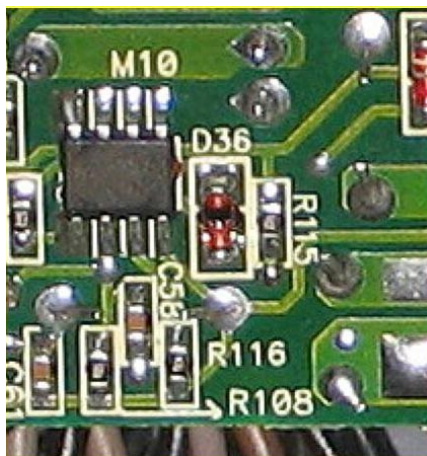


Figura 378 - Uma montagem com componentes SMD

A idéia básica da tecnologia SMT é usar componentes que tenham seus invólucros reduzidos ao máximo, e até em um formato padronizado que permita seu manuseio por máquinas.

Assim, as máquinas podem realizar as montagens com facilidade, de uma forma muito mais rápida, o que é conveniente para as linhas de montagem.

Os componentes SMD são disponíveis do mesmo modo que os componentes comuns: resistores, capacitores, diodos, indutores, transistores, etc.

Na verdade, até mesmo os valores e os tipos são iguais aos componentes comuns. Podemos encontrar resistores com todos os valores comuns em ohms, dos tipos de 1/8 W e maiores, e os transistores podem ser de tipos absolutamente comuns como BC548, 2N2222, etc.

O que muda é apenas o formato.

Para os componentes de dois terminais, o formato mais comum é o exemplificado na figura 379.

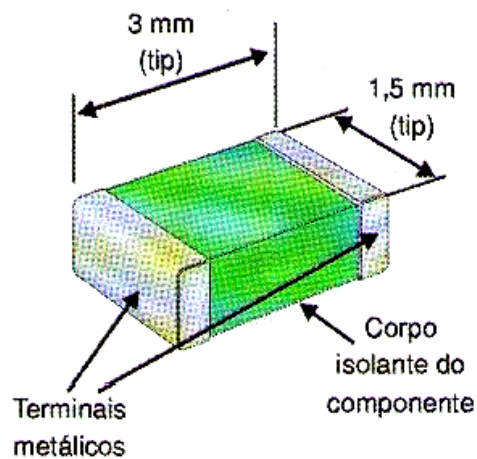


Figura 379 - Componente SMD comum

Estes componentes são extremamente pequenos, sendo suas dimensões especificadas por um padrão de 4 dígitos.

Os dois primeiros dígitos indicam o comprimento do invólucro, em centésimos de polegada, enquanto que os dois últimos indicam sua largura também em centésimos de polegada.

Assim, a maioria dos resistores tem o formato 1206, o que representa 12 centésimos de polegada de comprimento por 06 centésimos de polegada de largura. Este formato significa, aproximadamente, 3 mm de comprimento por 1,5 mm de largura.

Outros formatos comuns para resistores e outros componentes de dois terminais são os 0805, 0603, 0402 e ainda menores, como o 0201, encontrado principalmente em equipamentos orientais e, evidentemente, muito difíceis de manusear (e até de ver!).

Observe que a altura do componente não é especificada, pois eles são tão pequenos que esta dimensão não é importante quando se realiza um projeto.

10.6.1 - Códigos Para Resistores SMD

Os resistores para montagem em superfície (SM ou Surface Mounting) da tecnologia SMD (Surface Mounting Devices) possuem um código de 3 ou 4 dígitos na sua configuração mais comum, conforme mostra a figura 380.

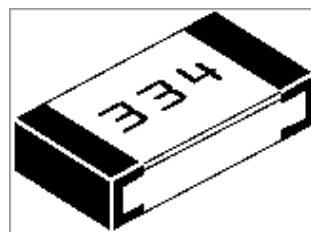


Figura 380 - resistor de 330 k ohms

Neste código, os dois primeiros números representam os dois primeiros dígitos da resistência, no caso 33. O terceiro dígito significa o fator de multiplicação, ou número de zeros que deve ser acrescentado. No caso 0000. Ficamos então com 330 000 ohms ou 330 kohms.

Para resistências de menos de 10 ohms pode ser usada a letra R tanto para indicar isso, como em lugar da vírgula decimal.

Assim, podemos ter 10R para 10 ohms ou 4R7 para 4,7 Ohms. Em certos casos, com resistores na faixa de 10 a 99 ohms, podemos ter o uso de apenas dois dígitos, para evitar confusões: exemplo 33 ou 56 para indicar 33 ohms ou 56 ohms. Também existem casos em que o k (quilo) e M (mega) é usado em lugar da vírgula.

No entanto, para as tolerâncias mais estreitas, existem diversos outros tipos de códigos.

Exemplos de Códigos de 3 Dígitos	Exemplos de Códigos de Quatro Dígitos
220 é 22 ohms – e não 220 ohms	1000 é 100 ohms e não 1000 ohms
331 é 330 ohms	4992 é 49 900 ohms, ou 49k9
563 é 56 000 ohms, ou 56k	1623 é 162 000 ohms, ou 162k
105 é 1 000 000 ohms, ou 1M	0R56 ou R56 é 0.56 ohms
6R8 é 6,8 ohms	

Para resistores com 1% de tolerância foi criada uma nova codificação conhecida por EIA-90. Esta codificação consiste num código de três caracteres. Os dois primeiros dígitos dão os três dígitos significativos da resistência, conforme uma tabela que deve ser consultada e que é dada a seguir. O terceiro símbolo é uma letra que indica o fator de multiplicação.

codigo	valor	codigo	valor	codigo	valor	codigo	valor	Codigo	valor	codigo	valor
01	100	17	147	33	215	49	316	65	464	81	681
02	102	18	150	34	221	50	324	66	475	82	698
03	105	19	154	35	226	51	332	67	487	83	715
04	107	20	158	36	232	52	340	68	499	84	732
05	110	21	162	37	237	53	348	69	511	85	750
06	113	22	165	38	243	54	357	70	523	86	768
07	115	23	169	39	249	55	365	71	536	87	787
08	118	24	174	40	255	56	374	72	549	88	806
09	121	25	178	41	261	57	383	73	562	89	825
10	124	26	182	42	237	58	392	74	576	90	845
11	127	27	187	43	274	59	402	75	590	91	866
12	130	28	191	44	280	60	412	76	604	92	887
13	133	29	196	45	287	61	422	77	619	93	909
14	137	30	200	46	294	62	432	78	634	94	931
15	140	31	205	47	301	63	442	79	649	95	953
16	143	32	210	48	309	64	453	80	665	96	976

As letras para o fator de multiplicação são dadas pela seguinte tabela:

letra	mult	letra	mult
F	100000	B	10
E	10000	A	1
D	1000	X or S	0.1
C	100	Y or R	0.01

Por exemplo, um resistor com a marcação 22 A é um resistor de 165 ohms. Um resistor com a marcação 58C é um resistor de 49 900 oms (49,9 k) e 43E é um resistor de 2740000 (2,74 M). Este tipo de código se aplica apenas a resistores de 1% de tolerância.

Para resistores com 2% e 5% de tolerância existe uma codificação semelhantes, com as mesmas letras multiplicadoras usadas no código de 1%. A tabela abaixo mostra os códigos que devem ser usados na leitura de valores.

2%				5%			
código	valor	código	valor	código	valor	código	valor
01	100	13	330	25	100	37	330
02	110	14	360	26	110	38	360
03	120	15	390	27	120	39	390
04	130	16	430	28	130	40	430
05	150	17	470	29	150	41	470
06	160	18	510	30	160	42	510
07	180	19	560	31	180	43	560
08	200	20	620	32	200	44	620
09	220	21	680	33	220	45	680
10	240	22	750	34	240	46	750
11	270	23	820	35	270	47	820
12	300	24	910	36	300	48	910

Observe que os código até 24 são para resistores de 2% de tolerância e de 25 a 48 para 5% de tolerância.

Tomando essa tabela, um resistor com a marcação C31 é de 18000 ohms 5% e D18 significa 510 000 ohms com 2%.

Os resistores SMD vêm nos seguintes formatos com as seguintes características:

Estilo: 0402, 0603, 0805, 1206, 1210, 2010, 2512, 3616, 4022

Dissipação: 0402(1/16W), 0603(1/10W), 0805(1/8W), 1206(1/4W), 1210(1/3W), 2010(3/4W), 2512(1W), 3616(2W), 4022(3W)

Tolerância: 0.1%, 0.5%, 1%, 5%

Coefficiente de temperatura: 25ppm 50ppm 100ppm

Outros códigos

Outros componentes, como os capacitores eletrolíticos, também possuem códigos especiais. O profissional que trabalhar com estes componentes deve ter em mãos as tabelas com a interpretação dos códigos correspondentes.

Os capacitores são apresentados nos mesmos formatos e invólucros, com a diferença de que serão tanto maiores quanto maior for o valor.

Como a marcação dos valores é feita da mesma forma (472 significa 4700 pF ou 4,7 nF), fica muito difícil para o montador saber qual é um, qual é outro (veja no site os códigos de componentes SMD - Seção Almanaque).

Damos a seguir, como exemplo, os códigos para capacitores cerâmicos SMD. Capacitores SMD (para montagem em superfície) utilizam um código que é formado normalmente por duas letras em um dígito. A primeira letra representa o fabricante, enquanto a segunda letra representa a mantissa do valor da capacitância. O terceiro símbolo, é o dígito representa o multiplicador ou expoente em picofarads (pF). Por exemplo, KJ2 é um capacitor de um fabricante desconhecido "K", que tem 2,2 (J) x 100 = 220 pF.

A tabela abaixo fornece a relação de mantissas para os valores mais comuns:

Letra	Mantissa	Letra	Mantissa	Letra	Mantissa
A	1.0	P	3.6	a	2.5
B	1.1	Q	3.9	b	3.5
C	1.2	R	4.3	d	4.0
D	1.3	S	4.7	e	4.5
E	1.5	T	5.1	f	5.0
F	1.6	U	5.6	m	6.0
G	1.8	V	6.2	n	7.0
H	2.0	W	6.8	t	8.0
J	2.2	X	7.5	y	9.0
K	2.4	Y	8.2		
L	3.0	Z	9.1		
N	3.3				

Os capacitores eletrolíticos SMD, apesar de suas reduzidas dimensões, têm marcada tanto a capacitância como a tensão de trabalho.

Assim, 22 6V consiste num capacitor de 22 uF x 6 V. No entanto, também pode ser usado um código especial formado de uma letra e 3 dígitos. A letra indica a tensão de trabalho e os três dígitos consistem no valor, sendo os dois primeiros dígitos o valor e o terceiro o multiplicador. O valor obtido é dado em pF. A faixa indica o terminal positivo.

A próxima tabela dá os valores de tensão para a letra:

Letra	Tensão
e	2.5
G	4
J	6.3
A	10
C	16
D	20
E	25
V	35
H	50

Exemplo: C225 significa um capacitor de 2,2 uF x 166 V já que:

$$225 = 22 \times 10^5 \text{ pF} = 2,2 \times 10^6 \text{ pF} = 2,2 \text{ } \mu\text{F}$$

Para o caso dos aparelhos que devem ser reparados, podemos identificar um resistor ou um capacitor pela posição no circuito ou pelo diagrama.

Mas, no caso da compra para reparos, aconselhamos a não misturar capacitores e resistores num mesmo lugar, pois somente com o uso do multímetro conseguiremos separar um do outro...

Outro problema que acontece com os capacitores é que, em muitos casos, eles não tem o valor marcado. Assim, na hora da compra precisamos colocá-los em um lugar com o valor marcado, para saber depois qual é.

Os transistores normalmente são fornecidos em invólucros do tipo SOT23, com as dimensões e formato ilustrados na figura 381.

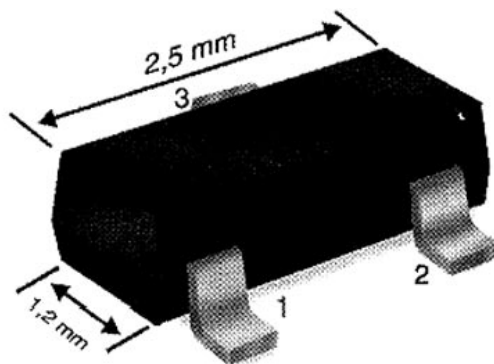
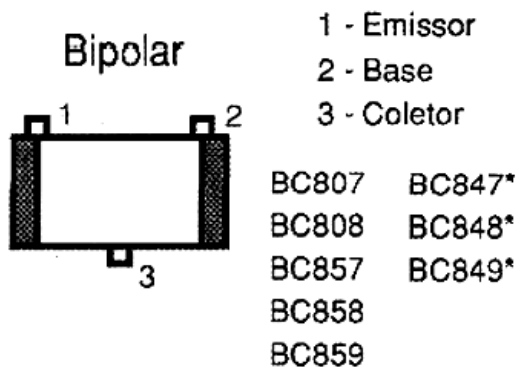


Figura 381 - Transistor SMD em invólucro SOT23

A identificação dos terminais, como no caso dos transistores comuns, depende do tipo, então o manual do componente deve ser consultado. Na figura 382 temos a identificação de terminais para alguns transistores frequentemente usados em aparelhos comerciais, equivalentes aos mesmostipos comuns.

SMD x discretos

Quando há espaço na placa, nada impede que um profissional troque um SMD queimado por um equivalente discreto. O funcionamento será o mesmo.



(*Equivalentes ao BC547, 48, 49)

Figura 382 - Terminais para alguns transistores comuns

Para alguns tipos de transistores de potência podemos ter invólucros maiores, conforme mostra a figura 383.



Figura 383 - Transistores SMD de potência

Entretanto, não se aconselha utilizar tais componentes em dissipadores de calor. Assim, quando se necessita de um componente capaz de manusear potências elevadas, a opção SMD normalmente é deixada de lado em favor dos componentes com invólucros convencionais.

Para os circuitos integrados, temos os invólucro típico ilustrado na figura 384



Figura 384 - Invólucro típico para circuito integrado

O número de terminais, as dimensões e o formato, variam da mesma forma que nos componentes convencionais. Isso quer dizer que, ao realizar o projeto de uma placa de circuito impresso usando tais componentes, o projetista tem sempre de estar informado sobre suas dimensões.

Os componentes SMD mais sofisticados, tais como microprocessadores e outras funções complexas, podem ter outros tipos de invólucros como Quad Flat Pack (QFP), Plastic Leaded Chip Carrier (PLCC), Ball Grid Arrays (BGA) e outros, conforme mostra a figura 385.

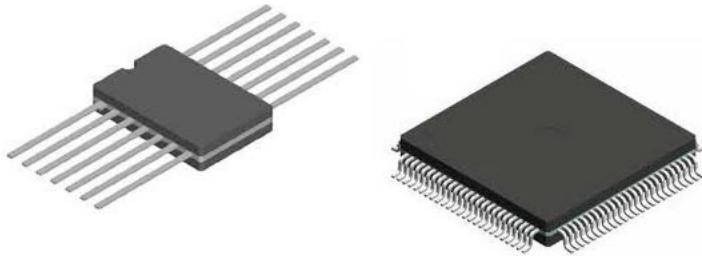


Figura 385-Outros invólucros SMD

Devemos também chamar a atenção para a dificuldade em se identificar estes componentes, pois como normalmente como são fornecidos em fitas para uso em máquina, os fabricantes não se preocupam com a identificação no componente em si, veja a figura 386.



Figura 386 - Rolo de tira de componentes SMD

Isso significa que, obtendo-se um componente deste tipo, deve-se ter muito cuidado em guardá-lo junto com a identificação, pois caso haja a separação da informação, será impossível saber do que se trata!

Diversos tipos de invólucros modernos, com centenas de pinos, são usados nos equipamentos que têm funções muito complexas, caso de computadores, microprocessadores, televisores, celulares, etc. Este tipo de circuito integrado só pode ser colocado nas placas e retirado com equipamentos especiais. Normalmente quando um deles queima num equipamento, troca-se a placa inteira em que ele está.

10.7 - Como usar os integrados

Os leitores que gostam de realizar montagens eletrônicas podem contar com uma boa quantidade de circuitos integrados que realizam funções relativamente complexas, e que substituem configurações que, da maneira convencional usariam dezenas de transistores, resistores, diodos e capacitores.

O baixo custo desses integrados, em relação ao que seria gasto com componentes discretos (separados), compensa perfeitamente sua utilização, isso sem se falar na possibilidade de se obter equipamentos mais confiáveis e compactos.

No entanto, é claro, a desvantagem do integrado está no fato de que se queimar algo no interior do invólucro, como isso não pode ser visto, temos, obrigatoriamente, de trocar o integrado todo! Para usar integrados não é preciso muito. Veremos a seguir o que o leitor precisa para poder trabalhar com este tipo de componente.

Um mesmo tipo de integrado pode ser produzido por diversas fábricas que, entretanto, dão denominações diferentes. Não são muitos os casos em que isso ocorre, estando restrito aos componentes de maior utilidade, normalmente circuitos de uso geral, e não os chamados “dedicados”.

Assim, podemos citar como exemplo um integrado de grande utilidade que é o amplificador operacional conhecido como 741, e que pode ser visto na figura 387.

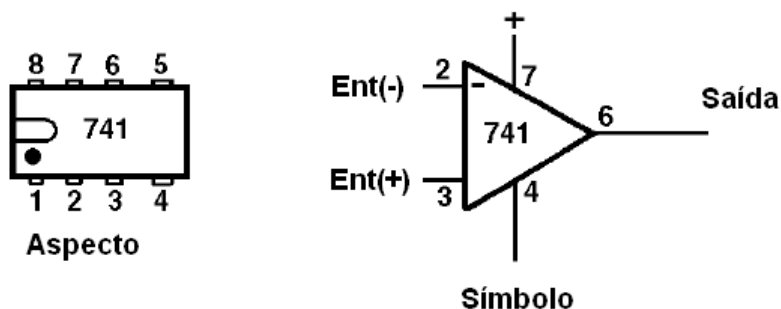


Figura 387 - O circuito integrado 741, amplificador operacional

Dependendo do fabricante, temos denominações diversas para este mesmo componente como:

- LM741 (National)
- MC1741 (Motorola)
- SN72741 (Texas Instruments)
- CA741 (RCA)
- TBA221 (Philips)
- μ A741 (Fairchild)

Podem também aparecer siglas no final do tipo, indicando aperfeiçoamentos, ou ainda a existência de características que os tipos originais não apresentam.

Exemplo: CA741, CA741E e CA741CE.

10.8 - Como testar circuitos integrados

Levando em conta que um circuito integrado possui uma grande quantidade de componentes já interligados, e que não temos acesso a estes componentes isoladamente, o teste de qualquer circuito integrado é problemático.

De fato, a não ser que possamos fazer uma comparação com as medidas de um componente bom, as medidas de resistências entre contatos ou pinos de um integrado podem revelar alguma coisa, mas não com muita segurança.

O procedimento ideal para teste de um integrado determinado é ter um circuito específico externo em que este integrado deva funcionar.

É claro que isso significa que, para cada um dos milhares de tipos de integrados que existem, devemos ter um circuito próprio diferente para fazer seu teste. Poucas possibilidades existem de termos um circuito único que sirva para provar uma boa quantidade de integrados. Uma opção é, por exemplo, ter um circuito para a prova de amplificadores operacionais, outro para reguladores de tensão, etc.

Procedimentos, entretanto, para integrados em funcionamento num circuito permitem saber se o problema está neste componente ou nos componentes externos. O que se faz, na prática, é medir tensões nos pinos do integrado que devem ser comparadas com as indicadas pelo manual de funcionamento do fabricante.

10.9 - Circuitos integrados na prática

Nos capítulos anteriores já havíamos falado dos circuitos integrados e da forma como conseguimos colocar milhões de componentes num computador usando esta técnica.

Neste capítulo estudamos os circuitos integrados de uma forma mais profunda, aprendendo como é possível fabricar componentes numa pequena pastilha de silício, e interligá-los de modo que eles realizem funções importantes.

Nos equipamentos comuns o leitor vai encontrar diversos tipos de circuitos integrados.

a) Circuitos Simples - referimo-nos aos circuitos integrados que possuem poucos componentes internos e, portanto, exercem funções simples.

Estes componentes normalmente são encontrados em invólucros DIL ou DIP (Dual In-Line Package ou Dual In Line) e se caracterizam por terem poucos terminais, normalmente em duas filas paralelas.

Componentes deste tipo normalmente são do tipo não dedicado, ou seja, admitem equivalentes e exercem funções que podem ser encontradas em outros circuitos integrados, de diversos fabricantes.

Como testar

Ao estudarmos tipos específicos de integrados daremos algumas informações de como fazer os testes específicos, mas isto é assunto para que o leitor pode ver melhor explorado na série de livros Como Testar Componentes, do mesmo autor deste curso.

b) VLSI - Esta sigla vem de Very Large Scale of Integration ou Escala Muito Grande de Integração referindo-se aos circuitos muito complexos, que reúnem em seu interior muitas funções.

À medida que os equipamentos eletrônicos foram evoluindo, funções que antes eram exercidas por diversos circuitos simples cada qual contendo poucos componentes, foram reunidas num único circuito integrado de maior complexidade do tipo VLSI.

Estes circuitos integrados se caracterizam por terem muitos terminais, tão próximos uns dos outros que é difícil tentar qualquer operação de soldagem com um ferro comum. Estes componentes normalmente consistem em retângulos pretos com terminais alinhados em seus quatro lados.

c) Outros - além dos circuitos integrados analisados podemos ter outros com invólucros diferentes, equivalentes a circuitos de maior ou menor complexidade. Podemos incluir nesta relação os circuitos que possuem buffers, amplificadores, controles das fontes de alimentação, de motores de passo, etc.

O importante é saber que a maioria das funções exercidas por um circuito eletrônico moderno estão reunidas no interior de circuitos integrados de maior ou de menor complexidade.

Termos em Inglês

Os seguintes termos em inglês relacionados com esta lição merecem destaque.

Integrated circuit (IC) - circuito integrado (CI)

Printed circuit board (PCB) - placa de circuito impresso (PCI ou CI)

Package- invólucro

Heatsink - radiador de calor

Chips - chips ou pastilhas

Wafers - wafers ou bolachas

Clean room - sala limpa

Case - invólucro

Termos para pesquisa

- * História do circuito integrado
- * Dopagem
- * Wafers
- * Litografia
- * Integração
- * SMD e SMT

QUESTIONÁRIO

1. De que material são feitas as “pastilhas” ou “chips” dos circuitos integrados?
 - a) germânio
 - b) plástico
 - c) silício
 - d) mica

2. Como podemos reparar um integrado, se um dos componentes internos apresenta defeito?
 - a) trocando o componente
 - b) eliminando o componente defeituoso
 - c) aplicando uma tensão no componente defeituoso
 - d) não é possível fazer sua reparação

3. O que são invólucros DIL ou DIP?
 - a) são invólucros metálicos
 - b) são invólucros de transistores
 - c) são invólucros plásticos
 - d) são invólucros com terminais alinhados

4. Existem suportes ou soquetes para a montagem de circuitos integrados?
 - a) sim para todos os tipos
 - b) sim para alguns tipos
 - c) não
 - d) são os mesmos usados para as válvulas

5. De que modo são embalados os integrados sensíveis às descargas eletrostáticas?
 - a) em caixas de metal
 - b) em embalagens anti-estáticas
 - c) em embalagens plásticas
 - d) em vidros

6. Quais são os componentes que apresentam maior dificuldade para serem integrados?
 - a) transistores e diodos
 - b) diodos e capacitores
 - c) capacitores e indutores
 - d) indutores e transistores



» Amplificadores operacionais

» 555

No capítulo anterior aprendemos um pouco sobre os circuitos integrados, verificando que estes componentes possibilitam o desenvolvimento de aparelhos de grande complexidade, com milhares ou mesmo milhões de componentes já internamente ligados numa disposição predeterminada. Vimos também que existem milhares de tipos de circuitos integrados que exercem funções únicas, ou ainda são classificados em famílias. Chamamos de famílias ao conjunto de integrados que têm uma função, ou finalidades semelhantes, se bem que internamente e na maneira de usar possam apresentar diferenças.

Uma das mais importantes famílias de circuitos integrados é a dos Amplificadores Operacionais (AO), que justamente será estudada neste capítulo. Estes amplificadores, originalmente projetados para realizar operações matemáticas em computadores analógicos (um tipo que não se usa mais), chegaram ao grande consumidor e hoje são usados numa infinidade de aplicações. Os tipos mais populares, como o “famoso” 741, custam quase tão pouco quanto um transistor individual, sendo explorados em centenas de projetos publicados em livros e revistas técnicas. Neste capítulo teremos os seguintes itens:

- 11.1 - O amplificador operacional
- 11.2 - Rejeição em modo comum CMRR
- 11.3 - Fontes para o amplificador operacional
- 11.4 - Aplicações básicas
- 11.5 - Osciladores e filtros
- 11.6 - O circuito integrado 555

11.1 - O Amplificador Operacional

Os amplificadores operacionais foram desenvolvidos originalmente para realizar operações em computadores analógicos, um tipo que hoje já não se usa mais. Nestes computadores, as operações eram

feitas somando-se e subtraindo-se tensões, que então eram medidas na saída, dando assim os resultados das operações.

Combinando-se muitos destes amplificadores, com a capacidade de realizar operações diversas além da soma e subtração, cálculos complicados eram feitos com facilidade, conforme o leitor poderá ver na figura 388.

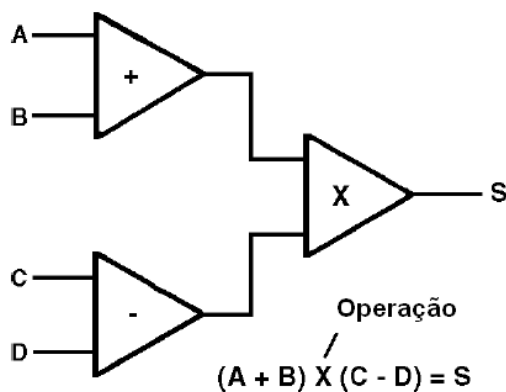


Figura 388 - Uma operação matemática executada por 3 amplificadores operacionais

Atualmente o amplificador operacional tem muitas outras utilidades, pela sua capacidade de realizar “operações” com tensões elétricas.

Basicamente um amplificador operacional consiste num dispositivo que tem duas entradas para os sinais e uma saída, conforme mostra o símbolo universalmente adotado da figura 389.

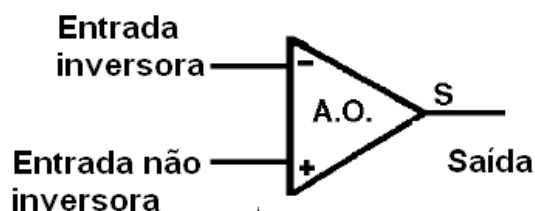


Figura 389 - Símbolo do amplificador operacional

Uma das entradas, marcada com o sinal (+), recebe o nome de “entrada não inversora”. Ela recebe este nome porque um sinal aplicado neste local aparece na saída (S) do circuito com a mesma polaridade ou fase.

Assim, se ocorrer uma pequena variação da tensão nesta entrada, de 0 a 1 mV, por exemplo, na saída teremos uma variação da tensão amplificada de 0 a 1 V, por exemplo. Neste caso temos uma variação de 1 000 vezes na intensidade do sinal, o que quer dizer que o operacional tem um ganho de 1 000 vezes.

Amplificadores operacionais comuns, como o 741, um dos mais famosos, podem ter ganhos tão grandes como 100 000 vezes, como mostra a figura 390.

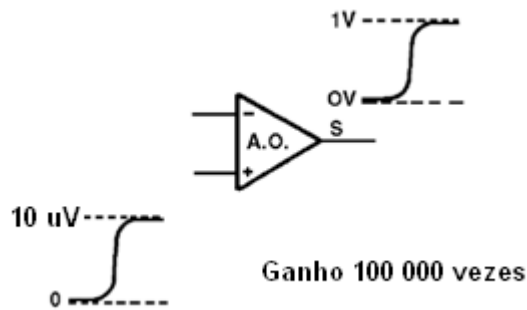


Figura 390 - Amplificando 100 000 vezes um sinal

A outra entrada, marcada com o sinal (-), recebe o nome de “entrada inversora”. Se aplicarmos um sinal nesta entrada, ele aparece na saída com a polaridade ou fase invertida, conforme o leitor poderá ver na figura 391.

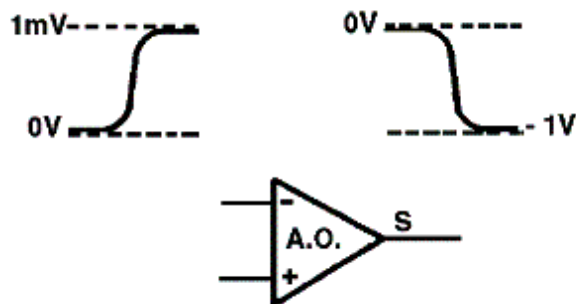


Figura 391 - Usando a entrada inversora

Assumindo que a saída esteja em zero volt, verificamos que, se a tensão na entrada inversora variar de 0 a 1 mV, na saída a tensão variará de 0 a -1 volt.

Veja que, nestas condições, é preciso que a alimentação do circuito seja simétrica, ou seja, que tenha tensões negativas para poder produzir estes valores na saída. Como isso é conseguido através de alimentação especial, será estudado mais adiante.

Outra modalidade de funcionamento para o operacional, que deve ser considerada, é quando aplicarmos o sinal ENTRE as entradas, ou seja, entre a entrada inversora e a entrada não-inversora, conforme o leitor poderá ver na figura 392.

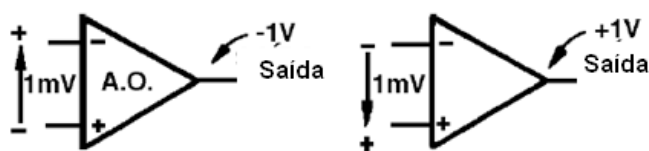


Figura 392 - Operação no modo diferencial

Na Prática

Os amplificadores operacionais basicamente trabalham com sinais analógicos, ou seja, amplificam sinais ou variações de tensão. Existem muitos equipamentos modernos em que encontramos estes sinais, e é justamente neles que os amplificadores operacionais podem estar presentes. Podemos citar como exemplo as interfaces de controle, os circuitos de áudio e vídeo de placas multimídia, fontes de alimentação, monitores e impressoras.

Neste caso o amplificador amplifica a diferença entre as tensões nos dois pontos. Se aplicarmos um sinal que tenha uma tensão de 1 mV de amplitude, conforme o leitor constatará pela figura 393, teremos na saída do integrado operacional um sinal de mesma fase amplificado.

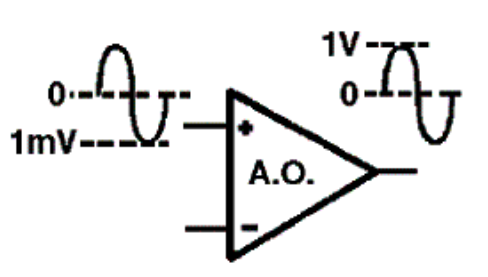


Figura 393 - Amplificação sem inversão de fase

Se a polaridade do sinal for invertida, de tal forma que a entrada inversora fique sob tensão mais alta que a não-inversora, também temos a amplificação mas com a inversão de polaridade, conforme o leitor poderá ver na figura 394.

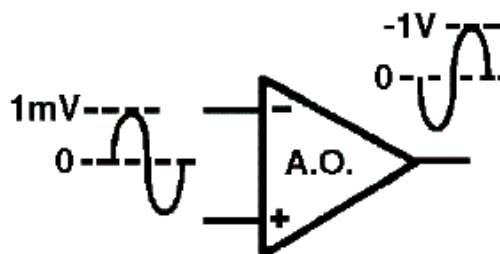


Figura 394 - Amplificação com inversão de fase

Além de um elevado ganho, ou fator de amplificação, os amplificadores operacionais também têm outras características importantes que devem ser consideradas. Uma delas é a elevada impedância de entrada.

Para amplificadores comuns, com transistores bipolares (de junção), como o 741, esta impedância é de 1 000 000 de ohms. Isso significa que os sinais muito fracos podem ser usados nas entradas, sem carregar os circuitos que os fornece.

Amplificadores operacionais com transistores de efeito de campo na entrada (J-FET ou MOS-FET) podem ter impedâncias de entrada ainda mais altas, como o CA3140 que chega aos 10^{12} (1 000 000 000 000 ohms).

Estes amplificadores podem ser usados em instrumentação, onde a impedância de entrada elevada é muito importante para não se “carregar” ou influir no circuito que está sendo medido.

Outra característica importante é a impedância de saída, que nos amplificadores operacionais como o 741, é da ordem de 150 Ω .

Consumo

Veja que ter uma impedância de entrada elevada significa exigir muito pouca corrente do circuito externo para poder funcionar e isso é muito importante em muitas aplicações, inclusive ligadas ao computador.

De fato, um amplificador operacional é um dispositivo de baixa potência, não servindo para excitar diretamente cargas, como alto-falantes ou outros dispositivos.

Nas aplicações de áudio, e em muitos outros casos, ele funciona muito mais como um eficiente pré-amplificador para sinais muito fracos, aumentando sua intensidade, mas não a ponto de excitar as cargas finais para o que são usados outros circuitos adicionais como, por exemplo: outros integrados ou transistores, conforme mostra a figura 395.

Potência

Veja que, operando com tensões relativamente baixas, e tendo uma impedância de saída de tal ordem, o amplificador operacional não pode fornecer em sua saída correntes elevadas.

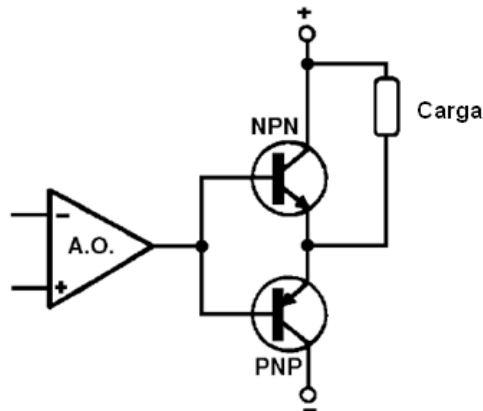


Figura 395 - Aumentando a potência de saída de um amplificador operacional

Existem, entretanto, amplificadores operacionais de potência que já incluem transistores, e outros elementos internos necessários à operação com cargas de alto consumo. Estes integrados podem ser encontrados em invólucros que já incluem a aleta de montagem em um radiador de calor.

Veja na figura 396 a curva de transferência de um amplificador operacional de onde tiramos algumas informações importantes.

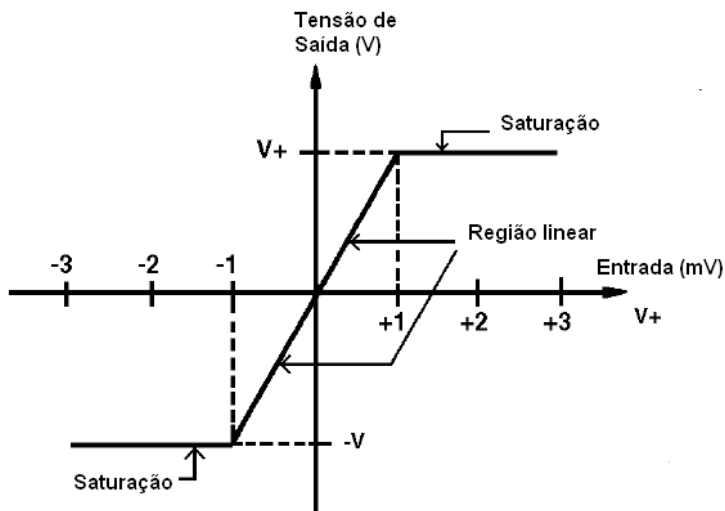


Figura 396 - Curva de transferência de um amplificador operacional

Tipos de Amplificadores Operacionais

O projetista pode contar hoje com uma infinidade de tipos de amplificadores operacionais, com características que sejam mais apropriadas para a aplicação. Assim, ao lado dos tipos de uso geral, dependendo do circuito, poderemos encontrar tipos muito especiais, nem sempre fáceis de obter, caso seja necessário fazer uma reparação.

Observe que a tensão varia entre $-V$ e $+V$ na saída, sendo estes valores os correspondentes à tensão de alimentação.

Supondo que o ganho do amplificador operacional numa aplicação seja 1000, vemos que, se a alimentação for de $+10$ e -10 V, quando aplicarmos uma tensão na entrada de 10 mV, isso já significa que, amplificada, ela atingirá o valor da tensão máxima disponível no circuito que é de 10 V.

Assim, qualquer aumento adicional na entrada não causará mais variação na tensão de saída. O circuito estará então “saturado”.

É claro que, para empregar o amplificador operacional como amplificador propriamente dito, devemos manter o sinal de entrada dentro de sua parte linear de funcionamento, ou seja, dentro dos limites em que não ocorre a ultrapassagem da tensão de alimentação na saída, caso contrário ocorrerá a saturação.

Conforme veremos mais adiante, para adequar o operacional a uma determinada aplicação podemos “mexer” no seu ganho ou fator de amplificação, reduzindo-o até o valor desejado.

11.1.1- Invólucros

Os amplificadores operacionais podem ser encontrados nos mais diversos tipos de invólucros. Os primeiros tipos eram encontrados em invólucros metálicos, como o mostrado na figura 397, que é de um antigo 741 em invólucro TO-5.



Figura 397 - Amplificador operacional em invólucro TO-5 antigo

Este tipo de invólucro não mais é usado. Assim, os tipos modernos podem ter invólucros DIL, SMD e outros conforme a aplicação. Na figura 398 temos alguns tipos de invólucros de amplificadores operacionais mais modernos.

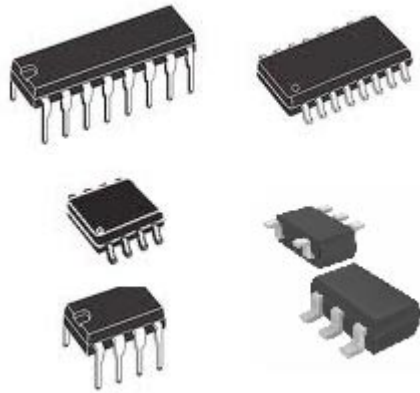


Figura 398- Invólucros modernos para amplificadores operacionais

11.1.2 - Na Prática

Para trabalhar com sinais digitais, o amplificador operacional pode ser levado ao seu ponto de saturação. Assim, uma das aplicações deste componente é justamente obter pulsos de intensidade constante, a partir de sinais que não tenham esta característica aproveitando suas características de saturação. Com relação à frequência máxima de operação, podemos dizer que os amplificadores operacionais são dispositivos relativamente lentos, se bem que existem tipos especiais muito mais rápidos. Para o 741, por exemplo, à medida que sua velocidade de operação aumenta, também cai seu ganho. Isso nos leva a definir sua capacidade de operação em termos de frequência através de uma frequência de transição.

Veja na figura 399 a curva ganho x frequência do amplificador operacional 741, observando-se que, de um ganho de 100 000 vezes com sinais de corrente contínua ou sinais de frequência muito baixa, passamos para um ganho igual a 1 (o sinal da saída é igual ao de entrada) para uma frequência de 1 MHz.

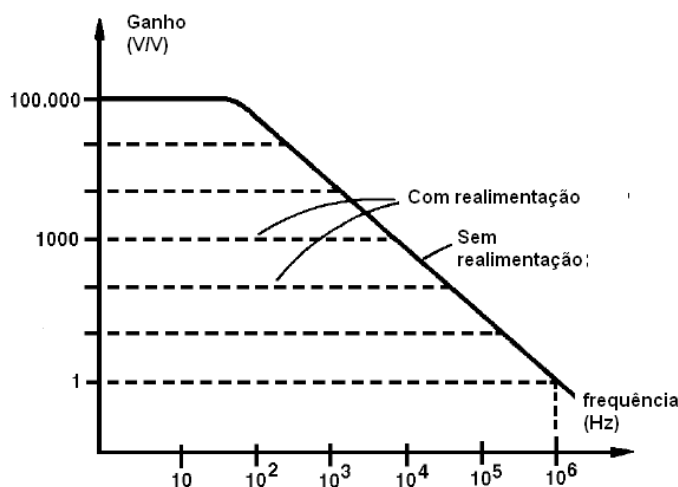


Figura 399 - Resposta de frequência de um amplificador operacional

Acima desta frequência, o circuito integrado não “amplifica” mais o sinal.

11.1.3 - O que significa Rail-to-Rail (RRO)

Existem termos técnicos modernos que ainda não são bem conhecidos de muitos profissionais da eletrônica. Muitos destes termos são de grande importância, pois definem características de componentes ou circuitos fundamentais para sua correta operação numa aplicação. Um destes termos é rail-to-rail ou linha-a-linha (abreviadamente RRO - Rail-to-Rail Operacional) que vamos explicar agora.

Os amplificadores operacionais convencionais, como o conhecido 741, quando funcionam em toda sua faixa dinâmica de tensões de saída, não conseguem atingir os valores máximos correspondentes à alimentação. Assim, se alimentarmos um operacional deste tipo com uma fonte simétrica de $12 + 12\text{ V}$, quando ele operar, o sinal de saída não vai excursionar entre -12 e $+12\text{ V}$, mas um pouco menos, pois sempre existe certa queda nos componentes internos.

Desta forma, conforme mostra a figura 400, o amplificador só vai conseguir excursionar entre $11,4$ e $-11,4\text{ V}$. A pequena diferença que impede que ele alcance as tensões das linhas de alimentação, ou “rail”, se deve à perdas internas normais.

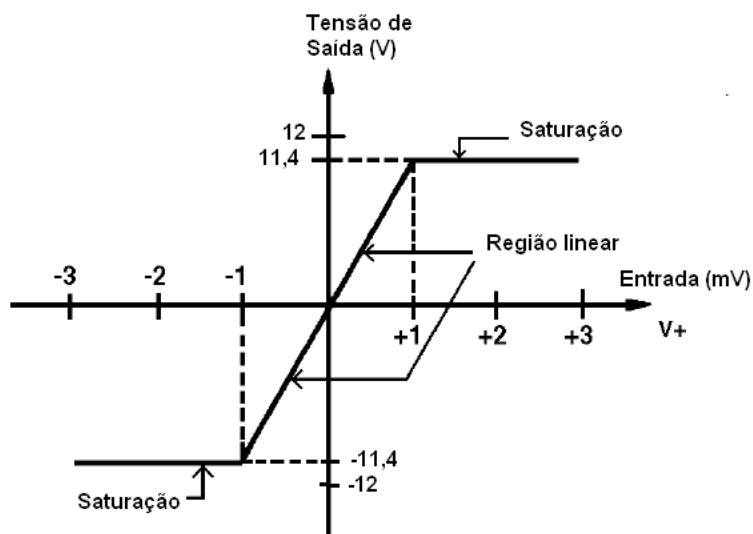


Figura 400 - A saída de um operacional comum não consegue atingir a tensão de alimentação (rail).

Dizemos, nestas condições, que este amplificador operacional não consegue uma excursão da tensão de saída rail-to-rail.

Os $0,6\text{ V}$ de cada lado de um operacional alimentado com $12+12\text{ V}$, não significam muito, e numa aplicação normal, esta diferença não afeta o funcionamento da aplicação. No entanto, a tendência atual é que os circuitos operem com tensões cada vez mais baixas.

Desta forma, se alimentarmos um operacional com 2,7 V, o que dá 1,35 V para cada linha, uma queda de 0,6 V de cada lado, ou 1,2 V seria catastrófica! A saída do amplificador teria uma amplitude de apenas 0,3 V, o que impede o funcionamento do circuito, conforme mostra a figura 401.

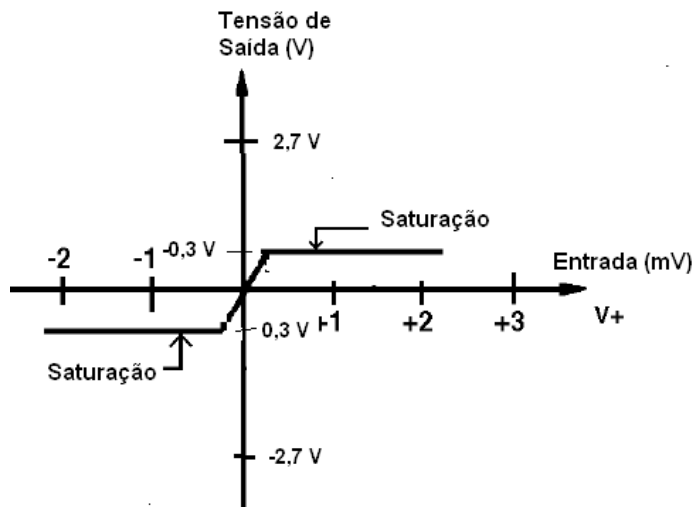


Figura 401 - Com baixas tensões as perdas são inadmissíveis.

Se o amplificador operacional for alimentar circuitos lógicos, conversores A/D, e outras aplicações mais críticas, é absolutamente necessário que o sinal de saída possa excursionar entre os valores da linha de alimentação, ou seja, deve ser capaz de ir de linha a linha ou rail-to-rail, conforme mostra a figura 402.

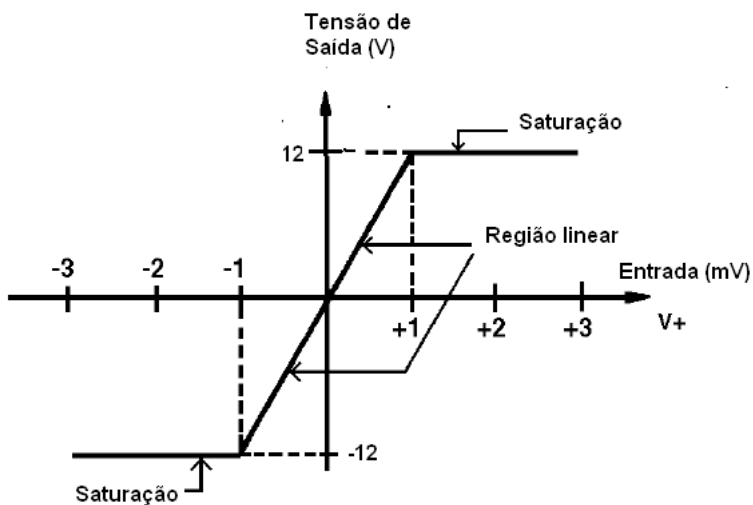


Figura 402 - Nas aplicações críticas de baixas tensões, a saída deve excursionar entre os valores das tensões máxima e mínima de alimentação.

Esta necessidade dos circuitos modernos levou os projetistas a criar amplificadores operacionais com características que possibilitem que suas saídas tenham excursões que se aproximem ao máximo

dos valores das linhas de alimentação, ou seja, estes amplificadores possuem saídas rail-to-rail.

Diversos fabricantes de amplificadores operacionais possuem em sua linha de produtos circuitos integrados que apresentam as características rail to rail, conforme mostra a figura 403.

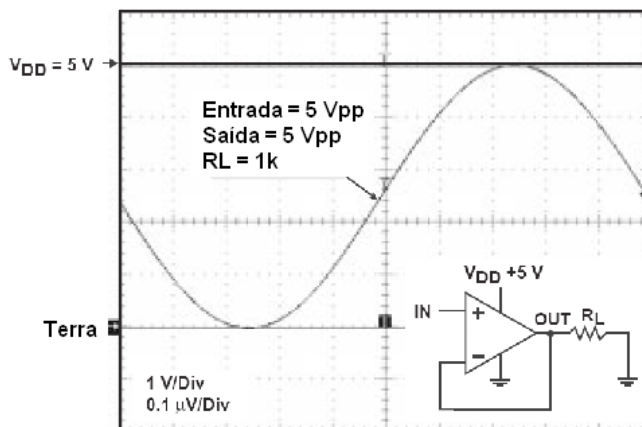


Figura 403 - Observe que o amplificador TLV2462 da Texas Instruments, cuja característica é mostrada, praticamente alcança as tensões das linhas de alimentação quando saturado.

Nas aplicações em que um amplificador operacional deve interfacear circuitos lógicos, microcontroladores e outros dispositivos que precisam que o sinal excursionsse entre os valores da linha de alimentação, tipos especiais com características rail-to-rail devem ser utilizados. Estes amplificadores, denominados também RRO, devem ter etapas de saída especialmente projetadas para que eles possam, tanto fornecer sinais de saída numa faixa dinâmica completa, como também ter características de entrada que permitam que ele opere na mesma faixa.

11.2 - CMRR - Rejeição em Modo Comum

CMRR é o acrônimo para Common Mode Rejection Ratio, ou Relação de Rejeição em Modo Comum. Trata-se de uma característica dos amplificadores operacionais. Quando dois sinais da mesma amplitude, frequência e fase, são aplicados às entradas (inversora e não inversora) de um operacional, eles devem se cancelar e nenhuma saída deve ocorrer.

Na prática, entretanto, um pequeno sinal ainda aparece, sendo especificado em relação ao ganho máximo em termos de atenuação ou rejeição em dB. A capacidade do operacional em rejeitar estes sinais iguais é a rejeição em modo comum sendo medida em dB. Os tipos comuns podem ter CMRR de até 90 dB.

11.3 - Fontes para amplificadores operacionais

Para poder funcionar em sua configuração básica, o amplificador operacional precisa ter tensões de alimentação positivas e negativas, ou seja, precisa ter uma fonte de alimentação simétrica ou dupla.

Isso significa que, partindo da referência ou terra onde a tensão é 0 V, devemos ter um setor da fonte que seja positivo (+V) e outro setor que seja negativo (-V).

A maneira mais simples de se conseguir isso é com duas baterias iguais, por exemplo, de 9 V, conforme o leitor poderá ver na figura 404.

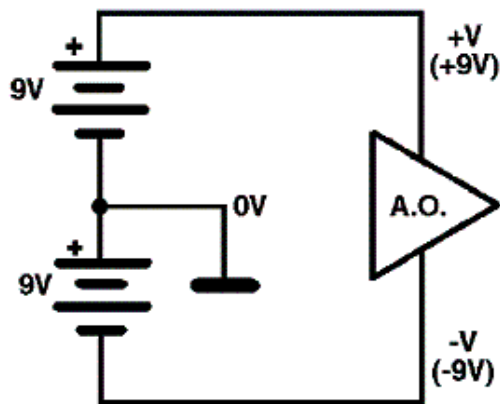


Figura 404 - Fonte simétrica com duas baterias

Ligadas em série, elas fornecem uma tensão de 18 V, mas na junção das duas temos 0 V e em cada extremo, em relação a esta junção, -9 V e +9 V, que servem para a alimentação de um amplificador operacional em seu funcionamento normal. A partir da rede de corrente alternada uma fonte “dupla” ou simétrica é feita conforme o leitor poderá ver na figura 405.

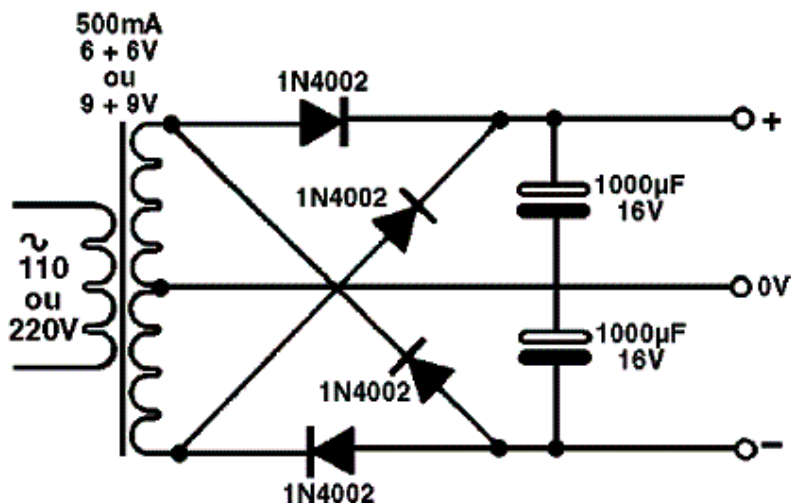


Figura 405 - Fonte simétrica simples com transformador

O importante é que, aplicando certa tensão entre os pontos de alimentação do operacional, precisamos, na maioria das modalidades de funcionamento, de uma tensão intermediária de 0 V que será a referência.

Outra maneira de se conseguir esta tensão de 0 V, ou intermediária, pode ser vista na figura 406. Usamos então um divisor resistivo. Resistores de 1 k ohms a 100 k ohms podem ser empregados neste divisor, dependendo da corrente de operação necessária a polarização dos demais elementos.

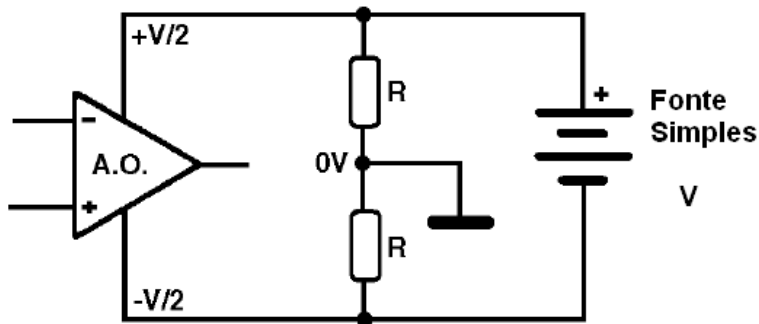


Figura 406 - Fonte simétrica virtual com divisor resistivo

Uma filtragem para este divisor pode ser conseguida, melhorando-se o desempenho do circuito, com o uso de dois capacitores em paralelo com os resistores, conforme o leitor poderá ver na figura 407.

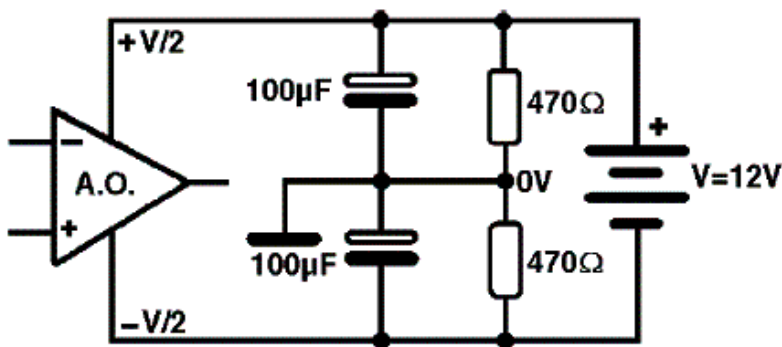


Figura 407 - Desacoplamento com capacitores

Os capacitores podem ter valores entre 100 nF e 100 µF, dependendo da aplicação do circuito. Outra maneira de se conseguir o ponto de 0 V, e assim possibilitar a operação do circuito integrado sem fonte simétrica, é com ajuda de diodos zener, conforme o leitor poderá ver na figura 408.

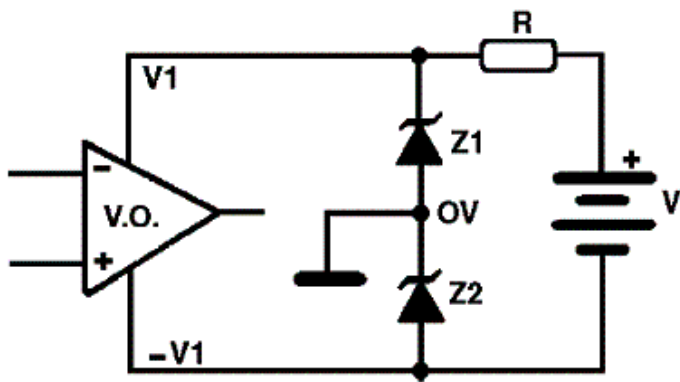


Figura 408 - Fonte simétrica virtual com diodos zener

O resistor R em série com o circuito, é calculado em função da corrente total exigida pelo amplificador operacional. Veja que as correntes típicas dos operacionais em funcionamento são muito baixas, da ordem de no máximo algumas dezenas de miliampères, o que simplifica bastante estas alimentações.

Para o 741, a tensão máxima de operação é de 36 V, ou seja, uma tensão simétrica de 18 - 0 - 18 V. Veja que usando uma fonte comum, que não seja simétrica, com um divisor resistivo na polarização, temos de considerar a tensão de saída do operacional de outra forma.

Assim, partindo do circuito que pode ser visto na figura 409, vemos que o divisor formado pelos dois resistores polariza a entrada inversora com a metade da tensão de alimentação, ou seja, $V/2$.

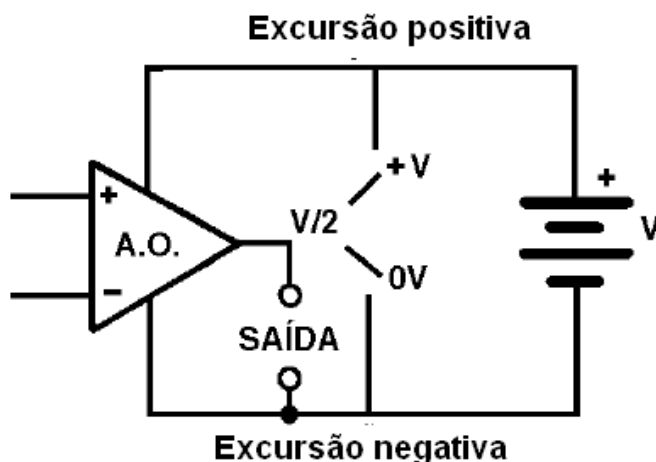


Figura 409 - Excursão negativa da saída do operacional

Na ausência de sinal na outra entrada, teremos na saída exatamente esta tensão (pequenas diferenças internas dos componentes podem fazer este valor oscilar um pouco, mais adiante veremos como compensar isso através de ajustes).

Aplicando na entrada não-inversora um sinal positivo, teremos na saída um aumento da tensão, que então oscilará de $V/2$ até o máxi-

Na seção em que estudamos os reguladores de tensão pode-se ver que podemos usar reguladores de tensão tanto positivos como negativos para obter fontes simétricas reguladas.

mo possível, que é V . Por outro lado, se o sinal for negativo, a tensão de saída oscilará de $V/2$ até 0 que é o menor valor admitido.

Teremos então uma curva de transferência, conforme o leitor poderá observar na figura 410.

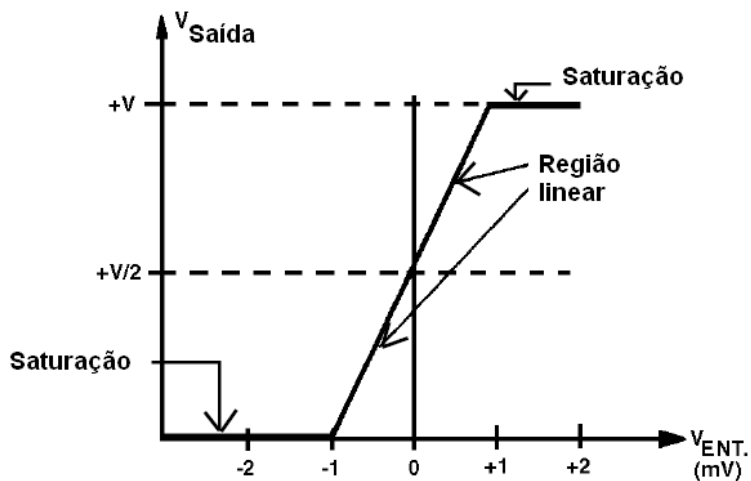


Figura 410 - Curva de transferência positiva de um operacional com fonte simples

Observe que, na verdade, com o uso de uma fonte comum podemos “deslocar” a curva de transferência para cima, obtendo ainda o funcionamento do operacional, tanto com sinais de positivos como negativos.

11.4 - Aplicações Práticas

O ganho elevado de um amplificador operacional também significa certa instabilidade de funcionamento e uma redução de sua capacidade de amplificar sinais de frequências mais elevadas. Desta forma, em alguns casos, é preciso reduzir propositalmente este ganho através de recursos externos.

Assim, quando nos referimos ao ganho de um amplificador operacional em condições naturais de funcionamento, ou seja, sem nenhum dispositivo para controlar este ganho, dizemos que se trata de “ganho sem realimentação” ou do inglês “Open Loop” (laço aberto).

O controle do ganho de um amplificador operacional é conseguido com a utilização de dois resistores, conforme mostra a figura 411.

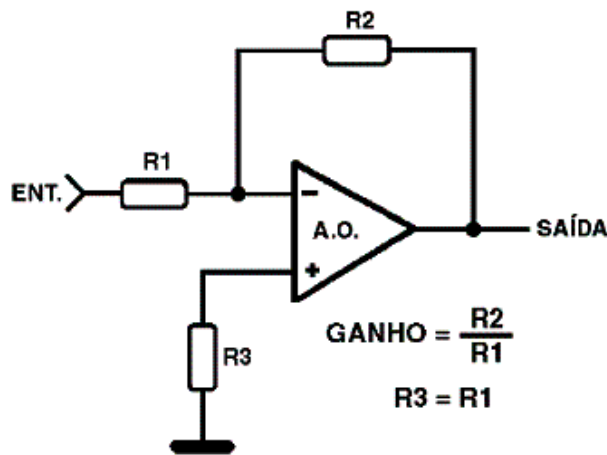


Figura 411 - Como controlar o ganho de um operacional

O que fazemos, é realimentar o sinal, retirando-o da saída e aplicando-o à entrada inversora. Temos então um efeito de realimentação negativa, que reduz o ganho de um fator que pode ser calculado. Dizemos que, nestas condições, o amplificador operacional funciona com realimentação ou em “closed loop” (laço fechado) do inglês.

Com a ligação de um resistor (R2) para a realimentação, e outro para a entrada (R1), não só o ganho do circuito fica modificado, como também outras características. Assim, o novo ganho será dado pela relação entre R2 e R1. A impedância de entrada ficará reduzida para o valor de R1.

Veja que este é um amplificador inversor. Para um ganho de 100 vezes podemos usar os componentes que o leitor pode verificar na figura 412, onde o amplificador operacional é um 741.

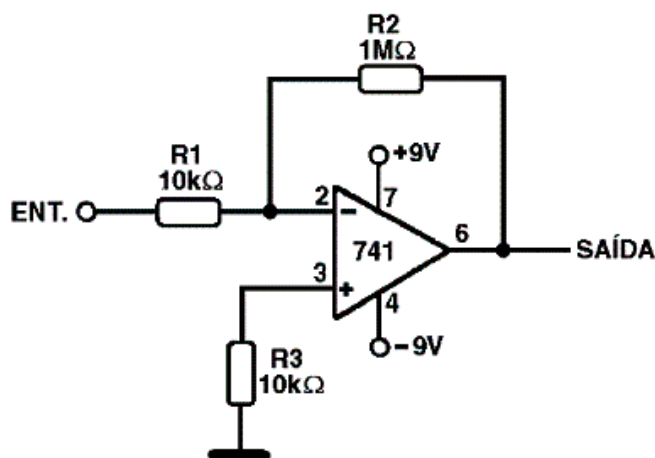


Figura 412 - Amplificador com ganho 100

A impedância de entrada é de 10 k ohms neste circuito.

Para obtermos o mesmo “ajuste” do ganho para um amplificador não inversor, podemos usar o circuito que o leitor pode ver na figura

413. Neste circuito, o valor obtido da soma de R1 com R2 dividido pelo valor de R1 resultam no ganho do amplificador operacional.

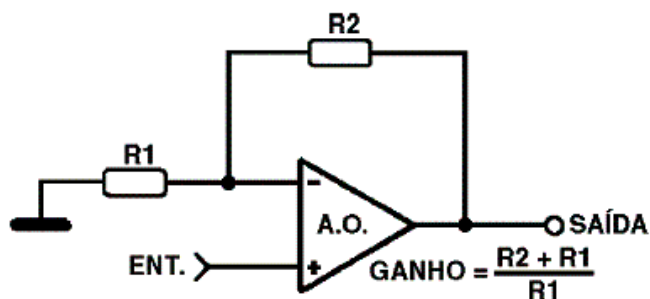


Figura 413 - O ganho de um amplificador não inversor

Uma configuração muito importante do amplificador operacional é o chamado “Seguidor de Tensão”, cujo circuito pode ser visto na figura 414.

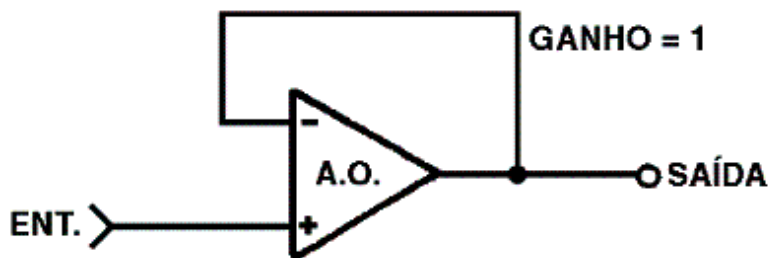


Figura 414 - O seguidor de tensão

Neste circuito, a saída é ligada diretamente à entrada inversora, de modo a termos uma realimentação total. O resultado disso é que o circuito passa a ter ganho unitário, ou seja, as variações da tensão da saída serão as mesmas da tensão de entrada.

Um sinal de 1 V de amplitude aplicado à entrada resultará num sinal de 1 V de amplitude na saída. Qual é a vantagem disso?

A primeira vantagem é que, com esta configuração, a impedância de entrada do circuito fica enormemente aumentada. Basicamente, ela será o ganho do circuito, sem realimentação (100 000 no caso do 741), multiplicado pela impedância sem realimentação (que no caso do 741 é 1 000 000).

Obtemos então com este circuito a fantástica impedância de entrada de 100 000 000 000 ohms!

Na prática, este valor será menor, pois devemos considerar eventuais fugas e resistências indevidas dos componentes internos equivalentes, mas mesmo assim ela será muito grande.

Como a impedância de saída continua sendo muito baixa, da ordem de 150 ohms, é fácil verificar que, se não temos um ganho efetivo de tensão, temos um ganho de corrente, ou seja, também um ganho de potência muito alto, conforme mostra a figura 415.

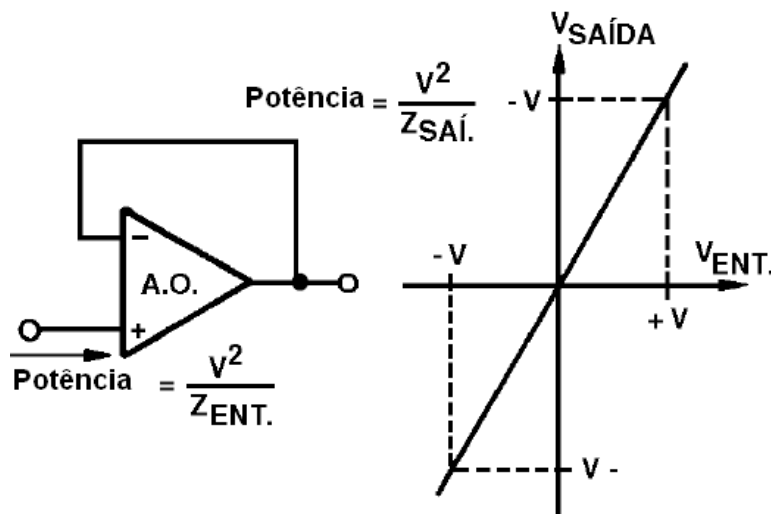


Figura 415 - A potência do seguidor de tensão

Assim, se aplicarmos 1 volt na entrada, o que corresponde à circulação de uma corrente extremamente pequena sobre um resistor de 10 elevado ao expoente 12 ohms, na saída teremos uma corrente bem maior que resultará em 1 V sobre uma carga de 150 ohms. O ganho de potência será muito grande!

Outra vantagem importante deste circuito é que, reduzindo o ganho também aumentamos a capacidade do operacional em trabalhar com sinais de frequências mais elevadas. Podemos então explorar bem mais suas possibilidades. O seguidor de tensão é muito usado em instrumentação quando queremos isolar o circuito a ser analisado do circuito do instrumento em si, ou seja, casando uma alta impedância com uma baixa impedância.

Outro amplificador operacional, seguindo o primeiro, faria o aumento da intensidade do sinal se necessário, conforme o leitor poderá constatar na figura 416.

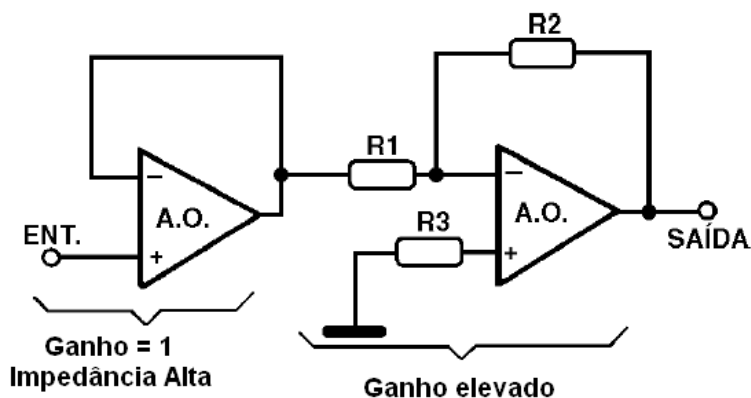


Figura 416 - Ligando dois operacionais em cascata para obter elevado ganho e alta impedância de entrada

Na Prática

Já falamos que os amplificadores operacionais não são muito apropriados para o trabalho com os sinais digitais. No entanto, os circuitos que vimos, como o seguidor de tensão, podem aparecer no interfaceamento de muitos circuitos analógicos com circuitos digitais. Muitos instrumentos, ou mesmo placas coletoras de dados, têm por função transformar sinais que consistem em tensões ou correntes variáveis (na forma analógica, portanto) em sinais digitais, depois de passarem por uma amplificação. Nestes instrumentos, poderemos então encontrar os amplificadores operacionais nas configurações que estudamos nesta lição.

Nas aplicações práticas é interessante, às vezes, podermos variar o ganho de um amplificador operacional. Isso pode ser conseguido facilmente através de um potenciômetro ligado conforme mostra a figura 417.

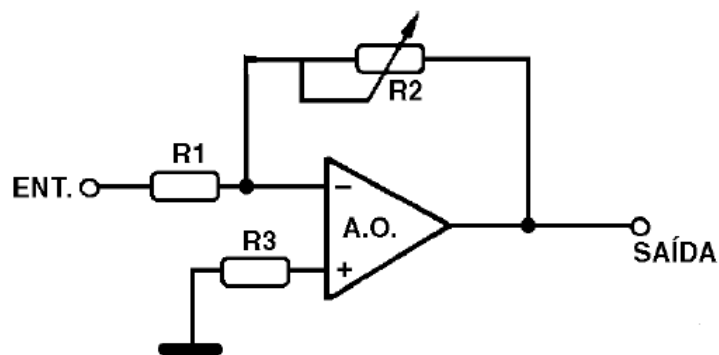


Figura 417 - Obtendo ganho ajustável

Na prática, um dos problemas que podem ocorrer com um circuito utilizando um amplificador operacional é que, devido às diferenças de valores entre os componentes internos, em vista da tolerância, mais às variações que ocorrem com a temperatura, aparece um desequilíbrio de funcionamento.

Assim, mesmo na ausência de sinal nas entradas, a tensão na saída pode não ser zero ou metade da alimentação, conforme a polarização, mas deslocar-se para cima ou para baixo, como uma forma de desequilíbrio, conforme o leitor poderá ver na figura 418.

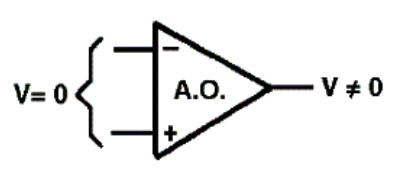


Figura 418 - O offset de um operacional

Para compensar este efeito, muitos amplificadores operacionais, como o 741, são dotados de recursos para se obter o equilíbrio com

ajuda de um componente externo. Trata-se do ajuste de “offset”, ou ajuste de fuga que também é especificado por “offset null”. Este ajuste é feito por um trimpot ligado na forma que o leitor poderá ver na figura 419.

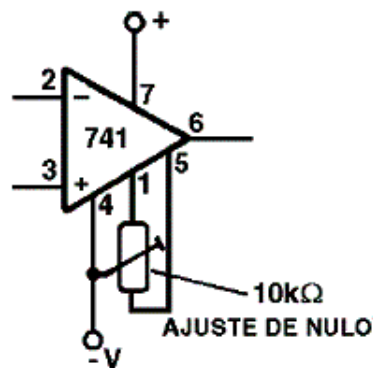


Figura 419 - O ajuste de nulo do 741

Os circuitos que vimos são basicamente amplificadores de sinais de muito baixas frequências, ou correntes contínuas. No entanto, os amplificadores operacionais também podem trabalhar com sinais de áudio ou corrente alternada. Para isolar as correntes de polarização do sinal propriamente dito, fazemos como nos circuitos transistorizados comuns ou valvulados, colocando capacitores de valores apropriados.

Veja na figura 420 um amplificador para sinais de áudio, ou corrente alternada, usando um amplificador operacional comum, e que tem ganho de 100 vezes.

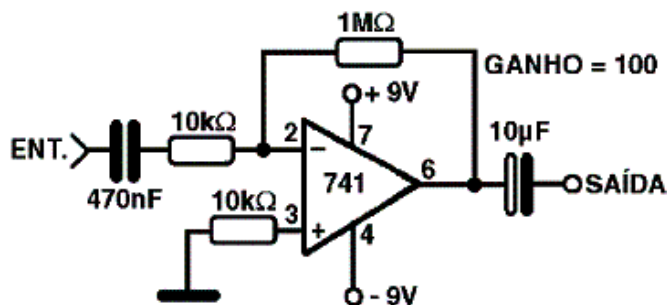


Figura 420 - Um operacional amplificando sinais

Os capacitores devem ser escolhidos de modo a apresentarem uma reatância capacitiva muito baixa, ou desprezível, em relação à do circuito na frequência de operação. Para sinais de áudio é comum usarmos, no caso do 741, capacitores de 10 nF a 1 μF na entrada e de 1 μF a 100 μF na saída.

Para excitar cargas de maior potência, os amplificadores operacionais podem ser acoplados a diversos tipos de circuitos com transistores.

Veja na figura 421 uma maneira simples de excitar uma carga com o uso de um transistor, mas operando com polaridade única.

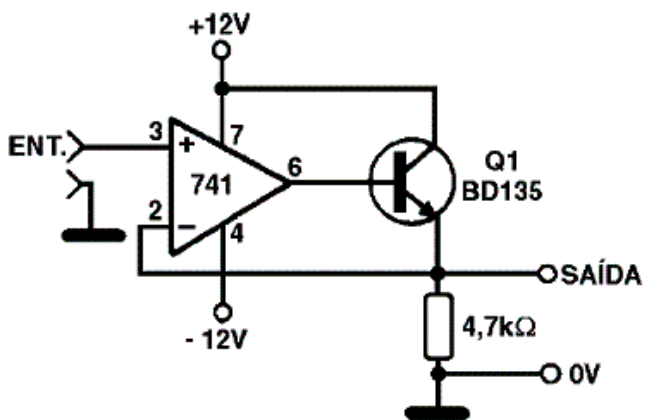


Figura 421- Etapa de potência usando um transistor NPN

Neste circuito, com ganho unitário (seguidor de tensão), quando a tensão de entrada varia de 0 a 12 V, a tensão na carga (saída) varia aproximadamente na mesma proporção. No entanto, enquanto a corrente drenada na entrada é desprezível, a saída pode suprir correntes de mais de 100 mA.

Para termos uma amplificação também dos sinais negativos, podemos usar o circuito que poderá ser visto na figura 422.

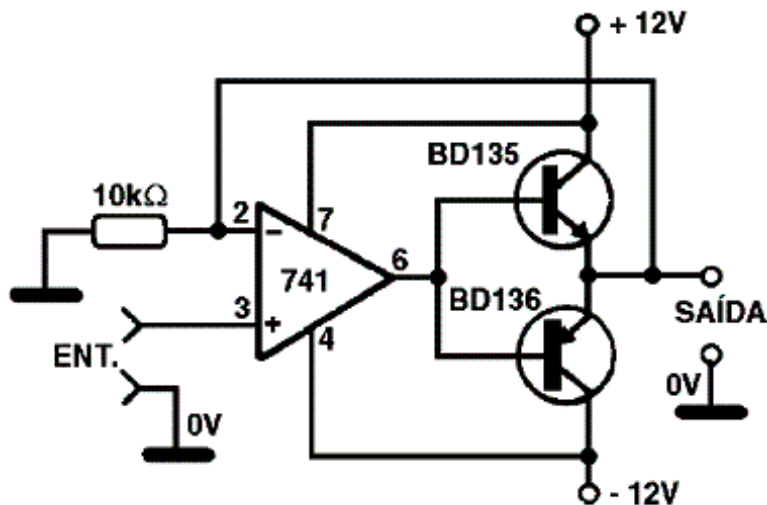


Figura 422 - Etapa de potência complementar com transistores

Neste caso temos dois transistores complementares. O primeiro (NPN) conduz quando a tensão na saída varia entre aproximadamente 0,6 V e 12 V, enquanto que o PNP conduz quando a tensão na saída varia entre -0,6 e aproximadamente -12 V. A corrente máxima na carga pode chegar a 100 mA ou mais.

A configuração da figura 423 pode ser interessante para excitar relés.

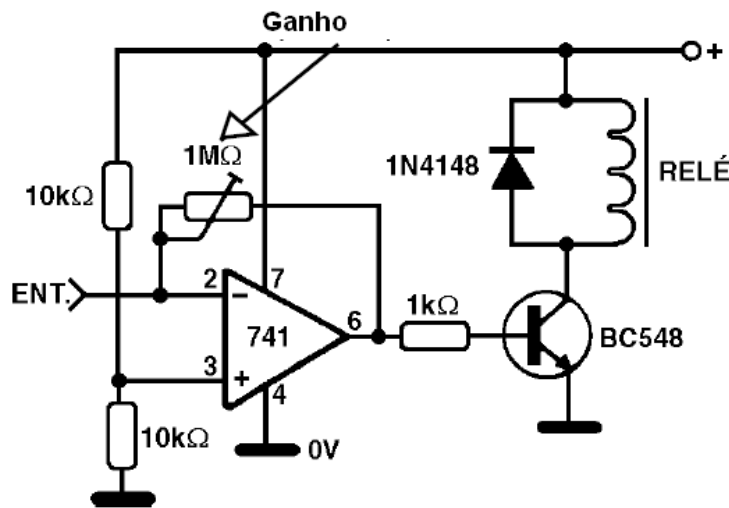


Figura 423 - Etapa de potência para excitação de relés

Comparadores de tensão

Um tipo importante de circuito integrado, que consiste numa variação do amplificador operacional, é o comparador de tensão. Trata-se de um operacional de alto ganho que compara as tensões de entrada, fornecendo uma saída no nível alto conforme uma entrada seja maior, ou menor que a outra.

11.5 - Osciladores e filtros

Os amplificadores operacionais também encontram uma larga gama de aplicações como osciladores de baixas frequências, e ainda na seleção de sinais de determinadas frequências, ou seja, como filtros.

Dependendo da configuração, podemos fazer com que os amplificadores operacionais produzam sinais retangulares, senoidais ou triangulares.

Nos circuitos lógicos em geral temos a predominância de sinais digitais, mas existem muitos equipamentos que fazem uso de sinais analógicos em determinados pontos, como amplificadores de áudio, alarmes, modems, receptores e transmissores de rádio, etc. Neles podemos ter pontos em que a presença de um amplificador operacional, funcionando como oscilador ou filtro, não será uma surpresa.

Na figura 424 temos a configuração mais simples de oscilador usando um amplificador operacional.

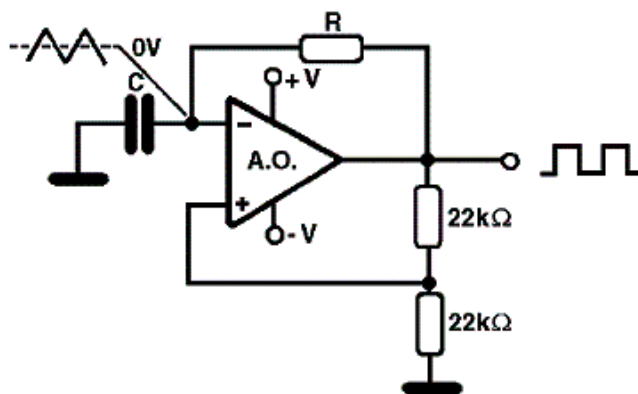


Figura 424 - Amplificador operacional como oscilador de relaxação

Trata-se de um oscilador de relaxação, que funciona da seguinte maneira: partindo da situação inicial, em que C se encontra totalmente descarregado, ligando-se o circuito teremos na entrada inversora uma tensão próxima do máximo negativo ($-V$), e que começa a subir em direção ao máximo positivo, ($+V$) com a carga do capacitor.

Neste instante inicial, a saída estará no máximo positivo, dada a ação regenerativa do circuito que mantém a carga do capacitor através de R e, ao mesmo tempo, estabelece na entrada não-inversora (+) uma tensão de $+V/2$. Quando a tensão na entrada inversora e, portanto, no capacitor passa por zero em direção ao máximo positivo, ocorre a comutação do integrado.

Nesta passagem, a tensão na entrada (-) se torna maior que na entrada de referência ou não inversora (+). Com isso, a saída que era de tensão máxima ($+V$), passa imediatamente a ($-V$).

O resultado é que, agora o capacitor C começa a se descarregar por R e, assim, a tensão na entrada inversora a cair. A referência, ou seja, a tensão aplicada à entrada não-inversora, com a comutação, passa a ser $-V/2$, ou seja, metade da tensão negativa de alimentação.

A tensão no capacitor pode então cair até este valor, antes que nova comutação ocorra. Neste ponto, a saída vai à tensão positiva máxima ($+V$), a referência muda para $+V/2$, e o capacitor inicia nova carga até que ocorra outra comutação.

Veja que a forma de onda no capacitor é aproximadamente triangular e que na saída, temos uma forma de onda retangular. Um circuito como este pode operar em frequências de até algumas dezenas de quilohertz, usando um 741.

Na figura 425 temos os valores dos componentes para um oscilador de 1 kHz.

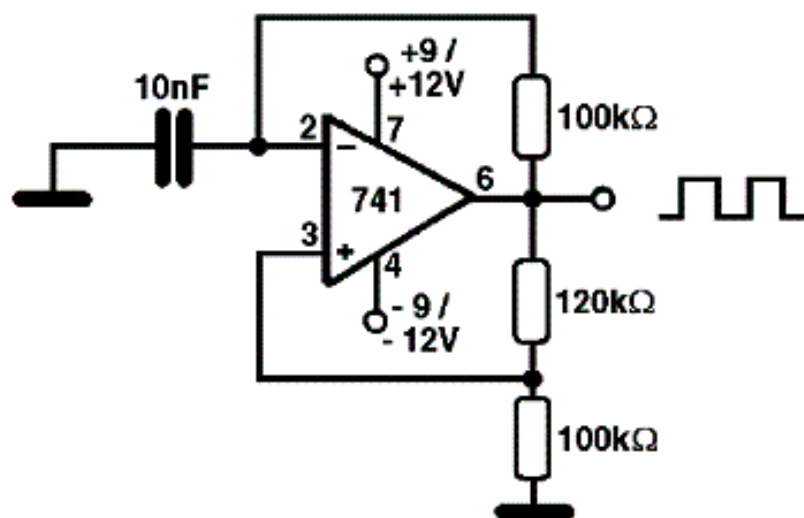


Figura 425 - Oscilador de 1 kHz com o 741

11.5.1 - Cálculos para o oscilador com Amplificador Operacional

Obs: O circuito que ensinamos calcular aqui pode ser visto em funcionamento na seção de Circuitos Simulados - NE0056, do site do autor com pequenas alterações.

Neste artigo mostramos como calcular a frequência de um oscilador de grande utilidade para a produção de sinais de baixas frequências na faixa de alguns hertz a perto de 100 kHz. Trata-se do oscilador retangular com amplificador operacional, cuja configuração é mostrada na figura 426.

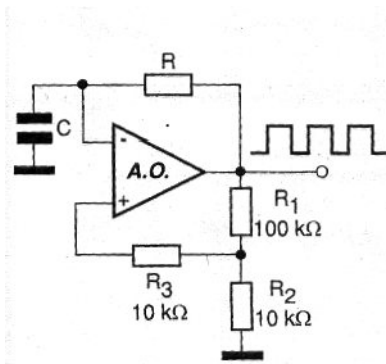


Figura 426 - Configuração básica do oscilador.

Nesse oscilador, os resistores R e R₂ tipicamente mantêm uma relação de 10:1, para se obter um sinal retangular de boa qualidade na saída. Os valores mostrados no circuito são típicos para amplificadores operacionais comuns, como o conhecido 741. Observe que a fonte de alimentação deve ser simétrica com valores compatíveis com o amplificador operacional empregado. A forma de onda na saída é retangular, mas na rede RC que determina a frequência temos um sinal dente de serra que corresponde à carga e descarga de C. É justamente essa rede que determina a frequência de operação do circuito.

Cálculos

A fórmula empírica que permite calcular a frequência desse oscilador é:

$$f = 1/(6 \times R \times C)$$

Onde:

f é a frequência em hertz (Hz)

C é a capacitância em farads (F)

R é a resistência em ohms (Ω)

Exemplo de aplicação:

Calcular o valor de C no circuito mostrado na figura 427, para que ele gere um sinal de 10 kHz.

Fórmulas empíricas

Lembramos que as fórmulas empíricas são muito utilizadas em eletrônica. As fórmulas exatas podem conter constantes e fatores que são pouco relevantes num cálculo comum, quando se leva em conta a tolerância dos componentes usados. Assim, muitas fórmulas podem ser bem simplificadas se tais fatores forem removidos e mesmo assim, dentro de uma boa faixa de valores de componentes "elas funcionam". De nada adianta fazer um cálculo complicado que vai dar uma diferença de apenas 1% em relação a um cálculo usando uma fórmula mais simples, se as tolerâncias dos componentes utilizados são maiores do que 5%.

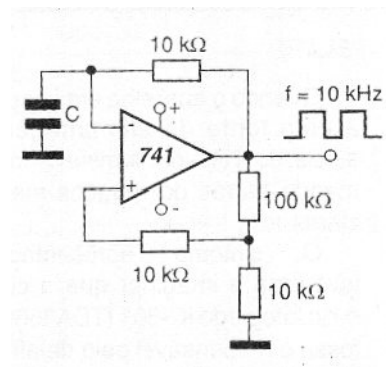


Figura 427 - Calcular C para a frequência desejada.

Temos:

$$f = 10 \text{ kHz}$$

$$R = 10 \text{ k ohms}$$

$$C = ?$$

Usando potências de 10 para expressar os valores a serem utilizados temos:

$$f = 10^4 \text{ Hz}$$

$$R = 10^4 \text{ ohms}$$

$$C = ?$$

Aplicando esses valores na fórmula temos:

$$10^4 = 1/(6 \times 10^4 \times C)$$

Isolando C:

$$C = 1/6 \times 10^{-8}$$

$$C = 0,166 \times 10^{-8}$$

$$C = 0,00166 \text{ uF} = 1,6 \text{ nF}$$

Outro tipo de oscilador, que podemos elaborar com um amplificador operacional, é o que faz uso do duplo T, qual já estudamos com os transistores.

No caso, basta ligar o duplo T calculado para a frequência desejada entre a saída e a entrada inversora, conforme mostra o circuito que pode ser visto na figura 428.

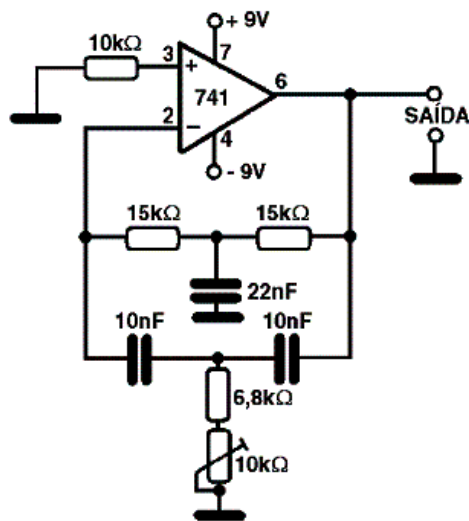


Figura 428 - Oscilador de duplo T

O duplo T provoca uma defasagem no sinal, de modo a proporcionar a realimentação que mantém o circuito em operação. Os valores dados no circuito permitem a produção de um sinal senoidal de 1 kHz.

Para a elaboração de filtros, usando amplificadores operacionais, existem duas disposições possíveis que podem ser vistas na figura 429.

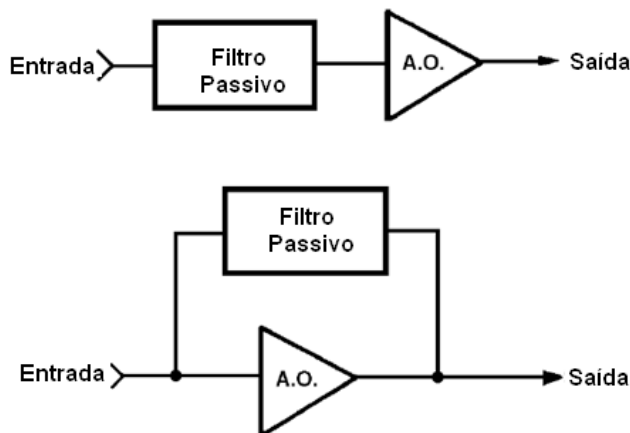


Figura 429 - Configurações para os filtros

Num primeiro caso, colocamos na entrada do amplificador operacional um filtro passivo que deixa passar ou bloqueia os sinais desejados. No segundo caso, o filtro propriamente dito formado por componentes passivos (resistores, capacitores e, eventualmente, indutores) é ligado entre a saída e entrada, de modo a proporcionar certa realimentação seletiva, ou seja, que depende da frequência do sinal.

Basicamente, existem três tipos de filtros cujas curvas podem ser vistas na figura 430.

Equivalentes transistorizados

Veja que nestes circuitos, o amplificador operacional é o elemento ativo, fazendo as mesmas funções de um transistor. Assim, podemos ter as mesmas configurações de osciladores que estudamos com os transistores nos capítulos anteriores, mas baseadas em amplificadores operacionais. A limitação está apenas no fato de que os amplificadores operacionais, dependendo do tipo, não alcançam as mesmas frequências que os equivalentes com transistores.

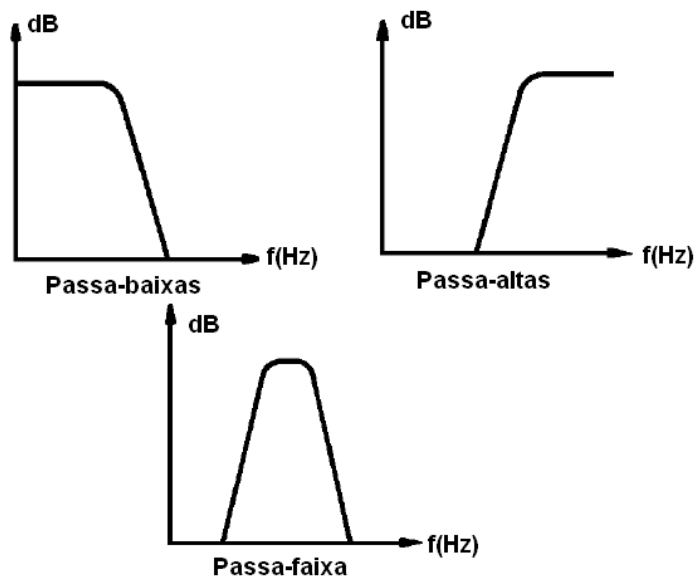


Figura 430 - Tipos de filtros

O primeiro é o filtro “passa-baixas” que, conforme o nome diz, deixa passar as freqüências que estão abaixo de um determinado valor. O segundo é o filtro “passa-altas”, que deixa passar as freqüências que estão acima de um determinado valor.

O terceiro filtro é o “passa-faixa” ou “passa-banda”, que deixa passar uma faixa intermediária de freqüências, situada entre dois valores, ou centralizada num certo ponto do espectro. Uma variação do terceiro tipo, cuja curva poderá na figura 431, é o filtro que rejeita uma certa faixa, ou seja o filtro rejeitor de faixa (“notch”, em inglês).

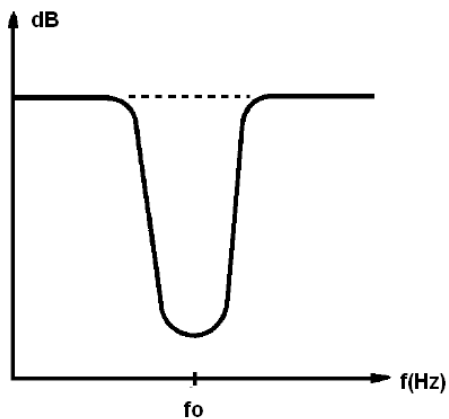


Figura 431 - Filtro rejeitor de faixa (notch)

Analisemos algumas configurações de filtros que podemos obter na prática, usando amplificadores operacionais. Na figura 432 vemos um filtro simples “passa-baixas” cuja freqüência, onde sua ação ocorre, é dada pela fórmula no próprio diagrama e dependendo dos valores dos resistores e capacitores usados.

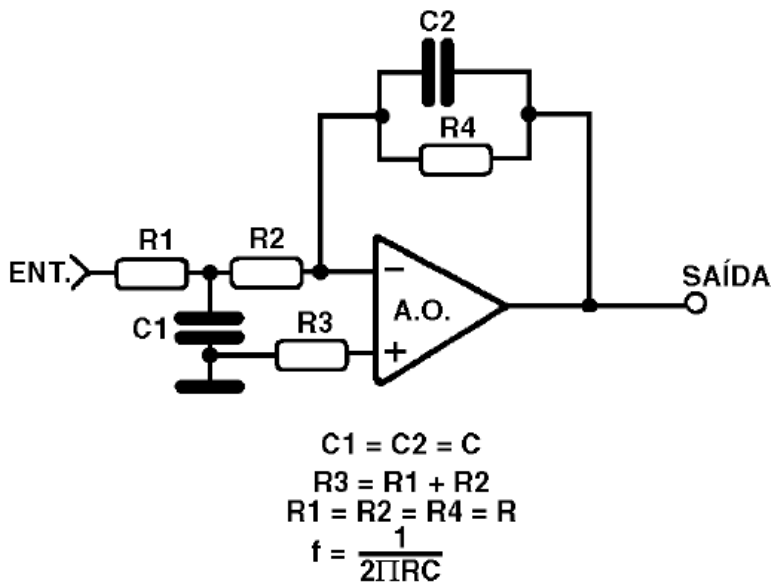


Figura 432 - Filtro passa-baixas com amplificador operacional.

Veja na figura 433 um filtro “passa-altas”, também bastante simples, usando capacitores e resistores.

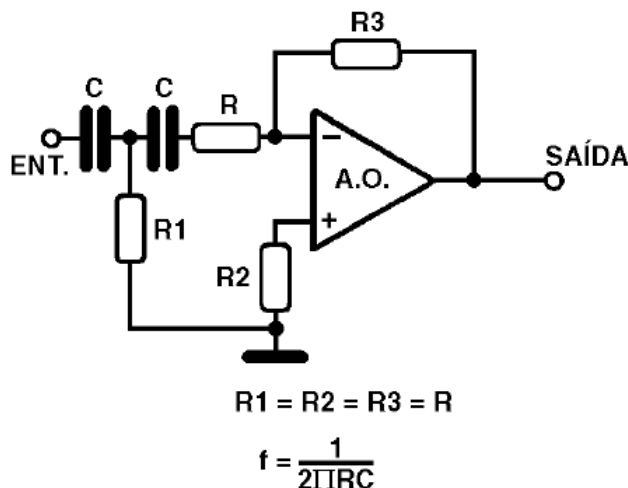


Figura 433 - Filtro passa-altas com operacional

A fórmula que determina os valores dos componentes, em função da frequência, é dada junto ao diagrama. É importante observar que estes filtros, assim como todos os demais que existem, não possuem uma ação rápida no corte das frequências que estão acima do valor previsto.

O que ocorre é que chegando no valor calculado, por exemplo, para um filtro passa-baixas, as frequências além destes valores vão sendo gradualmente atenuadas, ou seja, bloqueadas com cada vez mais eficiência. O filtro tem uma ação “suave”, normalmente sendo medida em termos de decibéis por oitava (dB/oitava).

O db (decibel) é uma unidade logarítmica que serve para medir a intensidade de sinais. Para nós, como informação básica de nosso curso, basta saber que tanto mais “eficiente” é a ação de um filtro quanto maior for sua ação em dB por oitava.

Filtros mais complexos têm uma ação mais efetiva a partir da frequência para os quais são projetados. Um deles é o chamado “Butterworth”, que no caso de um amplificador operacional poderá ser visto na figura 434.

As atenuações e ganhos de amplificadores e filtros normalmente são expressas em Db.

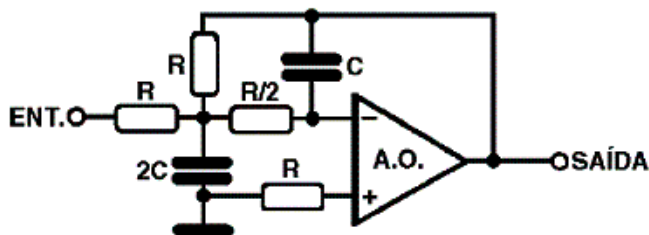


Figura 434 - Filtro Butterworth passa-baixas

No caso, temos um filtro “passa-baixas”, onde os valores são calculados para os componentes da maneira que já vimos nos exemplos anteriores.

Nos filtros “passa-baixas” existe um fator importante que precisa ser analisado, e que é válido também para circuitos ressonantes LC.

No circuito que pode ser visto na figura 435, em que temos uma determinada frequência que deve passar, as frequências que estão muito próximas desse valor não são totalmente bloqueadas. Existe, pois uma “capacidade” do filtro em reconhecer somente a frequência que deve passar e que é medida através de um fator de qualidade ou fator Q.

Seletividade
Veja no Curso Básico - volume 1 - mais informações sobre o que é seletividade ou fator Q de um circuito sintonizado.

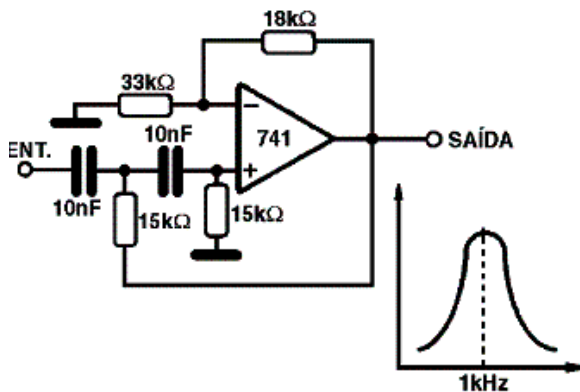


Figura 435 - A curva de resposta de um filtro

Se um filtro tem um fator Q elevado, sua capacidade de diferenciar a frequência desejada das frequências próximas é grande, e ele é

mais “seletivo”. Por outro lado, se o fator Q é baixo, sua capacidade de diferenciar a frequência desejada é menor, e ele será menos seletivo. Na figura 436 podemos ver estas diferenças na forma de gráficos.

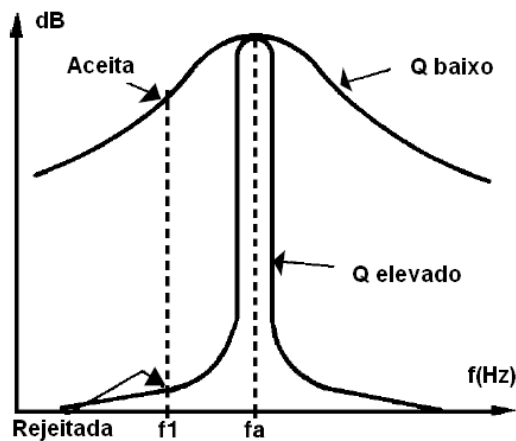


Figura 436 - Curvas de seletividade

Podemos aumentar o fator Q de um filtro, ligando diversas seções em série, conforme poderemos ver na figura 437.

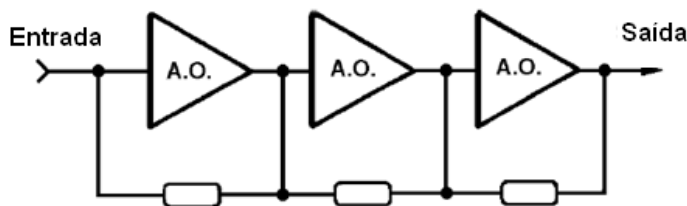


Figura 437 - Aumentando a seletividade com diversas seções de um filtro

11.6 - O Circuito Integrado 555

O circuito integrado 555 (também vendido como CA555, LM555, NE555, MC1555, etc.) consiste num timer de grande versatilidade, que é apresentado em invólucro DIL de 8 pinos, conforme o leitor poderá ver na figura 438, onde também temos o circuito equivalente interno e sua aparência.

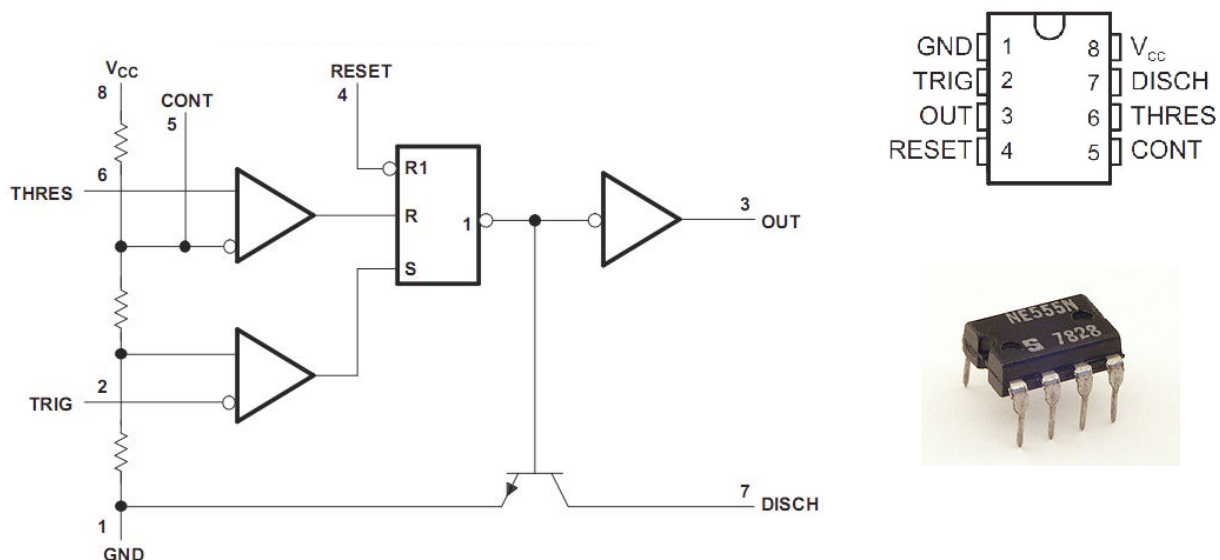


Figura 438 - O circuito integrado 555

Com este circuito integrado podemos fazer tanto temporizadores como osciladores, o que significa que ele opera em duas configurações básicas: monoestável e astável.

Também podemos encontrar o 555 em invólucros duplos, que contém dois 555, caso do 556 e uma versão CMOS de baixo consumo, o TLC755.

11.6.1 - Monoestável

Na configuração monoestável, ele é ligado conforme o leitor poderá ver na figura 439.

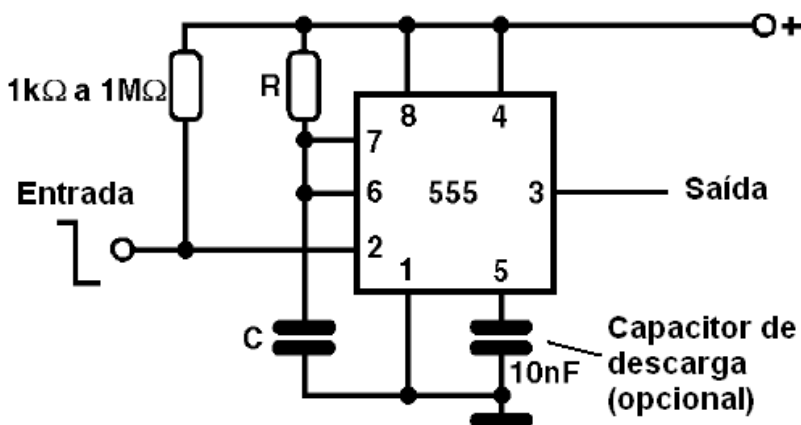


Figura 439 - O astável 555

Sua alimentação pode ser feita com tensões entre 5 V e 18 V. Com alimentação de 5 V, ele pode ser ligado diretamente a circuitos

lógicos e mesmo a uma porta paralela de computador, o que permite usá-lo em aplicações que envolvam o interfaceamento com um PC.

A entrada deste integrado, que corresponde ao pino 2, deve ser mantida positiva, ou seja, com uma tensão próxima a da fonte de alimentação, o que é conseguido com um resistor cujo valor pode ficar entre 1k ohms e 1M ohms. Nestas condições, a saída do integrado (pino 3) se mantém sem tensão, ou seja, apresentando 0V.

Se ligarmos alguma coisa como, por exemplo, um LED, uma lâmpada ou um pequeno motor na saída deste integrado, não haverá alimentação para seu funcionamento. No entanto, se por um momento ligarmos a entrada (pino 2) do integrado ao ponto de 0 V do circuito, ocorre seu disparo.

Sua saída passará então a apresentar uma tensão positiva igual a da alimentação, podendo alimentar o circuito externo, por exemplo, acendendo um LED, uma lâmpada, ativando um relé ou ainda motor.

Veja, entretanto, que a saída não permanece ativada permanentemente, mas por um intervalo de tempo que é determinado pelo capacitor C e pelo resistor R. A saída ficará “ligada” por um intervalo que é calculado pela fórmula:

$$T = 1,1 \times R \times C$$

Onde:

R é o valor do resistor em ohms

C é o valor do capacitor em farads

Para um capacitor de 1 000 μ F e um resistor de 1 megohms, temos:

$$C = 1\,000\ \mu\text{F} = 1\,000 \times 10^{-6} = 10^{-3}\ \text{F}$$

$$R = 1\ \text{M} = 10^6\ \text{ohms}$$

(Veja que fizemos a conversão de microfarads em farads, e de megohms em ohms, para poder usar a fórmula).

$$T = 1,1 \times 10^6 \times 10^{-3}$$

$$T = 1\,100\ \text{segundos} \text{ ou } 18,3\ \text{minutos.}$$

A saída do integrado ficará ativada, então, por 18,3 minutos, desligando depois automaticamente. Veja que isso acontece mesmo que o pulso de disparo, ou seja, a duração do aterramento do pino 2, seja de apenas uma fração de segundo.

Se usarmos um potenciômetro no lugar de R, poderemos “ajustar” os intervalos de tempo obtidos e assim obter um temporizador.

11.6.2 - Astável

Nesta configuração, o 555 funciona como um oscilador. Na figura 440 temos as ligações dos componentes externos.

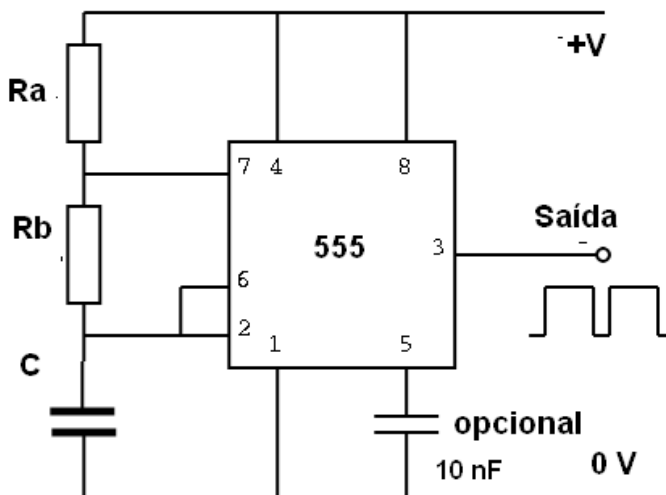


Figura 440 - O 555 astável

Como oscilador, a saída passa de 0 V para positivo e depois de positivo para 0 V, voltando em seguida a positivo, num ciclo que dura enquanto houver alimentação.

A freqüência em que esta mudança de nível da saída ocorre, depende dos valores de R_a , R_b e C . A fórmula que permite calcular esta freqüência é:

Onde

f é a freqüência em hertz

R_a e R_b são os valores dos resistores em ohms

C é o valor do capacitor em Farads.

O pino 4 do 555, nesta configuração, serve para controlar as oscilações. Se este pino estiver ligado ao positivo da alimentação, como na figura 440, o oscilador entra em funcionamento tão logo seja ligado. No entanto, se este pino for ligado ao 0 V, ele pára de funcionar. Podemos usar este pino para “modular” o oscilador, ou seja, ligá-lo e desligá-lo compassadamente, fazendo assim aplicações intermitentes.

11.6.3 - Instruções de uso do 555

Alguns cuidados devem ser observados pelos leitores que a partir de agora desejam fazer projetos com o integrado 555.

- O integrado dispara quando a tensão no pino 2 cai para 1/3 da tensão de alimentação.

- O resistor R na versão monoestável não deve ser menor que 1 k ohms, e nem maior que 2,2 M ohms.
- Na versão astável os mesmos valores da versão monoestável devem ser observados.
- O capacitor, para duas versões, não deve ser menor que 100 pF e nem maior de 1 000 μ F.
- Não ligue carga na saída (pino 3) que exija mais de 200 mA do integrado. Um alto-falante, por exemplo, não pode ser excitado diretamente e nem um LED sem um resistor limitador de corrente.
- Não faça osciladores que gerem mais de 100 kHz, pois o 555 não pode passar desta frequência. O 7555 chega aos 500 kHz.
- Na versão monoestável, o resistor que polariza o pino 2 não deve estar fora da faixa de 1 k ohms a 2,2 M ohms. Levando em conta as condições acima o leitor não terá dificuldades em criar inúmeros projetos usando este integrado.

Termos em Inglês

Termos relacionados aos amplificadores operacionais, osciladores e filtros.

Simetric supply - fonte simétrica

Gain - ganho

Common mode - modo comum

Ratio - relação

Feedback - realimentação

Inverting input - entrada inversora

Non inverting input - entrada não inversora

Offset - fuga

Null Adjust - ajuste de nulo

Band pass- passa banda ou passa faixa

Notch - rejeitor

Astable - estável

Monostable - monoestável

High pass - passa altas

Low pass - passa baixas

Termos para pesquisa

* Amplificadores operacionais

* 741

* 555

* Filtros

* Fontes simétricas

* Comparadores de tensão

* Seletividade

QUESTIONÁRIO

1. Com que finalidade foram desenvolvidos originalmente os amplificadores operacionais?

- a) para amplificar sinais intensos
- b) para gerar sinais de rádio
- c) para realizar operações matemáticas
- d) para realizar cálculos digitais

2. O que acontece com a fase de um sinal aplicado à entrada inversora de um amplificador operacional?

- a) mantém
- b) adianta
- c) inverte
- d) diminui

3. O que devemos fazer para controlar o ganho de um amplificador operacional?

- a) aumentar a tensão de alimentação
- b) atuar sobre a realimentação
- c) usar capacitores de desacoplamento
- d) ligar um potenciômetro na entrada inversora

4. Como deve ser uma fonte normal para um amplificador operacional?

- a) Normal
- b) de alta tensão
- c) alternada
- d) simétrica

5. Qual é o ganho de um seguidor de tensão com amplificador operacional?

- a) 0
- b) 1
- c) 100
- d) variável

6. O que ocorre com a impedância de entrada de um amplificador operacional quando o usamos como seguidor de tensão?

- a) diminui
- b) é muito alta
- c) torna-se imprevisível
- d) passa a depender da frequência do sinal

7. Um amplificador operacional comum como o 741 pode gerar sinais de altas frequências?

- a) sim
- b) não
- c) às vezes
- d) depende do circuito de realimentação

8. Quais são as configurações possíveis para o 555

- a) seguidor de tensão e amplificador de sinais
- b) monoestável e regulador de tensão
- c) biestável e astável
- d) Amplificador e oscilador



» Reguladores de tensão

» Amplificadores integrados

Existem muitos circuitos integrados lineares de grande utilidade e, por este motivo, utilizados numa grande quantidade de aplicações práticas. Destacamos neste capítulo duas famílias de circuitos integrados muito importantes. Na primeira família estão os reguladores de tensão, amplamente utilizados em fontes de alimentação de diversos tipos. No segundo grupo temos os amplificadores de áudio, encontrados numa enorme gama de potências equipando desde aparelhos portáteis até som doméstico e automotivo de alta potência. Este capítulo constará dos seguintes itens:

- 12.1 - Reguladores fixos
- 12.2 - Reguladores ajustáveis
- 12.3 - LDOs
- 12.4 - Amplificadores de áudio
- 12.5 - Amplificadores em ponte (BTL)

12.1 - Reguladores fixos

Os reguladores fixos são circuitos integrados que incorporam reguladores de tensão lineares (analógicos), com uma saída de tensão fixa e uma corrente máxima determinada pelo seu tipo.

Existem reguladores que podem trabalhar com tensões de saída de 3 a 48 V e correntes na faixa de 200 mA a 5 A, disponíveis nas mais diversas configurações, facilitando o projeto de fontes de alimentação.

Estes reguladores, conforme mostra a figura 441, são colocados depois da etapa de filtragem de uma fonte, tendo por finalidade manter a tensão de saída constante, ou ainda a corrente e, em alguns casos, também fazer a proteção contra curto-circuitos e aquecimentos indevidos.

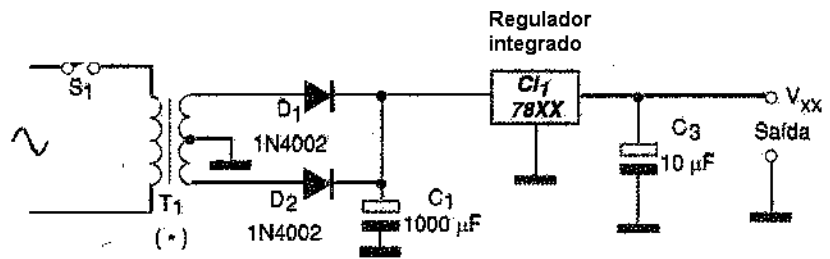


Figura 441 - Uma fonte de alimentação com um circuito integrado regulador de tensão

Nesta série, existem reguladores que exigem transistores adicionais externos e também circuitos integrados completos que já possuem os componentes de potência interno.

Destacamos em primeiro lugar os circuitos integrados reguladores de tensão de 3 terminais, que possuem uma pinagem conforme mostra a figura 442.

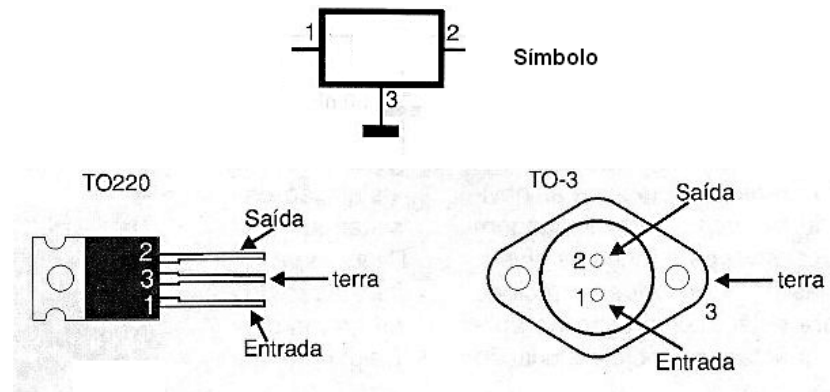


Figura 442 - Reguladores fixos de 3 terminais

Estes reguladores podem ser do tipo positivo, que são inseridos em série com a linha positiva de uma fonte de alimentação, ou negativos. Nestes reguladores normalmente temos um pino de entrada (in), um pino de saída (out) e um pino central que, ou pode ser ligado à terra, ou ainda a algum circuito de controle, ou ainda que permita alterar a tensão de saída.

Uma das séries mais comuns de circuitos reguladores deste tipo é a 78xx que tem uma boa faixa de tensões e, na versão básica pode fornecer correntes até 1 A a uma carga.

12.1.1- Reguladores de tensão 78xx

Os tipos da série 78xx podem fornecer tensões de 5 a 24 volts tipicamente com corrente de 1 ampère, sendo extremamente atraentes para projetos.

A série de circuitos integrados 78XX, onde o XX é substituído por um número que indica a tensão de saída, consiste em reguladores

de tensão positiva com corrente de até 1 ampère de saída, sendo apresentados em invólucro TO-220, conforme mostra a figura 443.

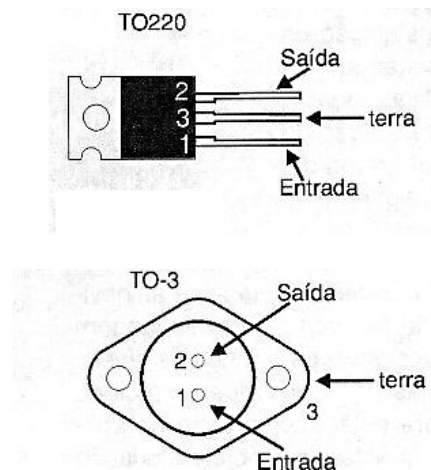


Figura 443 - Reguladores da série 78xx

Encontramos uma série equivalente de 200 mA, apresentada em invólucros SOT-54.

Diversos são os fabricantes que possuem os circuitos integrados desta série em sua linha de produtos, e as tensões de saída podem variar sensivelmente de um para outro. No entanto, os valores básicos para estas tensões, que são dados pelos dois últimos algarismos do tipo do componente, são:

- 7805 = 5 volts
- 7806 = 6 volts
- 7808 = 8 volts
- 7885 = 8,5 volts
- 7812 = 12 volts
- 7815 = 15 volts
- 7818 = 18 volts
- 7824 = 24 volts

A tensão máxima de entrada para os tipos de 5 a 18 volts é de 35 volts. Para o tipo de 24 volts, a tensão de entrada máxima é de 40 volts.

De qualquer modo, para um bom funcionamento, a tensão de entrada deve ser, no mínimo, 2 volts mais alta que a tensão que se deseja na saída.

Os circuitos integrados da série 78xx possuem proteção interna contra curto-circuitos na saída e não necessitam de qualquer componente externo.

Damos a seguir as principais características do 7805, que serve de base para avaliação dos demais tipos da série:

7805 - Características

min. tip.max.

Tensão de saída - 4,85,0 5,2volts

Regulagem de linha - 350 mV

Regulagem de carga -1550 mV

Corrente quiescente - 4,26,0mA

Rejeição de ripple 6070 - dB

Resistência de saída - 17- mOhms

Observe que o radiador de calor deve ser dimensionado em função da diferença que existe entre a tensão de entrada e a tensão de saída, já que, quanto maior for a diferença, mais calor o componente deve dissipar. Na figura 444 temos a aplicação imediata num regulador positivo de 1 ampère para tensões de 5 a 24 volts com corrente de saída de até 1 ampère.

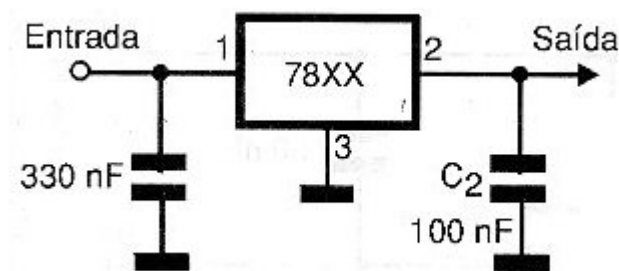


Figura 444 - Utilização de regulador da série 78xx

O capacitor de 330 nF desacopla a entrada do estabilizador, enquanto que o de 100 nF, que deve ser cerâmico de boa qualidade, tem por finalidade evitar oscilações em altas frequências, e também desacoplar a saída.

Os capacitores de entrada e saída podem variar de acordo com a aplicação e o tipo específico, sendo recomendado o consultar o manual do fabricante, em caso de dúvidas.

O segundo circuito corresponde a um estabilizador ou regulador de corrente (fonte de corrente constante), podendo servir de base para um excelente carregador de pilhas de baterias e até mesmo baterias de moto e carro em regime de carga lenta. Este circuito é mostrado na figura 445.

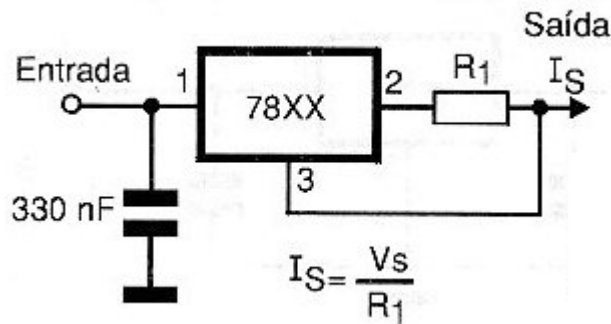


Figura 445 - Regulador ou fonte de corrente constante

A intensidade da corrente é dada pelo quociente V_s/R_1 , onde R_1 é a resistência limitadora e V_s é a tensão do integrado. Lembramos que os valores devem ser calculados tendo por limite 1 ampère, que é justamente a corrente máxima de saída do circuito integrado.

Para se obter corrente maior do que 1 ampère, podemos usar um booster, conforme o mostrado na figura 446. O transistor pode ser substituído por equivalentes, com correntes de coletor na faixa de 5 a 10 ampères para se obter uma fonte de 2 a 5 ampères de corrente de saída.

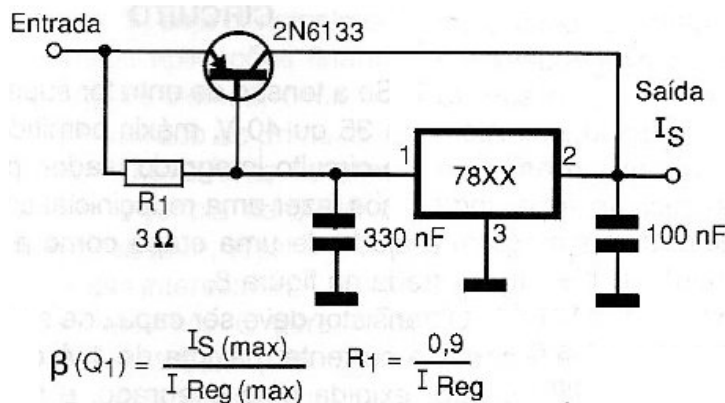


Figura 446 - Aumentando a corrente de saída com um transistor PNP de potência. Tipos como o TIP42 podem ser usados para corrente até uns 3 A.

As fórmulas que permitem dimensionar os diversos elementos do circuito são dadas junto ao diagrama.

12.2 - Reguladores ajustáveis

Quando se fala em fonte de alimentação linear, existem componentes tradicionais que, mesmo sendo de gerações antigas, ainda são usados com bastante frequência. Tanto que, visitando vários sites de fabricantes destes componentes, vemos que eles constantemente estão revisando as suas aplicações, sugerindo novas configurações,

Reguladores negativos

Da mesma forma que podemos regular a tensão na linha positiva da alimentação da carga, também podemos regular na linha negativa. Assim, a linha de reguladores negativos equivalente aos 78xx é a formada pelos 79xx;

A regulação de carga desse circuito é de 0,1% (tip.) e a regulação de linha de 0,005% (tip.). O circuito possui ainda proteção térmica contra sobrecarga.

Nas aplicações comuns, o LM350 pode ser usado tanto como regulador ajustável de tensão como fonte de corrente constante. Na aplicação como regulador ajustável, um potenciômetro de 10k determina a tensão somada à referência interna de 1,2 V, conforme mostra o circuito típico de aplicação da figura 449.

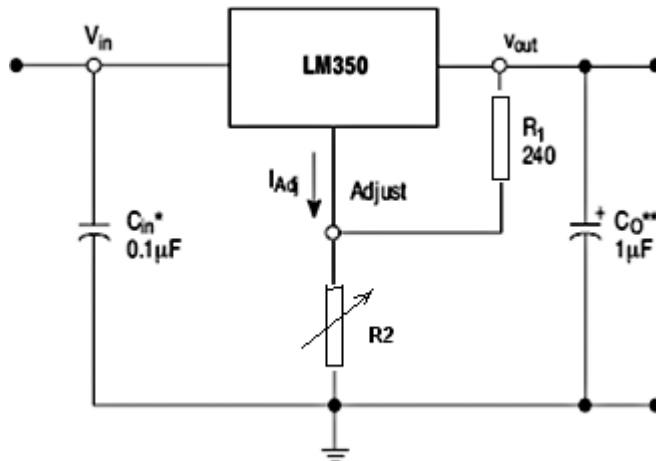
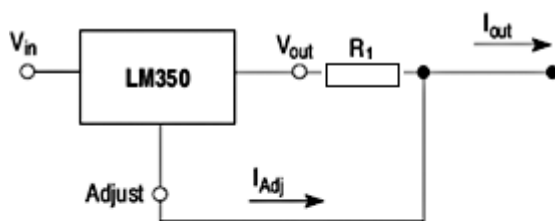


Figura 449 - Circuito de aplicação do LM350

Para uma fonte fixa R2 pode ser calculado pela fórmula:

Na figura 450 temos a configuração tradicional de fonte de corrente constante, com as fórmulas que possibilitam o cálculo dos valores dos componentes usados.



$$I_{out} = \left(\frac{V_{ref}}{R_1} \right) + I_{Adj}$$

$$\cong \frac{1.25 \text{ V}}{R_1}$$

$$10 \text{ mA} \leq I_{out} \leq 3.0 \text{ A}$$

Figura 450 - Configuração para fonte de corrente

Na maioria dos casos, o termo I_{adj} pode ser desprezado, o que simplifica o uso da fórmula

Fórmulas

As mesmas fórmulas são válidas para os outros integrados desta série, inclusive os da série LM117

Fabricantes

Para que os leitores tenham uma idéia de quantos fabricantes possuem estes componentes na sua linha de produtos, digitamos no “localizar datasheet” do site do autor LM317, obtendo os resultados da tabela abaixo.

	Regulador 3-Terminal AjustávelOutros com a mesma lima para o datasheet:LM317A, LM117,	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doNational Semiconductor	pdf 339 kb
	1.5A, Saída Ajustável, Regulador De Tensão PositivoOutros com a mesma lima para o datasheet: LM317T, LM317TG, LM317D2TR4, LM317D2TG, LM317D2T,	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doON Semiconductor	pdf 134 kb
	1.2V AO REGULADOR DE TENSÃO 37V AJUSTÁVELOutros com a mesma lima para o datasheet:LM217D2T-TR, LM317D2T-TR, LM217,	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doST Microelectronics	pdf 449 kb
	Regulador De Tensão Ajustável De 3-Terminal 1.5Amp	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doBayLinear	pdf 186 kb
	Positivo Regulador Ajustável	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doLinear Technology	pdf 551 kb
	REGULADORES 3-TERMINAL AJUSTÁVEIS	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doWing Shing Computer Components	pdf 214 kb
	1.2V AO REGULADOR DE TENSÃO 37V	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doSGS Thomson Microelectronics	pdf 104 kb
	Reguladores De Tensão Positivos Da Saída 3-Terminal Ajustável	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doVishay	pdf 121 kb
	Regulador Ajustável Do Positivo 3-Terminal	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doFairchild Semiconductor	pdf 54 kb
	3-Terminal, Regulador De Tensão 1.5A Positivo Ajustável	Pdf da folha de dados do download LM317 datasheet doTexas Instruments	pdf 279 kb

12.2.2 - Low Dropout ou LDO

Os LDOs ou Low Dropout são reguladores lineares de tensão que, pelas suas características, estão se tornando indispensáveis numa infinidade de aplicações, principalmente envolvendo a alimentação de equipamentos alimentados por baterias.

Quando os problemas de disponibilidade de energia, espaço e calor gerado não precisam ser levados em conta, o uso de circuitos reguladores de tensão lineares não oferece qualquer problema.

Os tipos comuns como os tradicionais, que fazem uso de transistores bipolares em invólucros de três terminais, como os das serie 78 e 79 podem ser usados sem problemas.

No entanto, nos equipamentos modernos, principalmente os alimentados por baterias, onde a energia deve ser gerenciada da melhor maneira possível, tanto para atender a durabilidade da fonte, como também para se evitar desperdício na forma de calor, os reguladores lineares comuns não são a melhor solução.

Esses reguladores, intercalados aos circuitos em que devem funcionar, conforme mostra a figura 451, causam uma queda de tensão de pelo menos 2 V nos circuitos, e essa queda, além de desperdício de energia, significa também a geração de calor. O calor gerado é dado pelo produto da queda de tensão pela corrente circulante.

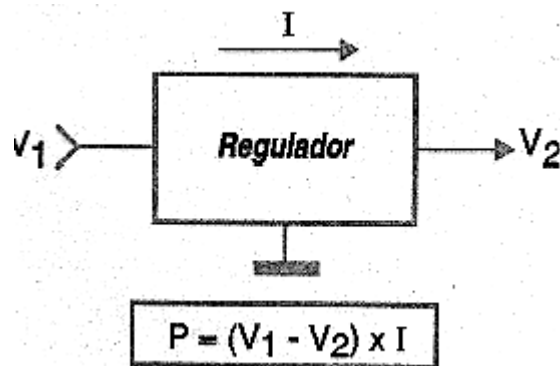


Figura 451 - As perdas por dissipação num regulador linear em série

E, se levarmos em conta que as aplicações modernas usam baterias de tensões muito baixas, como 2,7 V e 3,3 V, uma queda de tensão de 2 V num dispositivo regulador não seria admissível.

Assim, para atender uma nova gama de aplicações em que energia não pode ser desperdiçada, e também calor não deve ser gerado em grandes quantidades, uma geração diferente de reguladores de tensão lineares se tornou disponível, os LDOs ou low dropout - saída com baixa queda de tensão.

Esses dispositivos apresentam quedas de tensão muito baixas quando em condução, com valores na faixa de 0,1 v a 0,5 V apenas.

Para entender como funcionam os LDOs, vamos partir da configuração de um regulador linear de tensão típico. Conforme podemos ver na figura 452 este tipo de regulador é intercalado com o circuito de carga.

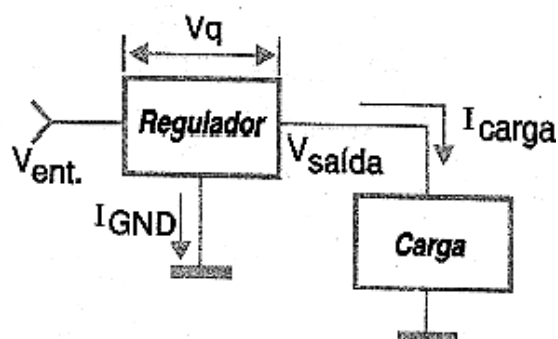


Figura 452 - Tensões num regulador em série com uma carga

Internamente, eles possuem um circuito de referência, eventualmente circuitos de proteção contra sobrecarga, aquecimento e outros recursos que dependem de sua aplicação.

Para controlar a corrente sobre a carga de modo a manter constante a tensão, estes dispositivos podem empregar diversas configurações. São justamente estas configurações que causam a queda de tensão responsável por perdas e pela geração de calor.

A configuração mais simples é a que faz uso de um transistor NPN bipolar, conforme mostra a figura 453.

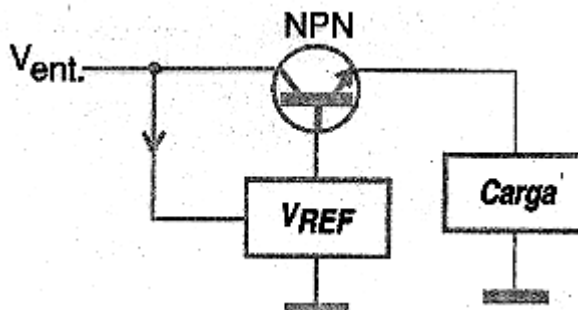


Figura 453 - Configuração mais simples de regulador

A polarização do transistor, numa região intermediária entre o corte e a saturação, faz com que apareça entre o coletor e o emissor uma tensão. O produto dessa tensão pela corrente conduzida nos dá a quantidade de calor que o dispositivo vai dissipar.

Além disso, pelas suas características, os transistores bipolares fazem com que apareçam tensões razoáveis entre o coletor e o emissor mesmo quando se encontram saturados ou próximos da saturação. Tudo isso se traduz num baixo rendimento da configuração, com a geração de calor e perdas pela queda de tensão no dispositivo de passagem que é o transistor.

Para se conseguir que os dispositivos usados no controle da corrente sobre a carga apresentem uma baixa queda de tensão, existem diversas possibilidades que são dadas por configurações, tanto usando transistores comuns como transistores de efeito de campo de potência, conforme mostra a figura 454.

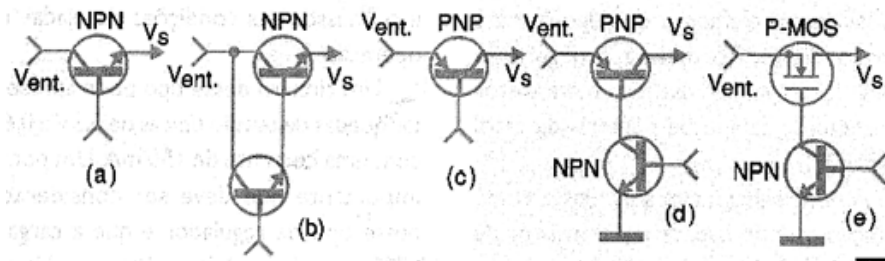


Figura 454 - Configurações possíveis para reguladores

As configurações apresentadas têm, entretanto, limitações que devem ser consideradas em cada projeto. Analisemos as características dessas configurações como:

V_{min} - trata-se da tensão mínima de entrada com que pode operar a configuração.

I_L - é a corrente típica de carga

Z_{out} - trata-se da impedância de saída

BW - Faixa passante

a) Transistor NPN

Nesse caso, o transistor opera como seguidor de emissor com uma baixa impedância de saída e uma faixa passante (BW) larga.

* $V_{min} = 1 \text{ V}$

* $I_L = < 1 \text{ A}$

b) Darlington NPN

Com um par Darlington operando como seguidor de emissor temos uma baixa impedância de saída e uma faixa passante larga. No entanto:

* $V_{min} = 2 \text{ V}$

* $I_L > 1 \text{ a}$

c) Transistor PNP

Essa é uma configuração interessante para LDOs, pois usando o transistor como inversor temos uma alta impedância de saída, uma faixa estreita mas uma tensão de entrada muito baixa.

* $V_{min} = 0,1 \text{ V}$

* $I_L < 1 \text{ a}$

d) Par PNP/NPN

Nessa configuração temos transistores complementares funcionando como inversores, obtendo-se uma alta impedância de saída e uma faixa passante estreita. Além disso:

* $V_{min} = 1,5 \text{ V}$

* $I_L > 1 \text{ A}$

Fontes chaveadas
 Uma forma de se obter fontes com altíssimo rendimento, acima de 80% é através do chaveamento ou comutação. Temos então a modalidade das fontes chaveadas ou comutadas, que são fontes digitais. No volume desta série em que estudamos automação e controle, estas fontes são descritas em pormenores, dado seu uso mais intenso nestas aplicações. As fontes de computadores são fontes chaveadas ou comutadas.

e) PMOS

Usando um transistor de efeito de campo PMOS a tensão mínima de entrada será dada pelo produto:

$$R_{ds(on)} \times I_L$$

A impedância de saída é alta e a faixa passante estreita. Além disso, a corrente máxima de carga pode ser maior que 1 A.

Em função das características das configurações típicas que podem ser usadas nos dispositivos desse tipo, diversas arquiteturas para a elaboração de LDOs são adotadas pelos fabricantes. Com elas, consegue-se uma queda de tensão muito baixa no regulador e, com isso, menor dissipação de calor e maior rendimento.

12.4 - Amplificadores de áudio integrados

Da mesma forma que os amplificadores operacionais, reguladores de tensão e osciladores, também podemos obter na forma de circuito integrados, amplificadores de áudio.

Estes amplificadores podem ser encontrados em versões que vão de frações de watts, como os usados em equipamento de som portátil, celulares, radinhos, etc., até versões potentes para som doméstico, som de carro, som ambiente com dezenas ou mesmo centenas de watts.

Os invólucros dependem da potência, pois num amplificador de áudio analógico, como o que vamos mostrar, o rendimento é baixo, e uma boa quantidade de calor é produzida, devendo ser transferida ao meio ambiente.

Assim, os tipos de maior potência são dotados de recursos para montagem em radiadores de calor, conforme mostra a figura 455.

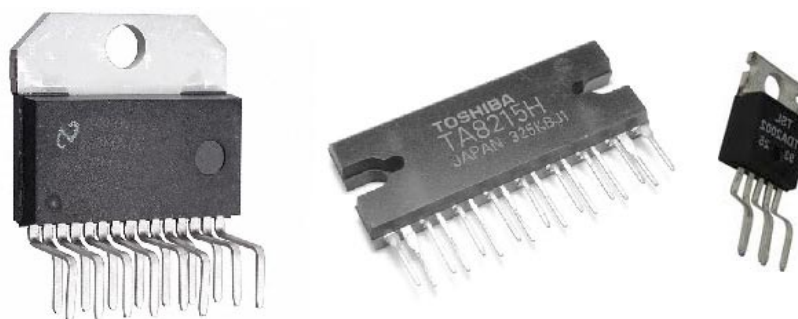


Figura 455 - Amplificadores de áudio lineares ou analógicos

Lembramos que existe uma tecnologia digital para os amplificadores de áudio que leva um rendimento maior e que está sendo adotada amplamente nos equipamentos modernos. Estes amplificadores, classe D, chegam a ter rendimentos próximos de 90%, enquanto que nos tipos tradicionais analógicos ou rendimento está em torno de 60%.

Em outras palavras, um amplificador tradicional, que consome 10 W, produz 6 W de som e 4 W são perdidos na forma de calor. O mesmo amplificador classe D, fornece 9 W de som e perde apenas 1 W na forma de calor.

Damos a seguir as características de alguns amplificadores de áudio integrados bastante populares.

12.4.1 - Amplificador LM386

Um dos circuitos integrados mais versáteis, quando se deseja potências de áudio inferiores a 1 W, e que pode ser alimentado por pilhas, é o LM386.

Na verdade, o LM386 não é um dos circuitos integrados mais modernos que pode ser usado em projetos. No entanto, pela facilidade com que podemos obtê-lo, e pelo seu baixo custo, ele é ainda o preferido quando se deseja potências baixas em projetos de áudio.

O circuito integrado LM386 consiste num amplificador de áudio completo de baixa potência que pode ser alimentado com tensões de 4 a 12 V, e fornecendo potências na faixa de 250 a 700 mW, com cargas de 4 a 16 ohms.

Na figura 456 temos a pinagem básica desse circuito integrado que pode ser obtido com vários sufixos (que mudam suas características).

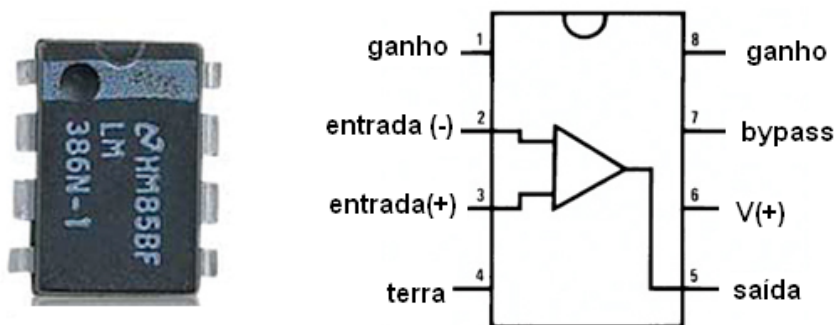


Figura 456 - O amplificador integrado LM386

Assim, o circuito que damos na figura 457 é para o LM386-N4 (apenas) que é a versão mais comum desse componente. Nessa figura temos o circuito amplificador básico com ganho é 20, já que não existe controle de realimentação externo.

Amplificadores classe D ou PWM

São amplificadores digitais, pois trabalham com a modulação de pulsos, processando os sinais de áudio praticamente sem perdas, o que os leva a um altíssimo rendimento. São usados amplamente nos equipamentos alimentados por bateria, onde se visa o máximo de rendimento.

Sufixos

Os leitores devem estar atentos aos sufixos de todos os componentes eletrônicos, como no caso do LM386. Estes sufixos podem indicar pequenas diferenças de características, pinagem e outras que podem comprometer o funcionamento de um projeto. Na figura abaixo mostramos as diferenças entre os diferentes tipos desta série, obtidas de datasheet da National Semiconductor, que agora é uma empresa do grupo da Texas Instruments.

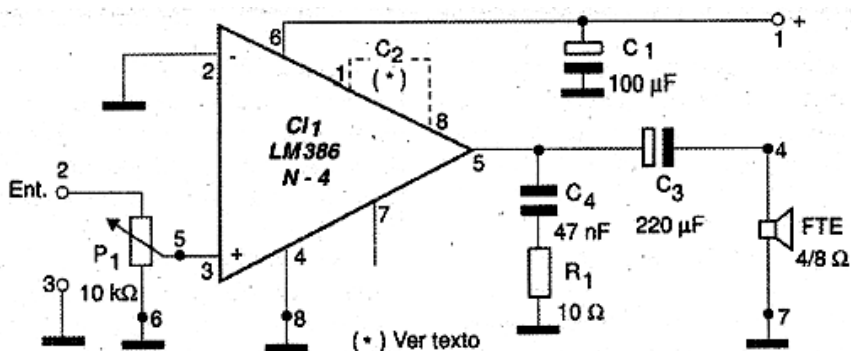


Figura 457 - Amplificador com o LM386

Para obter um ganho maior, basta usar um capacitor adicional externo, o que nos leva ao circuito da figura 458. Esse circuito tem um ganho de tensão de 200 vezes.

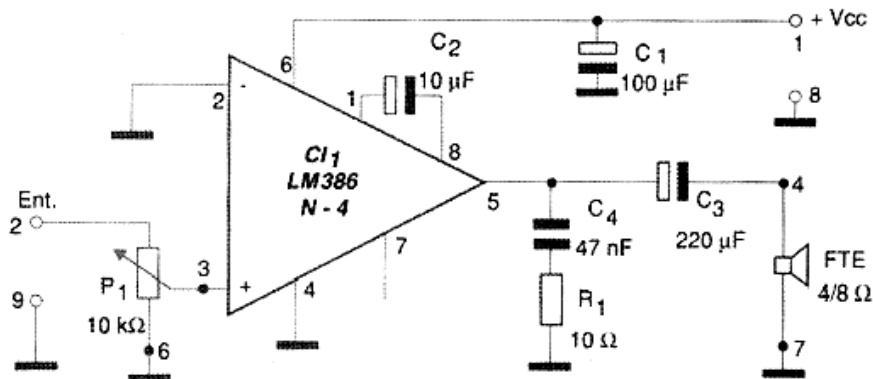


Figura 458- C2 altera o ganho do circuito

O controle de volume consiste num potenciômetro de 10 k ohms para as duas versões. A resistência de entrada do amplificador é de 50 k ohms, e a distorção harmônica total é de 0,2%.

12.4.2 - Amplificador de Prova com o TDA7052

O TDA7052 é um amplificador integrado completo, de aproximadamente 1 W, que exige apenas um capacitor e um controle de volume externo. Na figura 459 temos o modo de se usá-lo como um amplificador de prova para a bancada. A alimentação pode ser feita com apenas 4 pilhas pequenas.

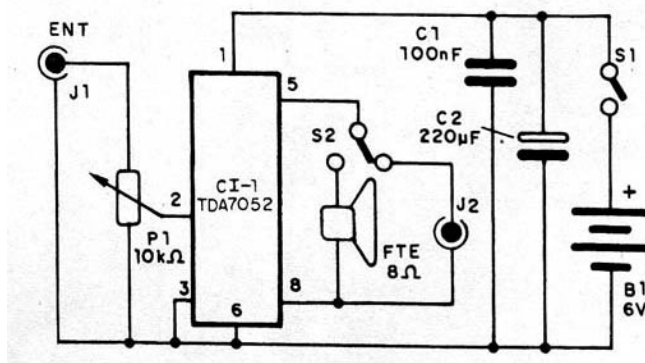


Figura 459 - Amplificador com o TDA7052

Este circuito integrado consiste em dois amplificadores de áudio para aplicações de baixa potência, alimentadas por pilhas. Os amplificadores podem ser usados separadamente, para versão estéreo, ou em ponte. Nas figuras 460 e 461 temos a sua pinagem e dois circuitos de aplicação, que foram obtidos no artigo ART388 do site do autor WWW.newtoncbraga.com.br. Mais informações sobre este componente podem ser obtidas baixando-se o datasheet.

Dados para projeto:

Faixa de tensões de alimentação: 1,6 a 6,0 V

Corrente quiescente: 3,2 mA (tip)

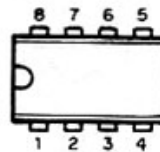
Potência: mono BTL - $R_L = 32 \Omega$, $V_p = 3 V$: 140 mW

Estéreo - $R_L = 32 \Omega$, $V_p = 3 V$: 35 mW

Corrente de pico de saída: 150 mA

Impedância de entrada: 2 MΩ (Estéreo)

1 MΩ (BTL)



Obs: impedâncias de saída 16 a 64 Ω.

Figura 460 - Pinagem do TDA7052 e suas características principais para projetos

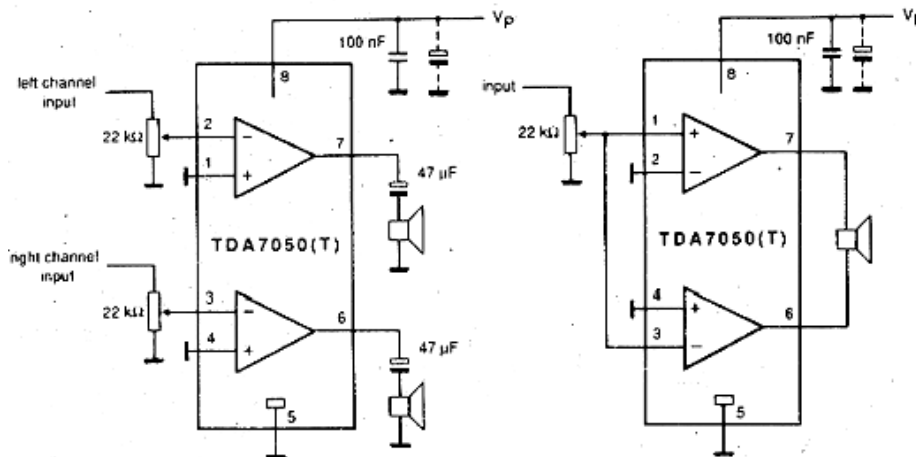


Figura 461 - Circuitos de aplicação na versão estéreo e mono em ponte

12.4.3 - TDA2002 de 8 Wrms

Projetos de intercomunicadores, receptores de diversos tipos, sirenes, sistemas de aviso, caixas amplificadas para instrumentos musicais e computadores exigem amplificadores de áudio de boa potência. Uma solução interessante é a que se baseia em circuitos integrados específicos que exigem poucos componentes externos, possuem excelente rendimento e características de potência e distorção de qualidade.

O TDA2002, também especificado como uPC2002, é um desses circuitos integrados. O TDA2002 pode fornecer potências que chegam aos 8 Wrms ou 30 Wpmpp com pouquíssimos componentes externos e tem uma sensibilidade de apenas 50 mV para plena potência. Muitos equipamentos comerciais usam este módulo, tanto pela sua facilidade de obtenção, como pelo seu baixo custo.

O circuito integrado TDA2002 é um amplificador de potência, basicamente projetado para aplicações em toca-fitas e auto-rádios. A figura 462 mostra a pinagem deste circuito integrado.

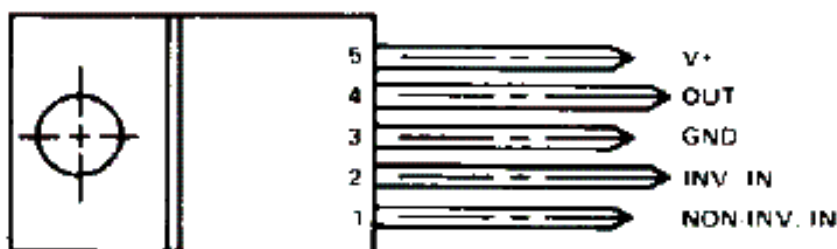


Figura 462 - Pinagem do TDA2002

Suas principais características são:

Tensão de Alimentação (V_s).....8 a 18 V
 Corrente Quiescente (I_s)45 a 80 mA
 Potência de saída (P_o)
 $d = 1\%$, $R_L = 2$ ohms4,8 W (min)
 $V_s = 16$ V , $R_L = 2$ ohms10 W (tip)

Sensibilidade:

$P_o = 0,5$ W , $R_L = 4$ ohms15 mV
 $P_o = 6$ W , $R_L = 2$ ohms 50 mV
 Resposta de Freqüência..... 40 a 15 000 Hz
 Ganho de tensão (G_v).....80 dB (open loop)

Este componente tem no seu interior todos os componentes básicos necessários à elaboração de um amplificador completo. Apenas os capacitores de maior valor são externos, e a rede de resistores formada por R1 e R2 que determina o seu ganho. A relação entre os valores desses componentes determina o ganho de tensão do circuito que no nosso caso foi fixado para 100 vezes.

A rede formada por C6 e R3 é um “bootstrap”, ou seja, uma rede que compensa as características indutivas do alto-falante de modo a manter constante a impedância de saída, e com isso as características do amplificador.

A corrente exigida pelo circuito, à plena potência com alimentação máxima, chega aos 3,5 A, o que significa que, neste caso, uma boa fonte deve ser utilizada na sua alimentação. A filtragem dessa fonte também é muito importante. Na entrada de alimentação temos dois capacitores que devem ser montados os mais próximos quanto seja possível do pino de alimentação do circuito integrado.

O capacitor de maior valor serve como filtro para as variações de corrente quando o amplificador opera com sinais de áudio. O capacitor de menor valor serve para desacoplar as componentes de alta frequência do circuito, evitando instabilidade, já que o capacitor eletrolítico, por suas características indutivas não consegue fazer isso.

A impedância da carga influi na potência, no entanto, ela não pode ser menor do que 2 ohms. Com impedâncias maiores do alto-falante, o circuito opera perfeitamente, mas sua potência será um pouco menor. O circuito inclui o potenciômetro de controle de volume mas, dependendo da aplicação, este controle pode fazer parte dos blocos anteriores do projeto como um pré-amplificador com controle de tom, etc.

Na figura 463 temos um circuito de aplicação deste componente.

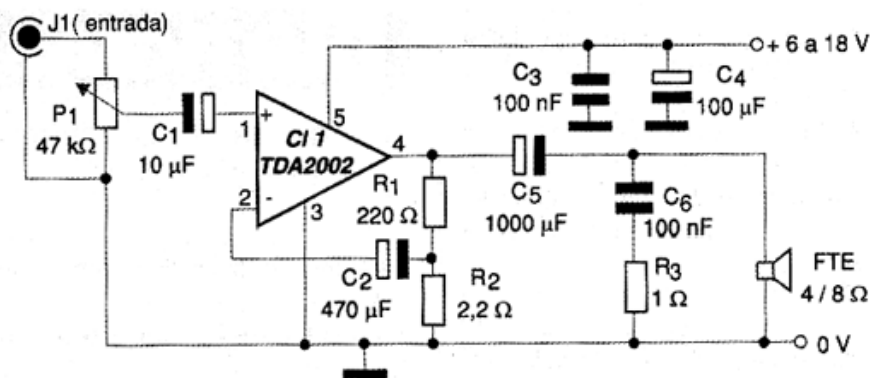


Figura 463 - Circuito de aplicação do TDA2002

Na figura 464 temos um amplificador com este circuito integrado, montado a partir de kit vendido no exterior pela Velleman. Observe a utilização de um radiador de calor para o circuito integrado.

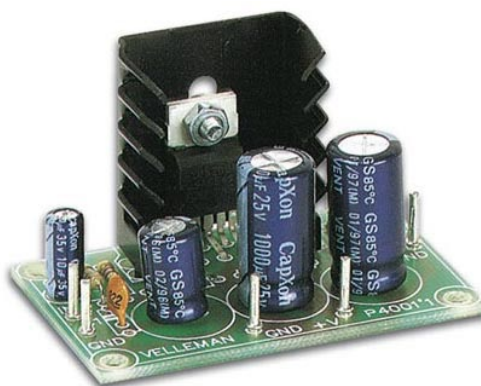


Figura 464 - Amplificador com o TDA2002 montado

12.4.4 - LM4765

Este componente apresenta uma THD+N menor do que 01%, e cada um dos amplificadores do mesmo circuito integrado pode ser controlado de forma independente através de lógica externa.

O dispositivo possui a proteção patenteada da National SPiKE, contendo diversos recursos de proteção integrados dotando-o de uma capacidade de funcionamento seguro mesmo sob condições adversas que, em outros casos causaria a queima do componente. Estas proteções incluem sobretensão, subtensão, sobrecarga da saída, deriva térmica e picos instantâneos de temperatura.

O circuito integrado é fornecido em invólucro TO-220 de 15 pinos com a pinagem mostrada na figura 465.

National Semiconductor x Texas Instruments

Desde 2011, a National Semiconductor passou a ser uma empresa do grupo Texas Instruments. Assim, mais informações sobre este componente como, por exemplo, o datasheet podem ser acessados no site da Texas Instruments (www.ti.com). Dentre as informações importantes do datasheet, destacamos diversas versões com desenhos de placas.

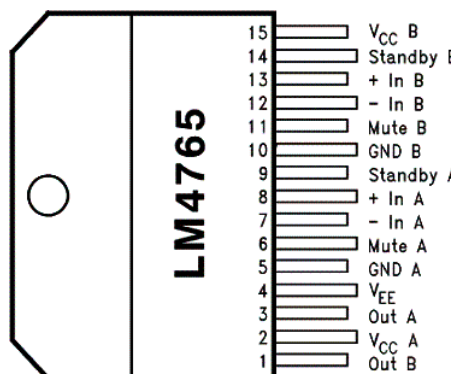


Figura 465 - Invólucro e pinagem do LM4765

Outras características importantes deste amplificador são:

- * Quantidade pequena de componentes externos
- * Faixa de tensões de alimentação: 20 a 66 V
- * Possui modo standby
- * Potência de saída de 2 x 30 W em 8 ohms
- * THD+N com 1 kHz a 30 W em 8 ohms - 0,009% (tiP)
- * THD+N com 2 x 25 W em 8 ohms com 1 kHz - 0,1% (max)
- * Invólucro TO-220 não isolado

Na figura 466 temos o diagrama típico de aplicação para uso com fonte simétrica..

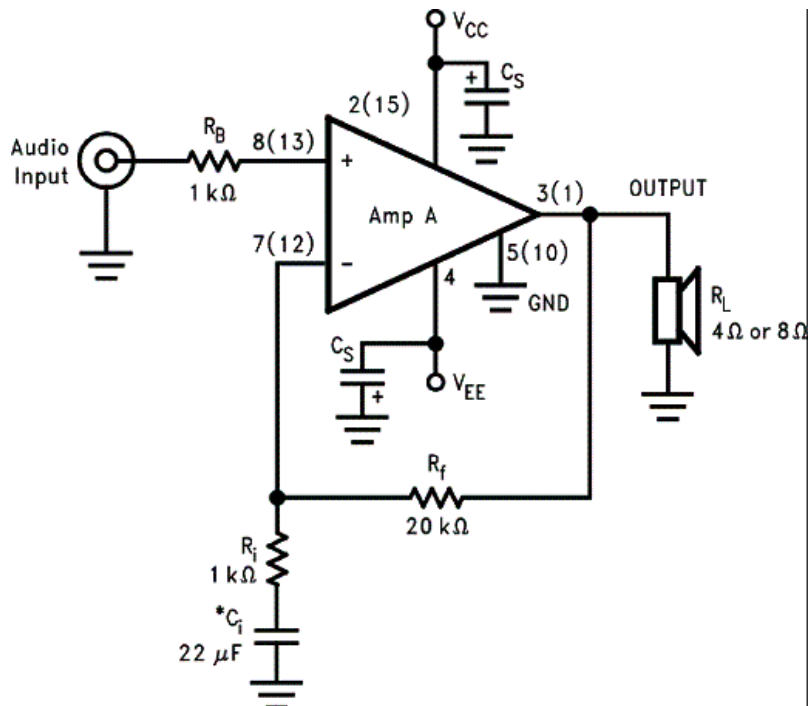


Figura 466 - Circuito de aplicação do LM4765

Na figura 467 temos a foto de uma montagem comercial deste amplificador, obtida na Internet. Algumas empresas do exterior vendem o kit deste amplificador em diversas versões.



Figura 467 - Montagem de amplificador com o LM4765

A numeração entre parênteses é do segundo canal de áudio, constante do mesmo circuito integrado

Na figura 468 temos uma configuração em ponte (BTL) para o mesmo circuito, alimentando um sistema único de alto-falantes.

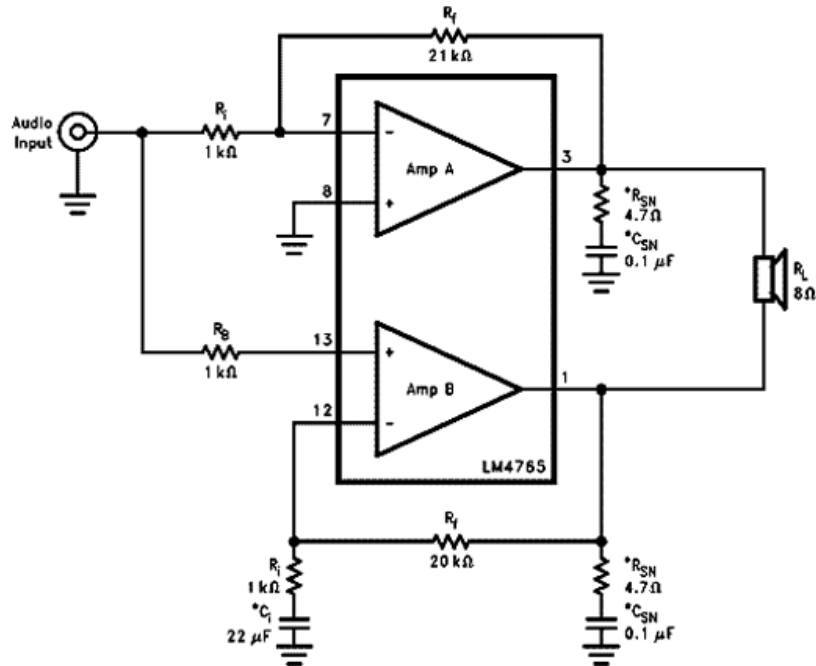


Figura 468- Configuração em ponte (BTL)

Neste circuito temos a multiplicação por 4 da potência obtida. Por exemplo, com dois amplificadores de 25 W em ponte não obtemos simplesmente 50 W, mas 100 W. Isso ocorre, porque neste circuito a tensão na carga dobra e a potência é diretamente proporcional ao quadrado da tensão pela fórmula:

$$P = V^2/R$$

Onde:

P = potência (W)

V = tensão (V)

R = resistência (R)

No caso, R é a impedância do alto-falante.

Para utilização de uma fonte de alimentação simples, temos o circuito mostrado na figura 469. O transistor usado nesta aplicação pode ser substituído pelo equivalente BC547.

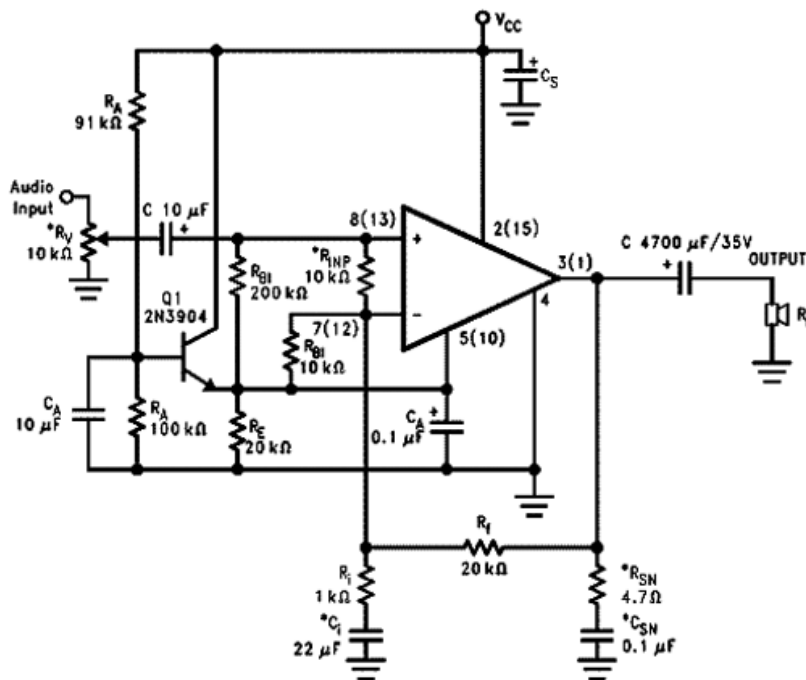


Figura 469 - Versão para fonte simples

12.5 - Amplificadores em ponte (BTL)

Um recurso bastante usado para se multiplicar a potência de amplificadores é a sua ligação em ponte ou BTL (Bridge Tied Load). Nos automóveis, a maioria dos sistemas de som emprega o sistema denominado “Trimode”, em que dois amplificadores podem ser comutados para operar na versão mono ou estéreo.

A ligação em ponte não apresenta maiores mistérios. Conforme mostra a figura 470, dois amplificadores são ligados a uma mesma carga de modo que cada um amplifique os sinais, mas com fases opostas.

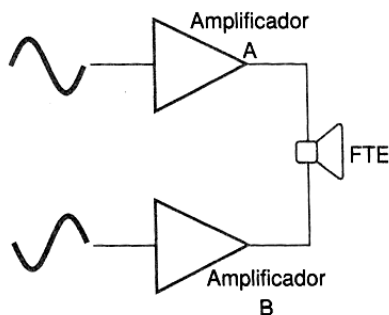


Figura 470 - Ligação de amplificadores em ponte (BTL)

Dessa forma, a tensão instantânea aplicada à carga dobra, e como a potência é proporcional ao quadrado da tensão, a potência quadruplica. Assim, dois amplificadores de 10 W rms ligados em ponte não fornecem apenas 20 W a uma carga, mas sim 40 W.

Trata-se de uma técnica excelente quando a potência máxima de um sistema é limitada pela tensão de alimentação e pela impedância mínima que pode ter uma carga, o que ocorre nos sistemas de som automotivo.

Desta forma, a técnica de se conectar amplificadores em ponte é bastante usada nos sistemas de som automotivo, que apresentam a configuração básica mostrada na figura 471.

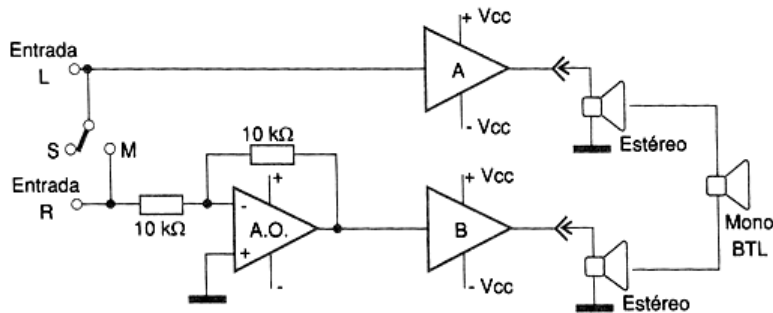


Figura 471 - Circuito típico para som automotivo

Na operação normal estéreo, cada amplificador é ligado às fontes separadas de sinais, excitando os alto-falantes de cada canal.

Na operação mono, entra em ação um amplificador operacional que atua como inversor, invertendo assim a fase do sinal a ser amplificado por um dos amplificadores. Os alto-falantes (ou alto-falante) são ligados então, ao mesmo tempo, nas saídas dos dois amplificadores, recebendo potência dobrada.

Para entendermos como é possível dobrar a potência do sistema, vamos supor que cada amplificador seja capaz de aplicar um sinal de 10 V numa carga de 4 ohms.

Com isto, a potência de cada canal será:

$$P = V^2/R = (10 \times 10)/4 = 100/4 = 25 \text{ W por canal ou } 50 \text{ W no total}$$

total

Se ligarmos o mesmo amplificador em ponte a uma carga de 4 ohms, a tensão no alto-falante oscilará entre o valor máximo positivo e o máximo negativo, conforme mostra a figura 472.

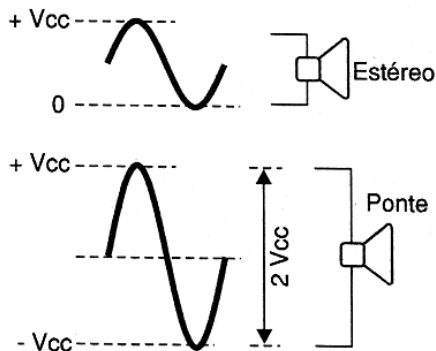
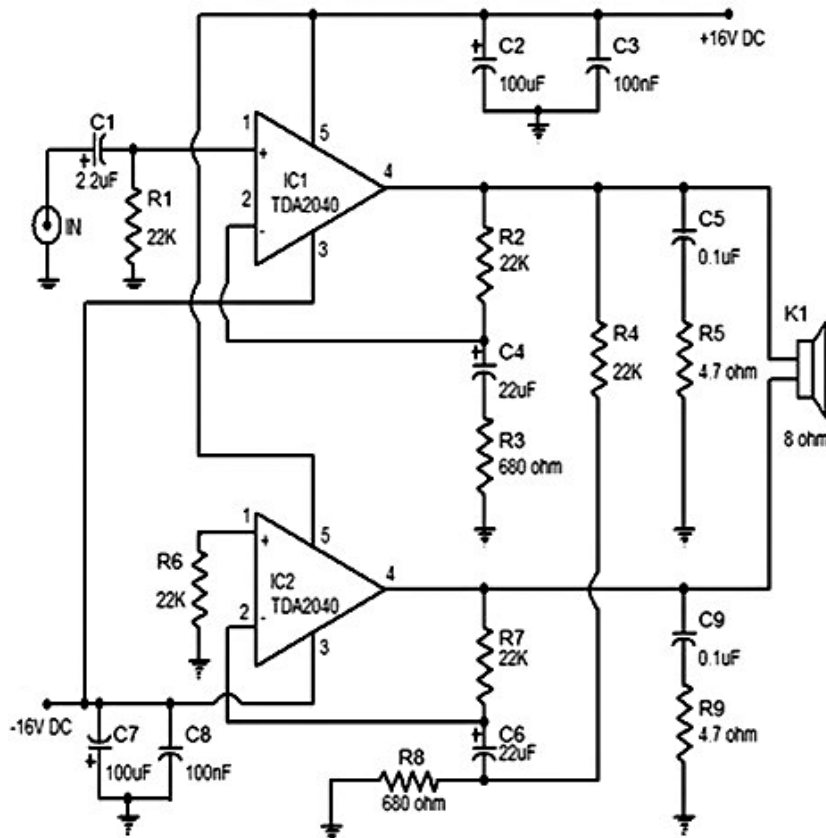


Figura 472 - Excursão da tensão de saída

Assim, a tensão aplicada ao alto-falante será de 20 V. Para uma carga de 4 ohms, a potência obtida será:

$P = V^2 / R = (20 \times 20) / 4 = 400/4 = 100 \text{ W}$ ou 200 W no total, se forem usados dois amplificadores num sistema estéreo.

Na figura 473 temos a configuração em ponte para um amplificador bastante usado em muitos sistemas de som doméstico.



A maioria dos amplificadores na forma de circuito integrado possuem opções para uso em ponte, se bem que não seja uma regra. O leitor deve consultar o datasheet do componente.

Figura 473 - Amplificador BTL encontrado em sistemas de som doméstico

Veja que esta configuração apresenta boas vantagens em termos de potência obtida, mas é apenas usada em som doméstico de potência, pois tem a vantagem de ser muito simples.

Termos em Inglês

Existem muitos termos em inglês relacionados com reguladores de tensão e som. A seguir, alguns deles:

Bidge - Ponte
Load - carga
Drop - queda
Low - baixa
High - alta
Adjustable - ajustável

Termos para pesquisa

- * Reguladores de tensão
- * Reguladores lineares
- * Fontes chaveadas
- * PWM
- * Amplificadores digitais
- * Amplificadores valvulados
- * Amplificadores com FET

Questionário

1) Num regulador de tensão linear, a potência convertida em calor depende de que fator?

- a) Da corrente da carga
- b) Da tensão de saída
- c) Da queda de tensão no componente
- d) Da tensão de entrada

2) Um regulador de tensão, quando mantém numa carga a corrente independente da tensão de entrada, é ligado como:

- a) Fonte de tensão
- b) Fonte de corrente constante
- c) Fonte de corrente variável
- d) Fonte de tensão variável

3) Qual é a principal característica de um LDO?

- a) Manter constante a corrente na carga
- b) Tem a tensão melhor regulada
- c) Tem perdas pela queda de tensão na carga
- d) Apresenta menores perdas pela corrente de condução

4) Qual dos reguladores de tensão abaixo tem uma saída ajustável?

- a) 7805
- b) 7912
- c) 7812
- d) LM350

5) Os amplificadores de áudio digitais, também são denominados:

- a) BTL
- b) Modulados
- c) Classe A
- d) Classe B

6) Usamos a ligação em ponte BTL com que finalidade?

- a) Obter maior potência
- b) Reduzir a distorção
- c) Diminuir a impedância de entrada
- d) Reduzir a tensão de alimentação

7) Em que tipo de amplificador a distorção por crossover é menor?

- a) Nos amplificadores em ponte
- b) Nos amplificadores valvulados
- c) Nos amplificadores integrados
- d) Nos amplificadores com transistores bipolares



» RESPOSTAS

» LINKS UTEIS

a) Respostas para as questões das lições

- 1) 1-a, 2-c, 3-b, 4-c,5-a,6-c, 7-c, 8-b
- 2) 1-b, 2-c, 3-d, 4-b, 5-d,6-c,7-c
- 3) 1-b,2-b,3-a, 4-b,5-b, 6-c,5-a
- 4) 1-a, 2-b, 3-a, 4-c, 5-b, 6-b, 7-b, 8-d
- 5) 1-b, 2-d, 3-c, 4-b, 5-b, 6-c, 7-b, 8-d, 9-c
- 6) 1-d, 2-d, 3-b, 4-a, 5-d, 6-c
- 7) 1-c, 2-b, 3-c, 4-c, 5-d, 6-b, 7-c
- 8) 1-b, 2-c,3-c, 4-c, 5-b, 6-c, 6-c, 7-a
- 9) 1-a, 2-a, 3-b, 4-a, 5-b, 6-d, 7-c
- 10) 1-c, 2-d, 3-d, 4-b, 5-b, 6-c
- 11) 1-c, 2-c, 3-b, 4-d, 5-b, 6-b, 7-b, 8-c
- 12) 1-c, 2-b, 3-d, 4-d, 5-c, 6-a, 7-b

b) Artigos Complementares

Damos, a seguir, uma relação de artigos no site do autor (www.newtoncbraga.com.br) que complementam o conteúdo dos diversos capítulos deste livro (Pode ocorrer que determinados artigos já não estejam mais disponíveis na época que forem acessado, se isso ocorrer muito tempo depois da aquisição deste livro.).

Lição 1

ALM235 – Semicondutores

ART663 – Entenda as especificações dos semicondutores

ALM074 – Características de emissão de junções PN

Lição 2

ART124 – Diodos laser

IP077 - _Zeners com diodos comuns

INS011 - Como Testar Diodos no Circuito

IP261- Diodos de germânio

ART024 – Fontes muito simples

ART045 – Fontes sem transformador

Lição 3

ART086 - Transistores da série TIP
ALM092- Configurações dos transistores

Lição 4

M079 – Cálculo de resistências de polarização
ART016 – Som de válvula ou transistor
DUV089 - Transistores casados

Lição 5

M001- Cálculo do oscilador com unijunção

Lição 6

INS234 – Você sabe testar um SCR?
ALM203 – LASCR
ART294 – Dimmer com triac
ALM123 – Curva característica de um triac

Lição 7

ART291- Circuitos osciladores
ART175 – Osciladores controlados por cristal
ALM209 – Oscilador de bloqueio
ART499 - Osciladores
ART379 – Osciladores, o que você deve saber

Lição 8

ART212 - Amplificadores Classe D
ART388 – Amplificadores integrados
V154 - Amplificadores
INS092 - Ajuste de polarização de amplificadores

Lição 9

MA043 – Os perigos da radiação
MA020 – Detectando e medindo a radiação
MA014 – Alternativa econômica – energia solar
ALM197 – Lâmpada de xenônio

Lição 10

ALM081 – Abreviações de encapsulamentos de CIs
ALM079 – Códigos de circuitos integrados Texas
ART561 – Montagens SMD

Lição 11

ART140 – Amplificadores operacionais e comparadores
INS084 – Como testar amplificadores operacionais
ART011- O circuito integrado 555
ART207 – Longos períodos para o 555

Lição 12

ART074 – Amplificadores BTL

ART388 – Amplificadores integrados

ART606 – Amplificadores de 7 e 14 W com o LM383