

ELETRÔNICA DIGITAL - II

Newton C. Braga



**CURSO DE ELETRÔNICA
ELETRÔNICA DIGITAL - PARTE 2**

NEWTON C. BRAGA



Instituto NCB

www.newtoncbraga.com.br

contato@newtoncbraga.com.br

CURSO DE ELETRÔNICA -

Eletrônica Digital - 2

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

8 - Os Multivibradores Astáveis e Monoestáveis	11
8.1 – Multivibradores Astáveis	12
8.2 – Astáveis com funções lógicas	14
8.3 – Circuitos Monoestáveis	24
8.4 – Astáveis e monoestáveis integrados	27
8.4.1- O circuito integrado 555	27
8.4.2 - TLC555M – O 555 CMOS	30
8.4.3 - Os circuitos integrados 74121, 74122 e 74123	32
Termos em inglês	35
9 - Os Contadores Digitais	37
9.1 – Os tipos de contadores	38
9.2 – Contadores assíncronos	39
9.3 – Contagem programada	43
9.4 – Contadores Up/Dfown (Progressivos e Regressivos)	47
9.5 – Contadores síncronos	47
9.6 – Contadores síncronos programáveis	50
9.7 – Contadores TTL	50
9.8 – Contadores e divisores CMOS	55
Termos em inglês	58
10 - Aplicações para os contadores digitais e decodificadores	61
10.1 – Contadores/divisores por N	62
10.2 – Circuitos práticos	65
10.3 – Módulos maiores e programáveis	78
10.4 – Os Circuitos Integrados 4020 e 4040	80
Termos em inglês:	83
11 - Como Funcionam os Registradores de Deslocamento (Shift-Registers)	85
11.1 - O que é um registrador de deslocamento	86
11.2 – Tipos de registradores de deslocamento	89
11.3 – Operando com binários	92
11.4 – Shift-registers ou registradores de deslocamento integrados	93
7495 - SHIFT REGISTER DE 4 BITS	93
74164 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS	94
74165 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS	94
4014 - SHIFT REGISTER ESTÁTICO DE 8 BITS	95
4015 - DOIS SHIFT REGISTERSS DE 4 BITS	96
4021 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS	97
11.5 – Usando shift-registers	97
Termos em inglês:	105
12 - Multiplexadores, Demultiplexadores, Decodificadores e Displays	107
12,1 – Multiplexadores e Demultiplexadores	108
12.2 – Os decodificadores	119
12.2.1 - Decodificador de n para 2 elevado a n linhas	120
12.2.2 - Decodificador BCD para 7 segmentos	122
12.3 - DISPLAYS	123
12.4 - Decodificadores e Codificadores Integrados (TTL e CMOS)	126
Termos em inglês:	131
13 - Memórias, ADCs e DACs	133
13.1 – As memórias	134
13.1.2 – Bits e Bytes	134
13.2 – Tipos de Memórias	139
13.2.1 - ROM	139
13.2.2 - PROM	140
13.2.3 - RAM	141
13.2.4 – EPROM	144
13.2.5 - EEPROM	148
13.3 - Os Conversores A/D	149
13.3.1 – Os Conversores na Prática	153
13.3.2 – Quantização	154
13.3.3 – Os circuitos do Conversores A/D ou ADC	155
13.3.4 - O circuito de captura e retenção ou “sample and hold”:	156
13.3.5 – Os sistemas de conversão	158
13.4 – Os DACs	167
Termos em inglês:	169

14 - Microprocessadores, Microcontroladores, DSPs e FPGAs	171
14.1 – Os microprocessadores e os microcontroladores	172
14.1.1 - Programação	176
14.1.2 – Os Microcontroladores mais comuns	177
14.1.3 – Linguagens de programação	178
14.2 – Os Processadores de Sinal Digitais ou DSPs	180
14.2.1 – Convertendo sinais analógicos em digitais	181
14.2.2 – Requisitos mínimos	182
14.2.3 – Como a conversão do sinal é feita	186
14.2.4 – O microprocessador	187
14.2.5 – Os DSPs comerciais	189
14.3 - FPGA	189
14.3.1 - As Tecnologias de Roteamento	195
Termos em inglês	198
Anexos - RESPOSTAS e LINKS	201
Respostas	201
Links	201
TEMPORIZAÇÃO DE PRECISÃO COM O 4020	203
CONHEÇA O 4017	212

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 chegou 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 (Vol 2 da série), os quais devem ser completados com uma nova versão do Curso de Eletrônica Digital. O Curso de Eletrônica Digital foi remodelado, sendo dividido em dois volumes. Este é o segundo e depois do segundo teremos mais um volume da série com uma parte prática. Assim, neste segundo volume do Curso de Eletrônica Digital, abordamos todo o conhecimento adquirido nos volumes anteriores passando isso para esta tecnologia, além de incluir mais informações 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 1999, quando criamos a primeira versão deste Curso de Eletrônica Digital que pudesse servir de iniciação aos que desejassem ter conhecimentos desta tecnologia, ela 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 Digital, com o primeiro volume tratando dos conceitos básicos e componentes das tecnologias TTL e CMOS, pode ser considerado um curso atualizado com finalidades um pouco diferentes das que visava na época de sua criação original. A eletrônica digital está presente numa infinidade de aplicações de uma forma muito avançada, no entanto, para que possamos dominar essas novas aplicações, precisamos conhecer seus fundamentos. Desta forma, este Curso de Eletrônica digital é um curso de fundamentos que devem ser aplicados nos ramos específicos nos quais o profissional vai se especializar. Estes ramos incluem a automação (mecatrônica), telecomunicações, instrumentação, eletrônica embarcada, e muitos outros. 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, exigem o conhecimento prévio dados nos dois primeiros volumes da série, Eletrônica Básica e Eletrônica Analógica, além do primeiro volume do Curso de Eletrônica – Eletrônica Digital 1.

Capítulo 8 – Neste capítulo estudaremos as configurações dos multivibradores astáveis e monoestáveis, que são configurações de grande importância para a eletrônica digital, pois com elas formamos blocos básicos de contagem, memória e deslocamento de dados. Veremos quais são as principais configurações e os tipos disponíveis na forma de circuitos integrados tanto TTL como CMOS.

Capítulo 9 – O assunto deste capítulo é a utilização e funcionamento dos contadores digitais. Veremos como funcionam estes blocos básicos da eletrônica digital e os principais tipos que podem ser encontrados tanto em tecnologia CMOS como TTL. Veremos também como configurar estes blocos para diversos tipos de contagem.

Capítulo 10 – O quarto capítulo deste volume analisa os contadores digitais e decodificadores, mostrando suas principais aplicações práticas. Veremos como os blocos anteriores podem ser alterados para obter configurações importantes para a aplicações práticas.

Capítulo 11 – O capítulo 11 é dedicado aos registradores de

deslocamento, Estes importantes blocos da eletrônica digital podem ser usados para converter dados da forma serial para paralela e vice-versa, consistindo em circuitos fundamentais para a comunicação de dados. Também veremos as versões que podem ser obtidas na forma de circuitos integrados TTL e CMOS.

Capítulo 12 – Multiplexadores, Demultiplexadores, Decodificadores de Displays serão o centro de nossas atenções neste capítulo. Analisaremos as principais configurações e seus princípios de funcionamento. Veremos também os principais tipos que podem ser obtidos na forma de circuitos integrados ou componentes comuns para aplicações práticas.

Capítulo 13 – Como funcionam as memórias, os ADCs e DACs serão os temas abordados neste capítulo. Veremos como funcionam os principais tipos de memória e também analisaremos os circuitos conversores de dados, muito utilizados hoje nos microprocessadores, microcontroladores e DSPs.

Capítulo 14 – Os dispositivos digitais mais avançados com que podemos contar em nossos dias são os microprocessadores, microcontroladores, DSPs e FPGAs. Neste capítulo daremos uma introdução ao funcionamento destes dispositivos, deixando para o leitor o aperfeiçoamento dos conhecimentos através de cursos específicos, dada a complexidade do assunto.

Enfim, o conteúdo estudado pode ser considerado como mais um 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



» Os Multivibradores Astáveis e Monoestáveis

No capítulo anterior aprendemos como funcionam os principais tipos de flip-flops, verificando que, dependendo dos recursos que cada um tem, eles podem ser empregados de diversas formas. Também vimos quais são as entradas que estes dispositivos podem conter para poder melhorar seu desempenho em determinadas aplicações como, por exemplo, nos computadores, controles a automatismos industriais, robótica, instrumentos de medida, etc. Vimos também que os flip-flops podem tanto ser usados como divisores de frequência, como células de memória. Tudo isso nos leva à necessidade de contar com esta função na forma de circuitos integrados. De fato, existem muitos circuitos integrados tanto TTL como CMOS contendo flip-flops dos tipos estudados os quais vimos no capítulo anterior. Também falaremos de algumas configurações que em lugar de dois estados estáveis possuem apenas um, além das configurações que não possuem nenhum estado estável. Estes circuitos denominados multivibradores astáveis e monoestáveis também são muito importantes em muitas aplicações relacionadas com a eletrônica digital. Este capítulo é formado pelos seguintes itens:

Itens:

- 8.1 – Multivibradores astáveis
- 8.2 – Astáveis com funções lógicas
- 8.3 – Circuitos monoestáveis
- 8.4 – Astáveis e monoestáveis integrados

Objetivos:

- Entender como funciona um multivibrador astável e calcular sua frequência
- Aprender como funciona um multivibrador monoestável e calcular seu tempo de acionamento
- Saber quais são os circuitos integrados das principais famílias que contam com multivibradores
- Fornecer alguns circuitos práticos de multivibradores

8.1 – Multivibradores Astáveis

Em sua maioria, os circuitos digitais trabalham de uma forma sincronizada, o que é conseguido através de sinais retangulares que precisam ser gerados por algum tipo de oscilador. Para aplicações em eletrônica digital, o oscilador, que produz o sinal de “Clock” ou “relógio” deve ter características especiais, o que exige o uso de diversas configurações.

O sinal de clock usado nos circuitos digitais deve ter características muito bem definidas, pois precisa ser reconhecidos por esses circuitos. Isso significa que os sinais de clock devem ser perfeitamente retangulares e ter uma frequência de acordo com o tipo de circuito que devem sincronizar.

Qualquer alteração na forma de onda de um sinal de clock pode levar o circuito a não reconhecê-lo, como ainda entrar num comportamento instável que afeta todo o seu funcionamento.

Uma das configurações mais importantes, usada para geração de sinais de clock, ou seja, sinais retangulares, é justamente aquela que parte de um circuito que tem bastante semelhança com os flip-flops que estudamos no capítulo anterior.

Este circuito recebe o nome de multivibrador astável e se caracteriza por não ter dois, nem um, estado estável. Este circuito muda constantemente de estado, numa velocidade que depende dos valores dos componentes usados e que, portanto, gera um sinal retangular.

Da mesma forma que estudamos os flip-flops partindo da configuração básica com transistores vamos fazer o mesmo com o multivibrador astável.

Assim, se tivermos a configuração mostrada na figura 1, usando transistores, os capacitores proporcionam uma realimentação que leva o circuito à oscilação.

Multivibradores

Veja a lição do Curso de Eletrônica analógica – Vol 1 que trata dos osciladores para ter mais informações sobre este tipo de circuito, inclusive as fórmulas de cálculo.

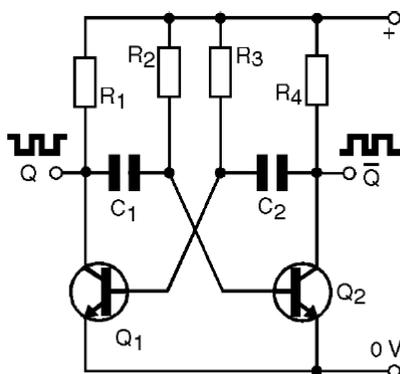


Figura 1 – Multivibrador astável com transistores

No multivibrador astável, a frequência é determinada por dois capacitores e dois resistores, ou seja, pela constante de tempo RC destes componentes. Dizemos que este tipo de oscilador é do tipo RC.

Analisemos melhor como funciona a configuração mostrada na figura 1.

Quando a alimentação é estabelecida um dos transistores conduz mais do que outro e, inicialmente, podemos ter, por exemplo, Q1 saturado e Q2 cortado. Com Q1 saturado o capacitor C1 carrega-se via R1 de modo que a tensão no capacitor sobe gradualmente até o ponto em que, estando carregado, o transistor Q2 é polarizado no sentido de conduzir.

Quando isso ocorre, Q2 tem um dos seus terminais aterrado e descarrega-se. Nestas condições Q1 vai ao corte e Q2 satura. Agora é a vez de C2 carregar-se até que ocorra novamente uma comutação dos transistores e um novo ciclo de funcionamento ocorra.

As formas de onda geradas neste circuito são mostradas na figura 2, observando-se o ciclo de carga e descarga dos capacitores.

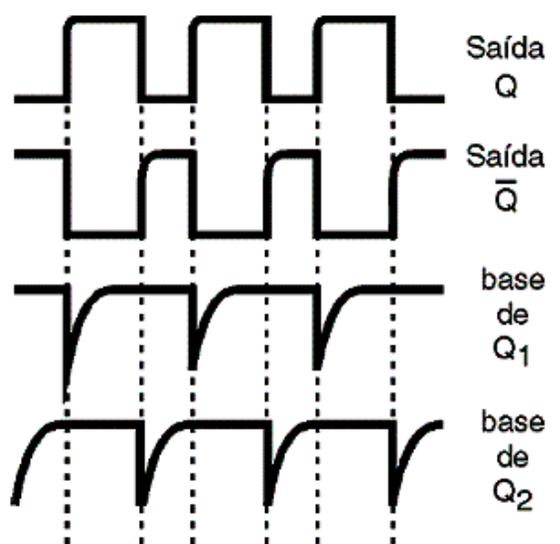


Figura 2 – Formas de onda no circuito da figura 1

O leitor pode perceber então que o tempo de carga e descarga dos capacitores e, portanto, das oscilações geradas por este circuito dependem tanto dos valores dos capacitores, como dos resistores de base através dos quais ocorrem as descargas.

Também podemos observar que os sinais gerados são retangulares, pois ocorre uma comutação rápida dos transistores de tal forma que a tensão em seus coletores sobe e desce rapidamente.

Da mesma forma que no caso dos flip-flops, podemos elaborar multivibradores astáveis tanto usando válvulas como transistores de efeito de campo.

Podemos também ter osciladores RC que geram sinais com boa estabilidade com menos componentes. Estes osciladores podem ser elaborados com funções lógicas, e para isso temos diversas possibilidades.

Sinais Retangulares e Quadrados

Nos documentos técnicos de origem inglesa é comum encontrarmos o termo “square” (quadrado) para indicar a forma de onda gerada por circuitos como os multivibradores. No entanto, não podemos falar exatamente em “quadrado” para uma forma de onda em que as dimensões nos sentidos vertical e horizontal não são as mesmas. No sentido vertical temos amplitude e no sentido horizontal, tempo. Assim, por uma questão de conveniência, é comum que em português usemos o termo retangular para especificar um sinal do tipo gerado por um multivibrador, e eventualmente usar o termo “quadrado” quando o ciclo ativo é 50%, ou seja, quando o tempo no nível alto é igual ao tempo no nível baixo. Neste curso, usaremos o termo “retangular” para especificar os sinais gerados pelos multivibradores e usados nos circuitos digitais em geral.

8.2 – Astáveis com funções lógicas

Como já explicamos em lições anteriores, é possível construir praticamente qualquer tipo de função mais complexa, usando os blocos básicos que são as portas.

Isso também é válido para o caso dos multivibradores, tanto astáveis como monoestáveis. Podemos partir de funções lógicas comuns, e com a utilização de alguns componentes externos passivos como resistores e capacitores, para determinar frequência e ciclo ativo, podemos obter diversos tipos de multivibradores. Vejamos alguns deles:

Fórmulas

O comportamento de qualquer circuito pode ser previsto através de fórmulas. Existem basicamente dois tipos de fórmulas que podemos usar no nosso trabalho.

a) Fórmulas exatas - são fórmulas que levam em conta todos os parâmetros que determinam determinada condição de um circuito e que, portanto, levam a resultados exatos.

b) Fórmulas empíricas - são fórmulas aproximadas e, portanto, simplificadas, em que alguns elementos que não influem de modo decisivo no funcionamento de um circuito, são desprezados. Elas também levam em conta a precisão dos componentes usados. Pouco adiante incluir numa fórmula um parâmetro que influi em 0,1% no resultado final de um cálculo quando a tolerância dos componentes usados na prática é muito maior que isso.

Na prática, para simplificar os cálculos é comum fazermos o uso de fórmulas empíricas no projeto de um circuito. Nos cursos avançados, como os de engenharia, trabalha-se com as fórmulas exatas.

a) Astável usando inversores

Um primeiro tipo de oscilador RC ou astável pode ser elaborado com base em dois inversores utilizando-se a configuração mostrada na figura 3.

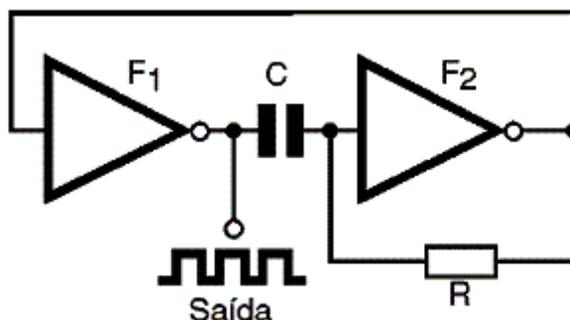


Figura 3 – Astável usando inversores

Neste circuito R e C determinam a frequência de operação. O princípio de funcionamento pode ser resumido da seguinte forma: quando o inversor F2 está com a saída no nível alto, a saída de F1 estará no nível baixo o que fará com que o capacitor se carregue via R.

Quando a tensão em C atinge o valor que provoca a comutação de F2, ele troca de estado e sua saída vai ao nível baixo. Nestas condições a saída de F1 vai ao nível alto. A partir desse momento o capacitor é “invertido” começando sua carga, mas com polaridade oposta até que novamente tenhamos o reconhecimento do nível de comutação e um novo ciclo tenha início.

A frequência de operação deste circuito é dada com aproximação pela fórmula:

$$f = 1/(2 \times 3,14 \times R \times C)$$

Onde:

3,14 é o “PI” (p) que é constante.

C deve ser expresso em farads, R em ohms para que tenhamos a frequência em hertz.

É importante observar que, à medida que nos aproximamos da frequência máxima que o circuito integrado pode operar, o sinal começa a ter suas bordas arredondadas, deformando-se assim em relação a uma forma de onda retangular perfeita. Esse fato deve ser considerado nas aplicações mais críticas.

Nos circuitos integrados CMOS costuma-se agregar nas entradas diodos de proteção com a finalidade de protegê-los contra descargas estáticas. Estes diodos afetam o funcionamento dos osciladores podendo dificultar sua operação.

Uma maneira de se contornar o problema causado pela presença dos diodos consiste em se modificar o circuito da figura 3 agregando um resistor adicional, conforme indicado na figura 4.

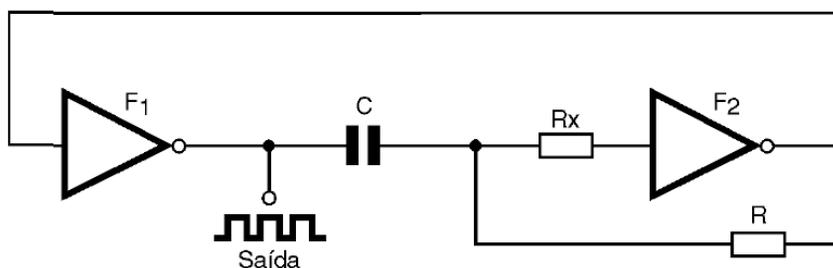


Figura 4 – Melhorando o desempenho do circuito com um resistor adicional

Este resistor Rx deve ser pelo menos 10 vezes maior que R. Valores da ordem de 1 M ohms são os mais usados na prática de modo a não afetar a frequência de operação determinada pela fórmula que vimos e, com isso, manter a estabilidade de funcionamento do circuito.

Podemos controlar a frequência deste tipo de oscilador colocando um resistor variável no circuito de realimentação, conforme mostra a figura 5.

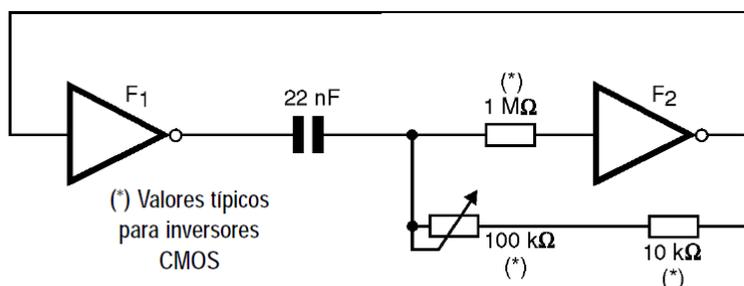


Figura 5 – Agregando um controle de frequência

Como o resistor variável é 10 vezes maior do que o resistor que está em série, a faixa de frequências obtida variará numa razão de 10 para 1.

Assim, se a frequência mínima for de 100 Hz, a máxima será de 1000 Hz. Veja que não é recomendável que o resistor em série

seja muito pequeno, menor que 10 k ohms dadas às características do circuito.

Como o tempo de carga e descarga do capacitor é o mesmo o sinal produzido tem forma de onda retangular com um ciclo ativo de aproximadamente 50%, ou seja, o tempo em que ele permanece no nível alto é o mesmo do nível baixo, conforme mostra a figura 6.

Podemos dizer que este circuito gera um sinal “quadrado”, conforme já explicamos anteriormente.

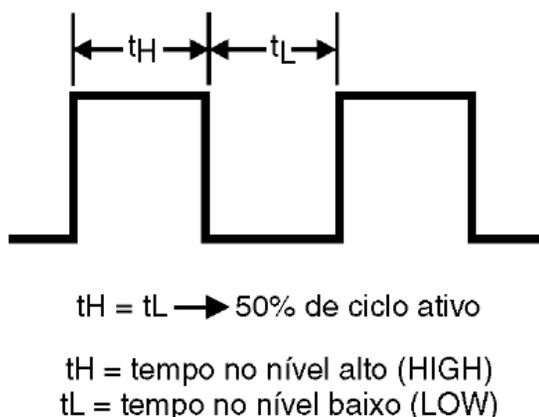


Figura 6 – Forma do sinal gerado

Na maioria das aplicações que envolvem o uso de circuitos digitais, são necessários circuitos de clock que tenham ciclos ativos de 50%. No entanto existem aplicações especiais em que um ciclo ativo diferente pode ser necessário.

Para se modificar o ciclo ativo, o recurso mais comum consiste em se agregar componente para fornecer percursos diferentes para a corrente de carga e descarga do capacitor, o que pode ser conseguido facilmente com o concurso de diodos de uso geral.

Assim, para o circuito que tomamos como exemplo, é possível modificar o ciclo ativo da maneira indicada na figura 7.

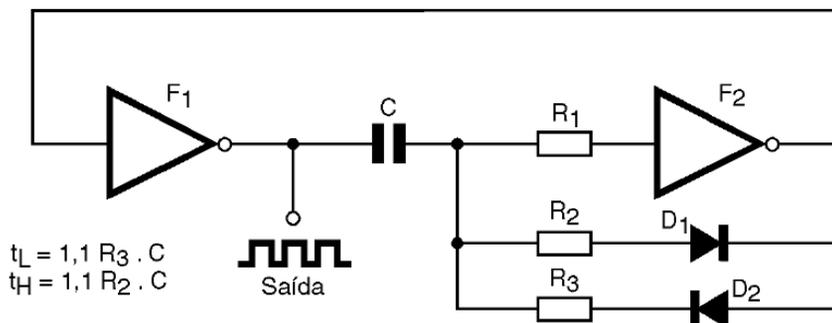


Figura 7 – Alterando o ciclo ativo com o uso de diodos

O capacitor vai carregar-se via R1 e descarregar-se via D2, o que significa tempos diferentes para a saída no nível alto e baixo.

Estes tempos, que dependem dos capacitores, é dado pelas fórmulas junto ao diagrama.

Para se obter um ajuste do ciclo ativo pode-se agregar um potenciômetro ou trimpot ao circuito que vai determinar os percursos para as correntes de carga e descarga do capacitor, conforme mostra a figura 8.

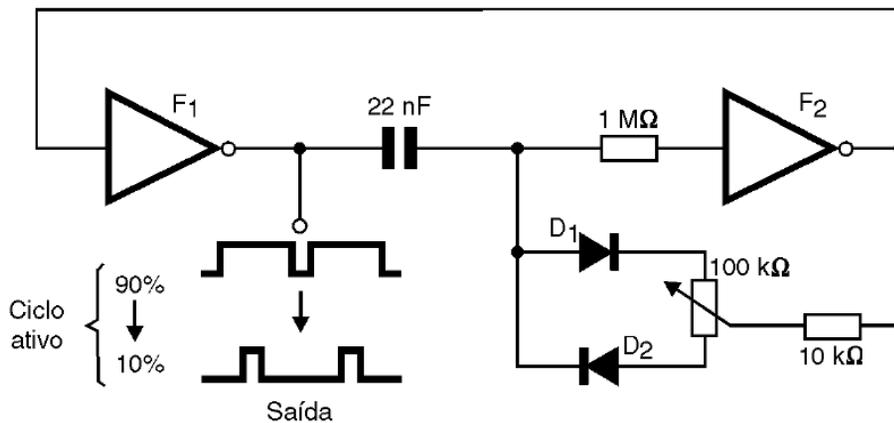


Figura 8 – Controlando o ciclo ativo

A posição do cursor do potenciômetro determina o ciclo ativo, observando-se que na posição central este ciclo será de 50%.

Observamos finalmente que inversores podem ser obtidos com a ligação de portas NOR ou NAND, com as entradas em paralelo, conforme mostra a figura 9.

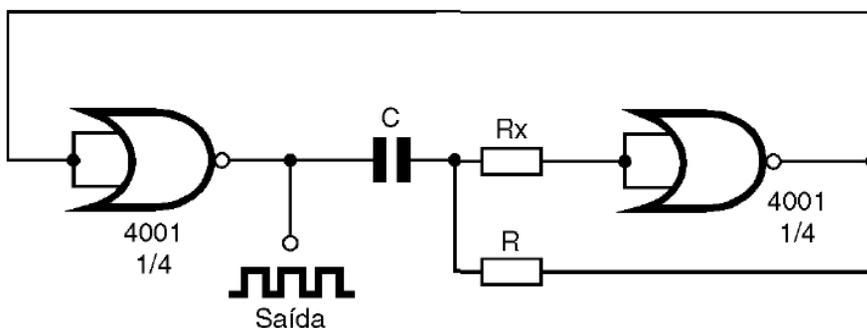


Figura 9 – Astável com inversores obtidos a partir de funções NOR

Assim, a configuração indicada pode ser elaborada com portas NAND ficando com a disposição da figura 10.

Frequência máxima

Para as portas TTL também é possível elaborar as mesmas configurações, mas dadas suas características elétricas, os valores dos componentes mudam completamente. Veremos isso mais adiante.

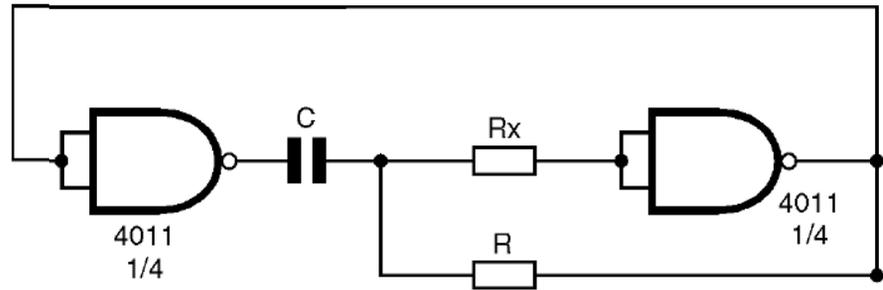


Figura 10 – Astável obtido com inversores elaborados com portas NAND

Também é importante notar que a precisão na obtenção das frequências calculadas pelas fórmulas depende muito da tolerância dos componentes externos usados, e da própria tensão de alimentação.

Conforme vimos, pelas características dos componentes tanto TTL como CMOS, o tempo de trânsito dos sinais depende do tipo de circuito integrado usado e, especificamente para os CMOS, da tensão de alimentação.

Uma leve variação da frequência gerada pode então ocorrer quando esses parâmetros oscilam.

b) Oscilador com disparador

Uma característica, não muito desejada quando se deseja usar uma função como osciladora, é o tempo de comutação quando o nível lógico é reconhecido na entrada.

Um tipo de função lógica importante que tem tempos reduzidos de comutação é a formada por circuitos disparadores, ou “triggers” como, por exemplo, do circuito integrado 4093, que é mostrado na figura 11.



Figura 11 – A função NAND disparadora do 4093 (CMOS)

Estas portas possuem uma característica de histerese que é mostrada na figura 12.

Histerese

A histerese também é importante para evitar oscilações que possam ocorrer na mudança de nível de um circuito quando o sinal vem de um sensor ou de uma chave, podendo causar o denominado “repique”.

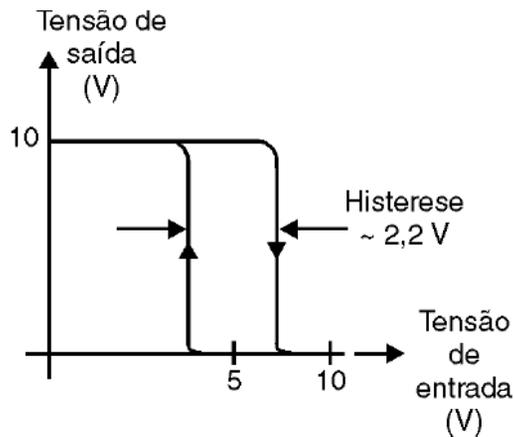


Figura 12 – Característica de histerese do 4093

Esta característica mostra que, quando o circuito reconhece o nível lógico necessário à comutação, a saída passa de um nível a outro numa velocidade muito grande, ou seja, há uma comutação muito rápida.

Veja que isso não ocorre com as funções equivalentes, “não disparadores”, que possuem uma transição mais lenta de níveis lógicos.

Por outro lado, o nível lógico de entrada que faz novamente a comutação para que a saída volte ao estado anterior não ocorre com a mesma tensão “de ida”.

Em outras palavras, o sinal de saída oscila do nível alto para o baixo e vice-versa com tensões diferentes de entrada. Estas diferentes tensões determinam uma faixa denominada “histerese” e que é mostrada na curva da figura 12.

Esta característica de histerese é muito importante, pois garante que o circuito comute com segurança tanto “na ida” como “na volta” dos sinais, e que, além disso, possam ser usados em osciladores de bom desempenho.

Para termos um oscilador com uma porta NAND disparadora, como a do circuito integrado CMOS 4093, precisamos de apenas dois componentes externos na configuração mostrada na figura 13.

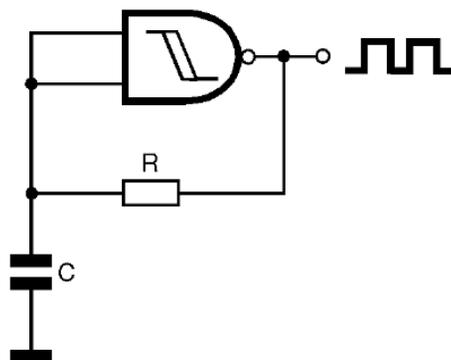


Figura 13 – Oscilador com o 4093

Neste circuito, o capacitor se carrega através do resistor quando a saída da porta (ligada como inversor) está no nível alto, e se descarrega quando está no nível baixo, produzindo um sinal com ciclo ativo bem próximo de 50%.

Também observamos que essa forma de onda sofre um “arredondamento”, à medida que nos aproximamos do limite de operação do circuito integrado, o qual depende da tensão de alimentação.

Para um 4093, esse limite está em torno de 12 MHz para uma alimentação de 15 V, caindo para 4 MHz com 5 V.

A entrada do circuito, ligada entre o capacitor e o resistor, não drena nem fornece corrente já que é de alta impedância, apenas sensoriando o nível de tensão neste ponto para fazer a comutação.

As formas de onda obtidas neste circuito são mostradas na figura 14.

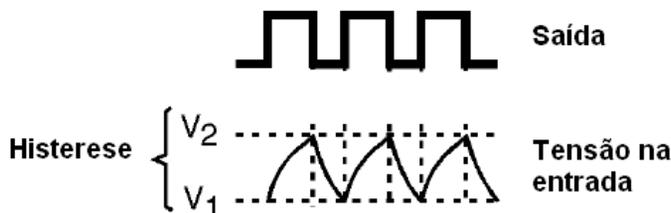


Figura 14 – Formas de onda no circuito oscilador com o 4093

Da mesma forma que nos circuitos anteriores, também podemos modificar o ciclo ativo do sinal gerado, modificando o percurso da corrente de carga e descarga do capacitor o que pode ser conseguido através de diodos.

Temos então na figura 15 um circuito com ciclo ativo diferente de 50% usando diodos.

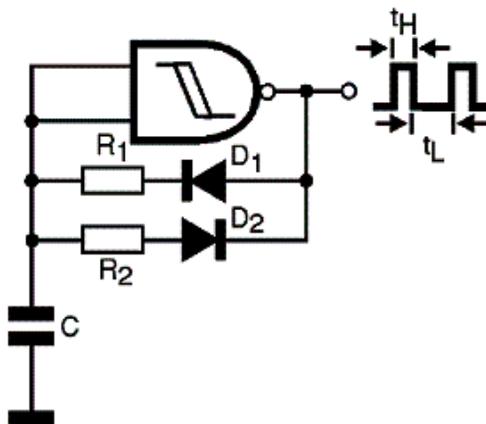


Figura 15 – Alterando o ciclo ativo do oscilador com o 4093

Neste circuito, quando a saída do disparador está no nível alto, o capacitor carrega-se via D1 e R1. Esses componentes determinam então o tempo de saída alto. Quando o circuito comuta e a saída do

disparador vai ao nível baixo e o capacitor descarrega-se via D2 e R2, sendo estes os componentes responsáveis pelo tempo baixo do sinal de saída.

Também podemos controlar o ciclo ativo deste circuito, colocando um potenciômetro ou trimpot conforme mostra a figura 16.

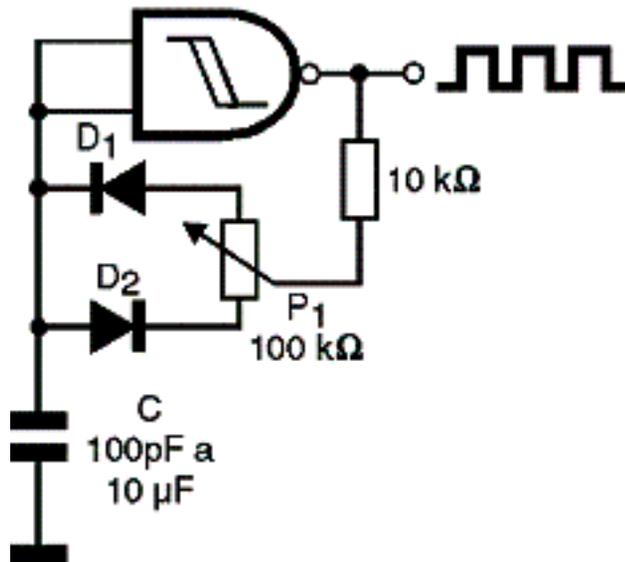


Figura 16 – Ajustando o ciclo ativo através de um potenciômetro

A posição do cursor determina a resistência do circuito nos percursos de carga e descarga do capacitor.

O 4093, na verdade corresponde a um grupo de circuitos denominados “disparadores de Schmitt” que será estudado nas próximas lições, na sua real função, que é a de modificar formas de onda de um circuito. O disparador pode transformar um sinal de qualquer forma de onda num sinal retangular, conforme veremos mais adiante.

Outras funções que podem ser usadas como base para esse oscilador são as que contém inversores-disparadores, e que também aparecem em alguns circuitos integrados da família TTL.

Observe a presença do símbolo que representa a histerese para indicar que esses componentes são disparadores e não simples portas ou inversores.

c) Oscilador TTL com Inversores de saída em coletor aberto

Outro tipo de circuito astável, que pode ser usado para gerar sinais retangulares num equipamento digital, é o que faz uso de três dos seis inversores disponíveis num circuito integrado 7406. Este circuito é mostrado na figura 17.

Ressonadores cerâmicos

Em algumas aplicações, em lugar do cristal, a frequência pode ser controlada por ressonadores cerâmicos ou piezoelétricos, que possuem as mesmas propriedades do cristal, oscilando numa frequência única, mas são menos precisos e mais baratos.



Ressonadores cerâmicos

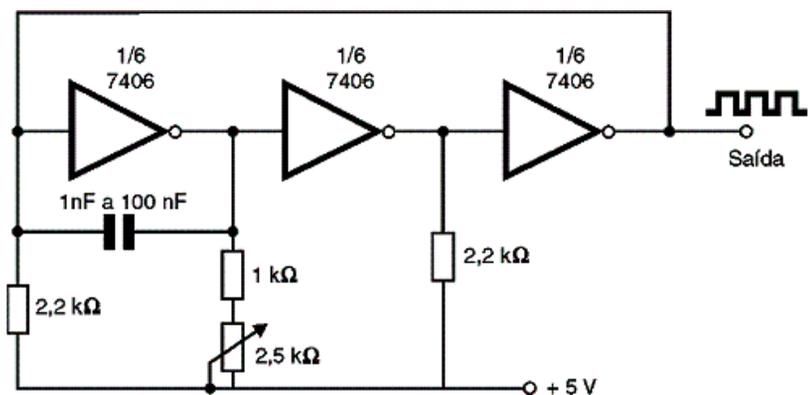


Figura 17 – Astável com três inversores

O sinal é realimentado da saída do último inversor para a entrada do primeiro, e pelo resistor variável temos o ajuste da frequência e do ponto de funcionamento.

Este oscilador pode gerar sinais na faixa de 1 a 10 MHz para TTLs normais, e frequências mais elevadas com TTL LS ou de outras subfamílias apropriadas.

Observe que não podemos usar um potenciômetro de ajuste muito grande, para não afetar o ponto de oscilação, o que limita bastante a faixa de frequências que pode ser varrida no ajuste.

d) Oscilador com cristal

O cristal de quartzo é um elemento importante no controle de frequência de um circuito. Os cristais oscilam em frequências determinadas pelo seu corte. Assim, eles podem ser usados para manter a frequência fixa num circuito dentro de estreitos limites.

Seu uso mais comum é justamente em circuitos em que a precisão da frequência seja importante tais como relógios, cronômetros e em instrumentação e controles eletrônicos.

Na verdade, em eletrônica digital, o uso do cristal é bastante comum para determinar o ritmo de funcionamento de um equipamento, ou seja, para determinar a sua frequência de clock.

Existem diversas formas de se obter um oscilador com cristal, especificamente para aplicações em circuitos digitais.

Um primeiro circuito, que pode ser dado como exemplo, é o mostrado na figura 18 e que faz uso de duas das quatro portas NOR disponíveis num circuito integrado CMOS 4001.

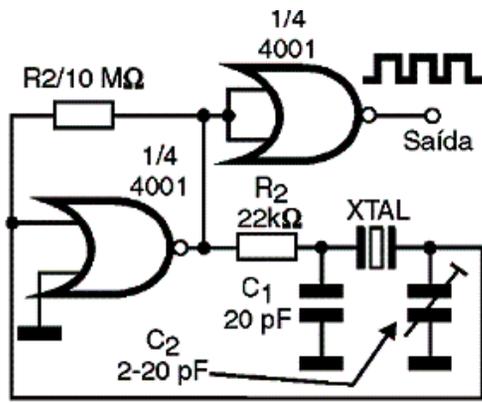


Figura 18 – Um oscilador controlado por cristal com portas NOR CMOS

Buffer

O termo “buffer” ou “tampão”, quando usado em eletrônica indica um circuito que, ao mesmo tempo amplifica um sinal e o isola da etapa de onde vem. O termo “buffer” se tornou tradicional e é muito usado, sem tradução, mesmo na documentação em português.

O cristal serve de elemento de realimentação, determinando a frequência básica de operação. Existe no circuito um capacitor ajustável que permite variar a frequência levemente em torno do valor determinado pelas características do circuito.

Trata-se de uma espécie de ajuste fino de frequência e que também ajuda a partida do oscilador, facilitando sua entrada em funcionamento no momento em que ele é ligado.

Uma porta serve como elemento ativo do circuito (amplificador digital), enquanto que a outra serve de “buffer”, ou seja, isola a saída do circuito oscilador.

Os buffers são importantes em muitas aplicações, pois impedem que variações que ocorram no circuito que recebe o sinal afetem a frequência do oscilador.

Outro oscilador a cristal com inversores CMOS é mostrado na figura 19.

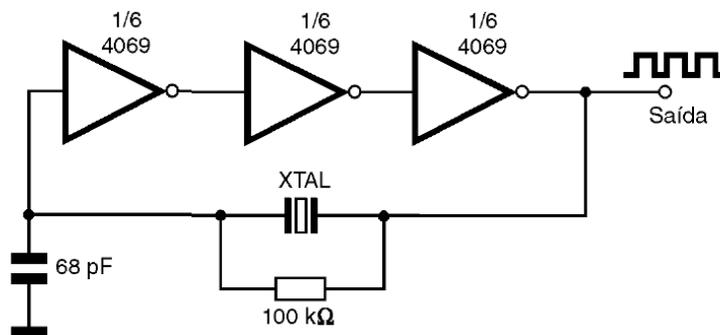


Figura 19 – Oscilador controlado por cristal com três inversores

A saída do último inversor fornece o sinal de realimentação do circuito através do cristal que então determina a sua frequência.

Versão equivalente com inversores e circuitos integrados TTL para osciladores controlados a cristal é mostrada na figura 20.

Cristais

Veja mais sobre o funcionamento dos cristais nos volumes de Eletrônica Básica e Eletrônica Analógica desta série.



Cristal usado no controle de frequência

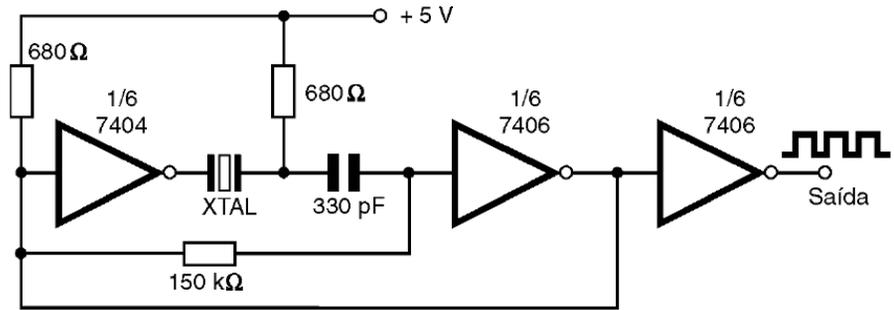


Figura 20 – Oscilador controlado por cristal com inversores TTL

8.3 – Circuitos Monoestáveis

Os circuitos monoestáveis, como o próprio nome indica, possuem apenas um estado estável. Uma vez que sejam disparados eles comutam, sendo levados ao estado instável no qual permanecem por um tempo determinado. No final deste tempo, eles voltam automaticamente para o estado inicial, estável.

Na figura 21 temos um diagrama de tempos que mostra o comportamento de um multivibrador monoestável. Neste multivibrador o disparo é feito por um pulso negativo.

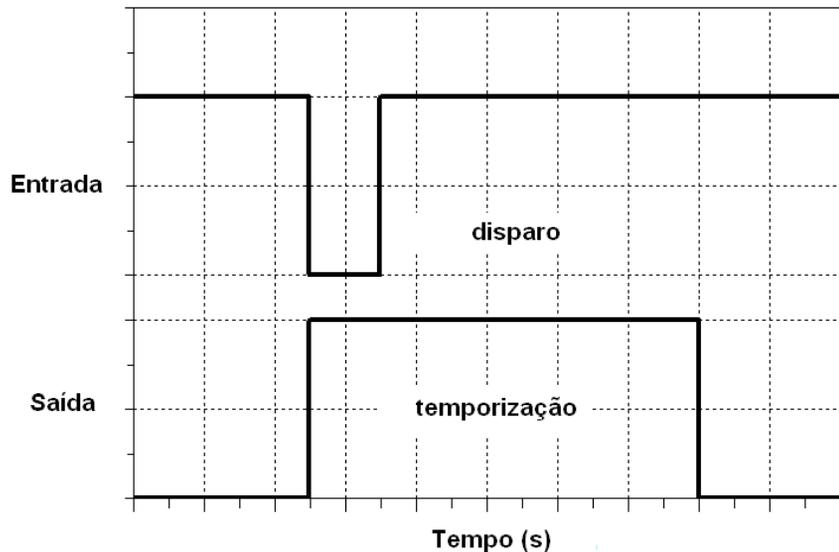


Figura 21- Diagrama de tempos de um monoestável

Destacamos nesta figura o disparo, que é o pulso que muda de estado o multivibrador e cuja duração pode variar, e a temporização, que é o tempo em que o multivibrador permanece no seu estado instável.

A versão mais simples para se entender o funcionamento é justamente a que faz uso de dois transistores, e que é mostrada na figura 22.

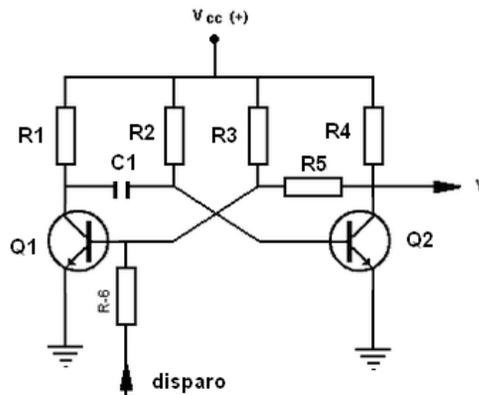


Figura 22 – Um monoestável com transistores

Na condição estável, Q1 está cortado e Q2 saturado. No momento em que um pulso de disparo é aplicado ao circuito, as condições dos dois transistores são invertidas: Q1 vai à saturação e Q2 ao corte. No entanto, trata-se de um estado instável que não dura muito.

Os transistores permanecerão nesta nova situação por um tempo determinado basicamente pelo capacitor C. No final deste tempo, o circuito comuta, voltando à sua situação inicial: Q1 cortado e Q2 saturado.

Nos circuitos digitais os multivibradores monoestáveis são muito importantes, pois permitem que seja gerado um pulso de largura constante, independentemente do tempo de duração do sinal de entrada ou mesmo de sua forma de onda, em alguns casos.

O que ocorre em certas aplicações é o denominado fenômeno do “repiques” (bouncing).

Quando se fecha um interruptor, por exemplo, a corrente não é estabelecida de imediato e de forma constante. Na prática temos a produção de certa oscilação conforme mostra a figura 23.

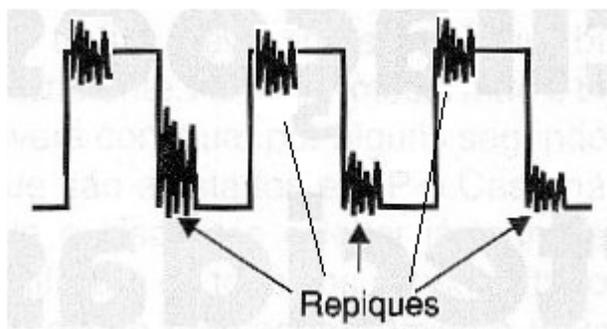


Figura 23 – Exemplo de repiques na transição negativa e positiva de um sinal.

Se esta oscilação tiver uma amplitude suficientemente grande para passar pelo nível de reconhecimento de entrada dos circuitos ló-

gicos, isso pode ser interpretado como uma sequência de pulsos e não um só, conforme indicado na mesma figura.

Assim, se desejarmos enviar um único pulso para um circuito ao apertar uma chave ou quando um sensor é acionado, e este problema ocorrer, teremos problemas de funcionamento.

Com o uso de um circuito monoestável podemos garantir a produção de pulsos de duração constante independentemente da duração ou do número de pulsos de entrada.

Podemos, igualmente, ter diversos circuitos monoestáveis usando funções lógicas comuns associadas a resistores e capacitores.

Um primeiro grupo de circuitos que se assemelham aos monoestáveis, por gerarem pulsos de duração constante e que merece uma observação inicial, é o formado pelos “Edge Detectors” ou “detectores de borda” que podem ter configurações como as mostradas na figura 24 usando circuitos integrados TTL.

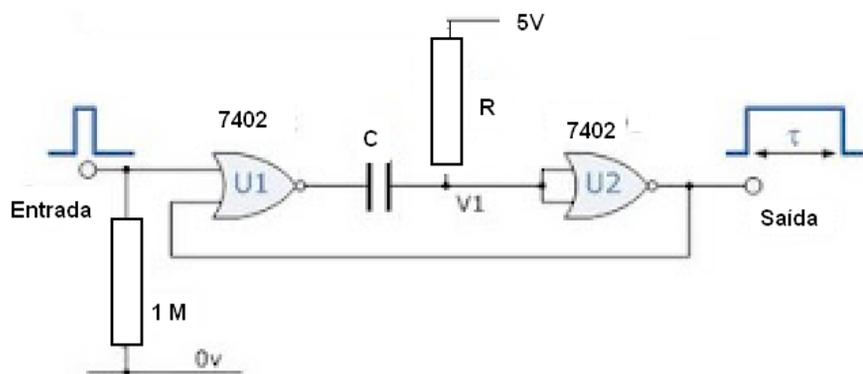


Figura 24 – Um monoestável com funções NOR TTL

Estes circuitos, na realidade, são “meio monoestáveis”, pois geram um pulso cuja duração é um pouco menor do que a do pulso de entrada, porém de valor constante.

Em outras palavras, estes circuitos geram pulsos que só duram ou certo tempo, mesmo que o pulso de entrada tenha uma duração maior.

Também podemos elaborar circuitos semelhantes com funções CMOS, conforme ostra a figura 25.

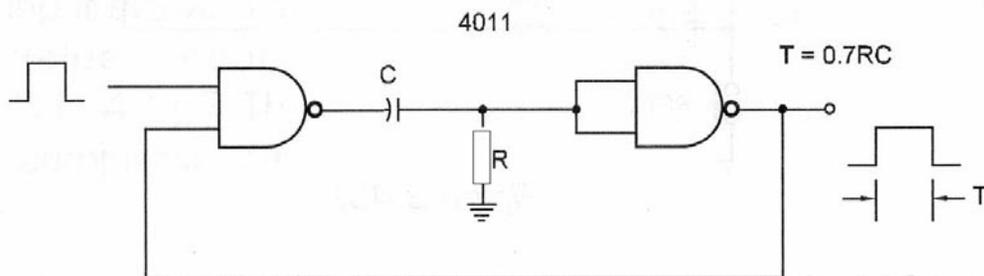


Figura 25 – Monoestável CMOS com funções NAND

Mais informações sobre o 555

Veja informações completas sobre o circuito integrado 555 na lição 11 do Curso de Eletrônica – Eletrônica Analógica - Vol 2. Neste capítulo também temos os procedimentos para os cálculos dos componentes.

A faixa de operação como astável vai de fração de hertz até perto de 500 kHz. Como monoestável os pulsos podem ter durações que vão de alguns microssegundos até mais de meia hora.

Na figura 27 temos o modo de ligação do circuito para a configuração astável.

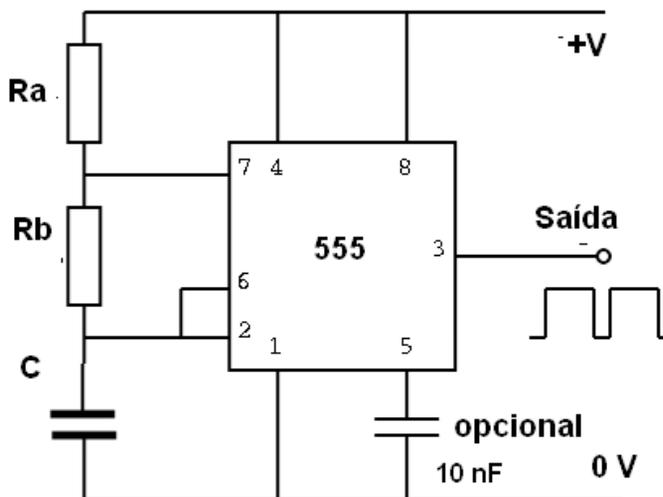


Figura 27 – O 555 astável

Nesta configuração, a frequência de operação é dada pelos valores dos componentes da rede RC, mas existem alguns limites para os valores usados:

- Os resistores não devem ser inferiores a 1 k ohms
- O capacitor não deve ser menor que 100 pF
- Os resistores não devem ser maiores que 3,3 M ohms
- O capacitor não deve ser maior que 2 000 μ F

A saída do 555 vai oscilar entre o nível alto e o nível baixo produzindo um sinal cuja forma de onda é retangular.

Observe que o capacitor se carrega através de R1 e de R2 e descarrega via R1, o que significa que neste oscilador temos tempos diferentes de carga e descarga o que leva a um sinal retangular que não tem ciclo ativo de 50%.

No entanto, usando diodos também é possível modificar este comportamento do 555 astável, obtendo-se a configuração da figura 28.

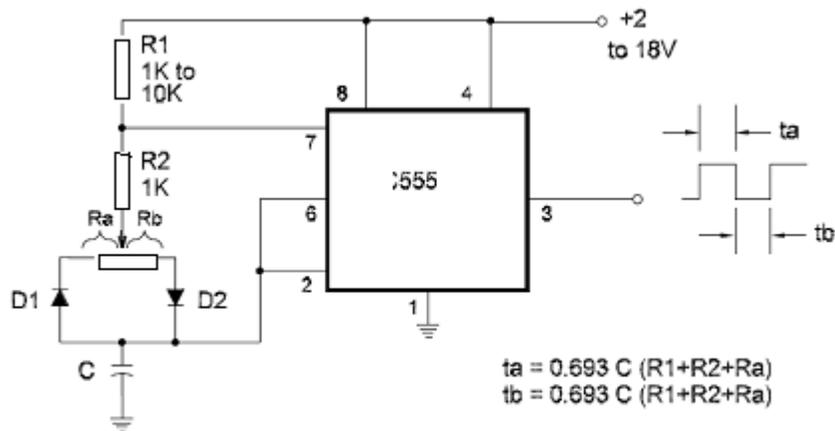


Figura 28 – Controlando o ciclo ativo

Nesta configuração o capacitor carrega-se via Ra e descarrega-se via Rb. Se os valores destas resistências forem iguais, teremos um ciclo ativo de 50%. Veja que se forem determinados com cuidado, no projeto, os valores desses componentes podemos programar o ciclo ativo do sinal gerado para qualquer valor, desde perto de 0% até perto de 100%.

O pino 4 do circuito integrado pode ser usado para controle externo, disparando o oscilador quando no nível alto.

Para a operação como monoestável temos o circuito mostrado na figura 29.

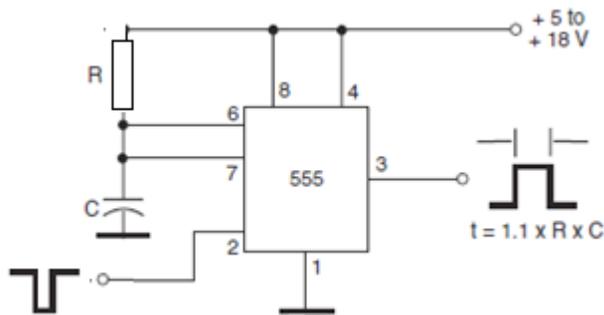


Figura 29 – O 555 monoestável

Da mesma forma que no caso anterior, os componentes R e C tem os mesmos limites de valores. O capacitor C não deve ser maior que 1 500 uF e o resistor maior que 3,3 M ohms, pois as fugas do capacitor podem tornar a temporização errática.

A entrada de disparo, que corresponde ao pino 2 deve ser mantida no nível alto, o que pode ser conseguido na maioria das aplicações por um resistor de 4,7 k ohms a 10 M ohms (tipicamente).

Quando esta entrada é levada ao nível baixo, o circuito comuta e sua saída vai ao nível alto por um tempo que depende dos valores dos componentes da rede RC.

Mesmo que um novo pulso de entrada seja aplicado, ele não tem efeito algum sobre o circuito enquanto a temporização não terminar e a saída voltar ao nível baixo novamente.

8.4.2 - TLC555M – O 555 CMOS

A versão CMOS do circuito integrado 555 apresenta características de baixo consumo e impedância de entrada extremamente alta que o tornam ideal para aplicações de baixo consumo, principalmente se considerarmos que sua faixa de alimentação vai de 2 a 18 V.

A versão que apresentamos é a da Texas Instruments e é fabricada em tecnologia LinCMOS com o circuito equivalente ao tipo original, mostrado em blocos na figura 30, mas com características elétricas melhoradas.

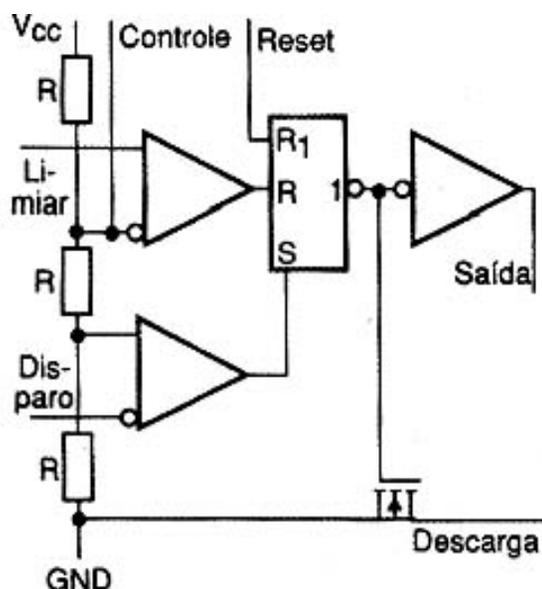


Figura 30 – Na versão CMOS, o transistor de descarga é um MOSFET

Além do baixo consumo e baixas tensões de alimentação, o 555 CMOS pode alcançar frequências de 2 MHz o que não ocorre com a versão bipolar que está limitada aos 500 kHz.

Na figura 31 temos então o invólucro deste circuito integrado que em nada difere da versão bipolar equivalente.

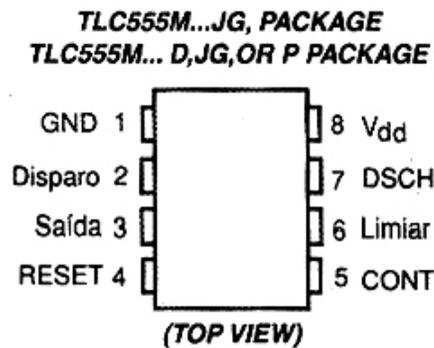


Figura 31 – Invólucro do 7555

O circuito integrado TLC555 tem ainda como característica importante uma resistência de entrada de 10^{12} ohms, e permite que um ciclo ativo de 50% seja obtido com apenas um resistor e um capacitor externo.

Seu consumo típico com uma alimentação de 5 V é de apenas 1 mA. A saída complementar CMOS pode drenar correntes até 100 mA e fornecer correntes até 10 mA.

Uma característica importante desta configuração é que ele não produz picos de corrente agudos nas transições o que elimina a necessidade de grandes capacitores de desacoplamento, como normalmente é exigido pelas aplicações do bipolar 555.

Características:

Faixa de tensões de alimentação: 2 a 18 V

Potência máxima de dissipação: 600 mW

Corrente de alimentação: 170 μ A com 5 V e 360 μ A com 15 V

Corrente máxima de saída: 10 mA (fornecendo)
100 mA (drenando)

Corrente de disparo com 5 V : 10 pA

Corrente de reset com 5 V : 10 pA

Limiar de disparo como porcentagem da tensão da fonte:
66,7%

Nível de tensão de reset: 0,7 V

Tensão de saída no nível baixo (15 V x 10 mA) : 0,1 V

Tensão de saída no nível alto (15 V x 1 mA) : 14,8 V

Frequência máxima de operação no modo astável: 2,1 MHz

Tempo de subida/descida do pulso de saída (5 V): 20 ns

O circuito integrado TLC555 pode substituir a versão bipolar do 555 na maioria das aplicações com a vantagem de um menor consumo e maior velocidade.

O único ponto a ser observado é a sua capacidade menor de fornecimento e drenagem de corrente que pode exigir uma etapa impulsora (driver) de saída no circuito utilizado com maior sensibilidade.

Nas aplicações que são alimentadas por pilhas e baterias, o uso

da versão CMOS pode significar uma maior autonomia de funcionamento que deve ser considerada num projeto.

8.4.3 - Os circuitos integrados 74121, 74122 e 74123

Em tecnologia TTL existem três circuitos integrados que contém multivibradores monoestáveis, e que podem ser usados de muitas formas diferentes.

O circuito integrado 74121, por exemplo, consiste num multivibrador monoestável não-redisparável que tem o invólucro e as ligações da rede RC de tempo, conforme a versão, mostrados na figura 32.

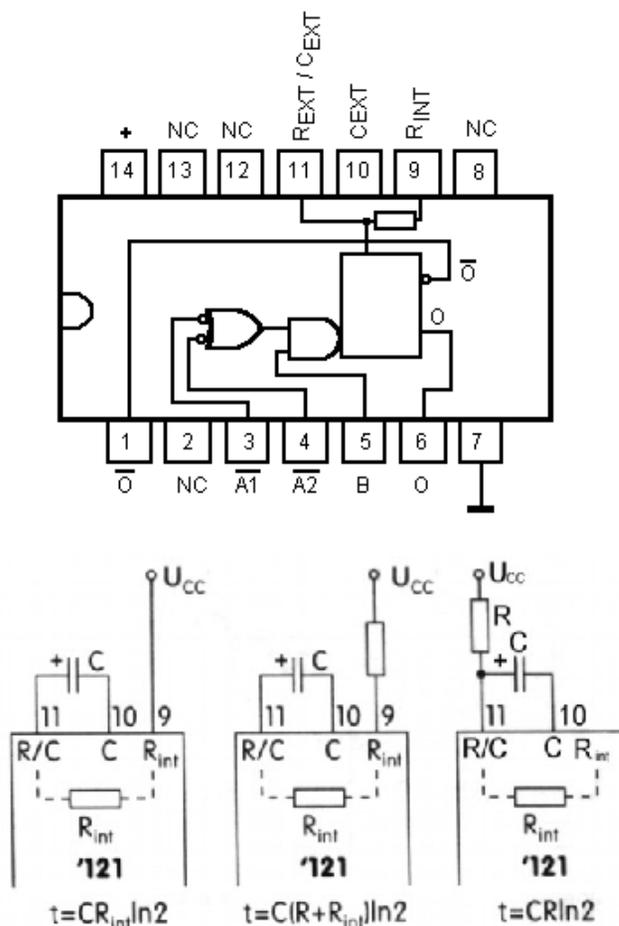


Figura 32 – 74121 Monoestável

Este monoestável pode ser disparado de diversas formas, dependendo do modo como as entradas A1, A2 e B sejam usadas.

Se A1 e A2 forem aterradas, levando-se B ao nível alto com um pulso temos o disparo. O circuito se torna sensível ao nível do sinal como uma ação disparadora.

Se A1 for mantida no nível alto e B também, o disparo do circuito pode ser feito com a passagem do nível alto para o baixo do sinal aplicado em A2.

Finalmente, se A2 e B forem mantidas no nível alto, podemos disparar o circuito com a transição do sinal aplicado em A1, do nível alto para o baixo.

O circuito integrado 74122 contém um multivibrador monoestável redisparrável com a pinagem mostrada na figura 33.

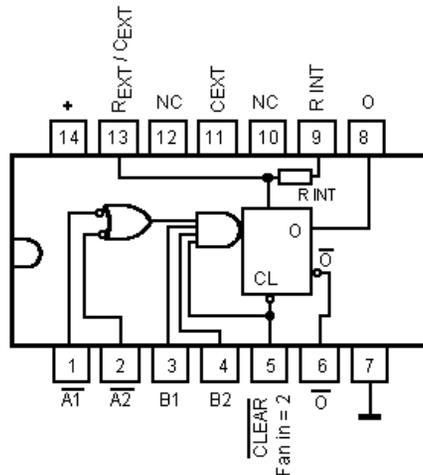


Figura 33 – O 74122

O resistor ligado entre os pinos 13 e 14 pode ter valores entre 5k e 25 k, enquanto que o capacitor pode ter qualquer valor a partir de 10 pF.

O modo como o circuito pode ser usado é determinado pelas conexões das entradas A1, A2, B1 e B2.

Para A1, A2 e B1 mantidas no nível alto, o circuito dispara com transições do sinal de entrada do nível baixo para o nível alto.

Para A1, B1 e B2 no nível alto, o circuito dispara com transições do sinal de entrada do nível alto para o nível baixo.

A entrada CLEAR deve ser mantida no nível alto. Se aterrada ela inibe o funcionamento do circuito ressetando-o.

O circuito integrado 74123 na verdade é a versão DUAL (dupla) do 74122 contendo dois multivibradores monoestáveis redisparráveis num mesmo invólucro conforme mostra a figura 34.

Outros integrados

Diversos circuitos integrados TTL e CMOS podem ser configurados como astáveis e monoestáveis e até existem funções que incluem em setores osciladores, como alguns circuitos integrados contadores que veremos nos próximos capítulos.

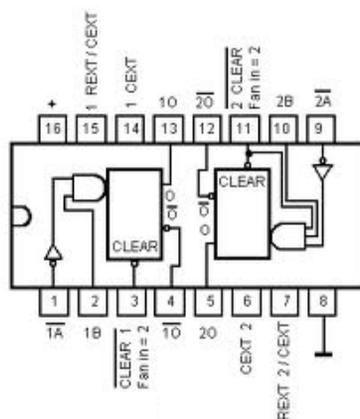


Figura 34 – O 74123

Na prática recomenda-se o uso do 555 em lugar de qualquer um destes multivibradores a não ser que sejam necessários tempos de saída muito curtos, não alcançados pelo primeiro.

Termos em inglês

Alguns termos utilizados neste capítulo são mantidos na forma original, mesmo em documentação técnica em português. Muitos deles, têm traduções que podem ou não coincidir, conforme a documentação.

Trigger – disparo, gatilho
Time on, time HI – tempo disparado
Clear- limpa, limpar
Astable – astável
Monostable – monoestável
Bounce – repique, balanço
Debounce – anti-repique

Termos para pesquisa:

- Osciladores a cristal
- Osciladores TTL e CMOS
- Monoestáveis
- Temporizadores
- Circuitos debounce

QUESTIONÁRIO

1. Quantos estados estáveis tem um multivibrador monoestável?
 - a) 1
 - b) 2
 - c) nenhum
 - d) todos os estados são estáveis

2. Qual dos circuitos abaixo indicados não pode ser usado como astável ou monoestável?
 - a) 7474
 - b) 555
 - c) 74122
 - d) 4011

3. O tempo de carga de um capacitor é diferente do tempo de descarga quando usado num astável. Podemos dizer que o ciclo ativo do sinal gerado é:
 - a) 50%
 - b) maior que 50%
 - c) menor que 50%
 - d) diferente de 50%

4. Num 555 monoestável em configuração normal um pulso que seja aplicado na entrada enquanto a saída estiver no nível alto não pode provocar seu disparo. Este comportamento é característico de que tipo de monoestáveis?
 - a) TTL
 - b) redisparáveis
 - c) não redisparáveis
 - d) edge triggered

5. Que componente nos ajuda a obter ciclos ativos diferentes do normal em multivibradores astáveis?
 - a) resistores
 - b) diodos
 - c) capacitores
 - d) indutores



» Os Contadores Digitais

Nos capítulos anteriores analisamos o princípio de funcionamento de um dos mais importantes blocos da eletrônica digital que é o flip-flop. Vimos que estes blocos poderiam ter diversos tipos de comportamento e que, quando reunidos, poderiam apresentar comportamentos interessantes como, por exemplo, a capacidade de dividir frequências, de armazenar informações (bits), além de outras. Neste capítulo vamos nos dedicar justamente a uma das funções mais importantes dos flip-flops que é a de fazer a contagem do número de pulsos que seja produzido por um circuito, ou a partir de um sensor, o que corresponde em última análise a contagem de bits. A partir desta contagem, podemos usar estes circuitos para a realização de operações mais complexas como, por exemplo, somas, manipulação de dados, divisão de frequência, etc. O leitor verá que, da mesma forma que existem vários tipos de flip-flops, também existem vários tipos de contadores, cada qual com suas características próprias, que os torna aptos a aplicações específicas, todas sempre importantes na eletrônica digital. Este capítulo conta com os seguintes itens.

Itens:

- 9.1 - Os tipos de contadores
- 9.2 – Contadores assíncronos
- 9,3 – Contagem programada
- 9.4 – Contadores up e down (progressivos e regressivos)
- 9.5 – Contadores síncronos
- 9.6 – Contadores síncronos programáveis
- 9.7 – Contadores TTL
- 9.8 – Contadores e divisores CMOS

Objetivos:

- Saber como funciona um circuito contador
- Familiarizar-se com a arquitetura dos principais tipos de contadores
- Conhecer os contadores da família TTL
- Conhecer os contadores da família CMOS

9.1 – Os tipos de contadores

Em eletrônica digital devemos separar os circuitos lógicos sem sincronismo algum daqueles que possuem algum tipo de sincronismo externo, ou seja, usam um sinal de CLOCK.

Existem, portanto, circuitos que se enquadram no que se denomina lógica simples e no que se enquadra no que se denomina lógica sincronizada.

O que ocorre é que existem aplicações em que tudo que importa para o circuito é fazer uma operação com determinados níveis lógicos aplicados à sua entrada quando eles estão presentes, não sendo importante o momento em que isso ocorre. Tais circuitos não precisam de sincronismo algum e são mais simples de serem utilizados.

No entanto, com circuitos muito complexos, como os que são usados nos computadores, máquinas industriais, instrumentos eletrônicos e dispositivos mecatrônicos além de muitos outros casos, o instante em que uma operação deve ser realizada é muito importante, e isso implica que os circuitos devem ser habilitados no instante exato em que determinados níveis lógicos são aplicados em sua entrada.

Isso significa que tais circuitos devem ser sincronizados por algum tipo de sinal vindo de um circuito externo. Este circuito nada mais é do que um oscilador que produz um sinal de clock ou relógio.

Os circuitos que operam com estes sinais são denominados circuitos com lógica sincronizada.

Para os contadores, temos então diversas classificações que levam este fator e outros em conta como, por exemplo:

a) Classificação quanto ao sincronismo:

Os contadores podem ser ASSÍNCRONOS, quando existe o sinal de clock aplicado apenas ao primeiro estágio. Os estágios seguintes utilizam como sinal de sincronismo a saída de cada estágio anterior. Estes contadores também são denominados “Ripple Counters”.

O termo inglês é utilizado normalmente, mesmo em documentos em português, como ocorre com muitos outros termos técnicos, conforme já alertamos nossos leitores.

Os contadores também podem ser SÍNCRONOS ou SINCRO-NIZADOS quando existe um sinal de clock único externo, que é aplicado a todos os estágios ao mesmo tempo.

Na prática, os circuitos dos contadores assíncronos são muito mais simples do que os circuitos dos contadores síncronos. A principal vantagem dos contadores síncronos é que eles podem operar em frequências mais elevadas.

b) Classificação quanto ao modo de contagem

Os contadores podem ser PROGRESSIVOS ou CRESCENTES quando contam numa sequência de números crescentes, ou seja, dos valores mais baixos para os mais altos como (1,2,3,4...). Estes conta-

Sincronismo

Se dois níveis lógicos que devem ser processados por uma porta chegarem a sua entrada em momentos diferentes, por exemplo, 1 e 1, a porta interpretará isso como 0 e 1 e depois 1 e 0, fornecendo uma saída diferente da esperada. Por esse motivo, nos circuitos em que isso pode ocorrer, deve haver algum meio de se sincronizar a chegada desses sinais e isso é feito por um comando externo ou um sinal de clock.

dores também são conhecidos pelo termo inglês UP COUNTERS.

Os contadores podem ser REGRESSIVOS ou DECRESCENTES quando a contagem é feita dos valores mais altos para os mais baixos como (4,3,2,1...). Esses contadores também são conhecidos pelo termo inglês DOWN COUNTERS.

Se bem que possamos fazer contadores usando funções lógicas comuns e mesmo flip-flops discretos, podemos contar na prática com diversos circuitos integrados, tanto em lógica TTL como CMOS, que já possuem contadores completos implementados.

Alguns circuitos possuem contadores com diversas etapas facilitando, dessa forma, a implementação de projetos digitais que façam a contagem de grande quantidade de pulsos.

O uso de tais circuitos, não só facilita o projeto, como ainda reduz seu custo, e torna-os mais confiáveis pelo menor número de peças usadas.

A seguir, analisaremos o funcionamento dos principais tipos de contadores com que podemos contar para o projeto de circuitos lógicos digitais tanto em lógica TTL como CMOS.

Contadores

Conforme o nome sugere, são circuitos que fazem a contagem de alguma coisa, no caso da lógica digital, de pulsos. Assim, os contadores contam os pulsos aplicados às suas entradas fornecendo uma indicação de seu número, normalmente em BCD, Hexadecimal ou mesmo binário.

9.2 – Contadores assíncronos

Conforme explicamos, neste tipo de contador, o sinal de clock é aplicado apenas ao primeiro estágio, ficando os demais sincronizados pelos estágios anteriores.

Na figura 35 temos a estrutura básica de um contador deste tipo usando flip-flops do tipo J-K.

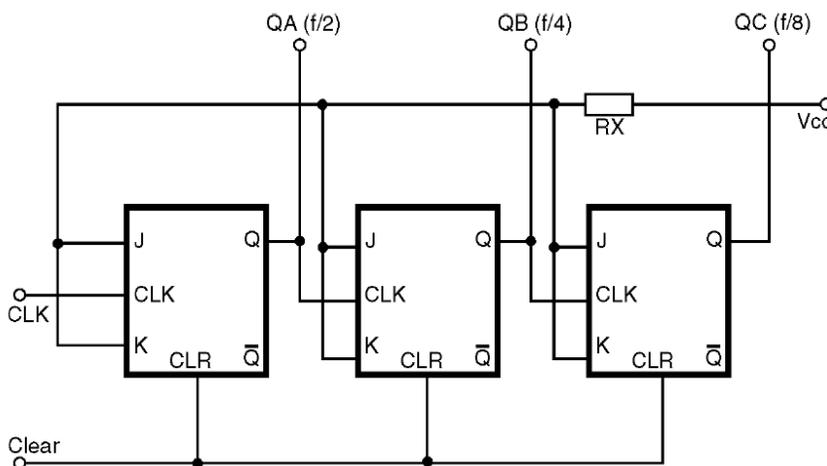


Figura 35 – Um contador assíncrono usando flip-flops J-K

Usamos três estágios ou três flip-flops ligados de tal forma que a saída Q do primeiro serve de clock para o segundo, e a saída Q do segundo serve de clock para o terceiro, e assim por diante, tantos quantos sejam os bits que sejam necessários para representar o número contado.

Sabemos das lições anteriores que os flip-flops ligados da forma indicada funcionam como divisores de frequência. Assim, o sinal de clock aplicado ao primeiro tem sua frequência dividida por 2. A frequência estará dividida por 4 na saída do segundo, e por 8 na saída do terceiro.

Tudo isso pode ser melhor visualizado pelo diagrama de tempos mostrado na figura 36.

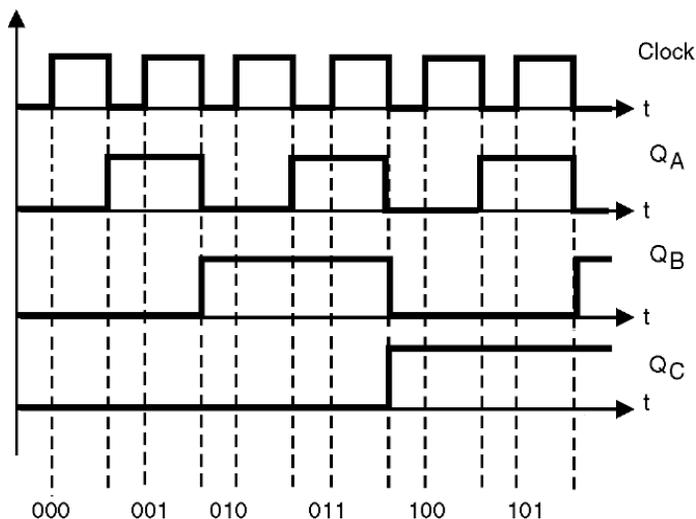


Figura 36 – Diagramas de tempos de um contador com flip-flops J-K

Mas, se elaborarmos uma tabela verdade com os níveis lógicos obtidos na saída de cada um dos flip-flops, a cada pulso do clock aplicado, a partir do instante em que todas as saídas sejam zero, teremos algo interessante a considerar:

Entrada	QC	QB	QA
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Veja que a sequência de valores obtidos 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 e 111 corresponde justamente à contagem, em binário, dos pulsos de 0 a 7! Em outras palavras, este circuito conta os pulsos de entrada e fornece saídas que correspondem à representação binária desta contagem. Veja também que ele faz a contagem crescente, ou seja, de 0 até 7.

É também fácil perceber que, se ao chegarmos no sétimo pulso de entrada, quando os flip-flops estiverem com 111 nas suas saídas, recebendo o oitavo pulso todos os flip-flops zeram, passando as saídas a 000 e começando novamente a contagem.

Se, em lugar de 3 flip-flops, usarmos quatro, no circuito mostrado na figura 37, teremos a contagem de 0000 a 1111, ou seja, uma contagem crescente de 0 a 15 pulsos.

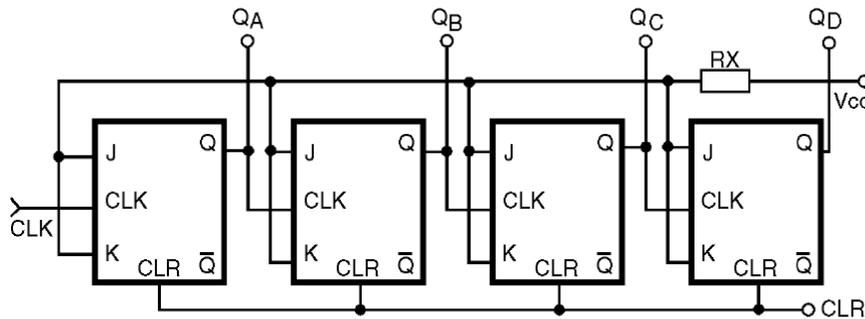


Figura 37 – Contador assíncrono de 4 estágios

Contagem binária

Se o leitor ainda tem dúvidas na contagem binária, será interessante voltar aos primeiros capítulos deste curso.

Oito destes flip-flop fops ligados em série podem contar até 256 pulsos e, com isso, fornecer uma saída de 8 bits ou 1 byte.

Evidentemente, precisaremos de tantos flip-flops quantos sejam os bits necessários à representação do maior número que desejamos contar.

O circuito apresentado comuta na transição negativa do sinal de clock.

Vamos supor agora que, em lugar de usarmos como saídas de contagem as saídas Q de cada flip-flop, usarmos as saídas complementares /Q conforme mostra a figura 38.

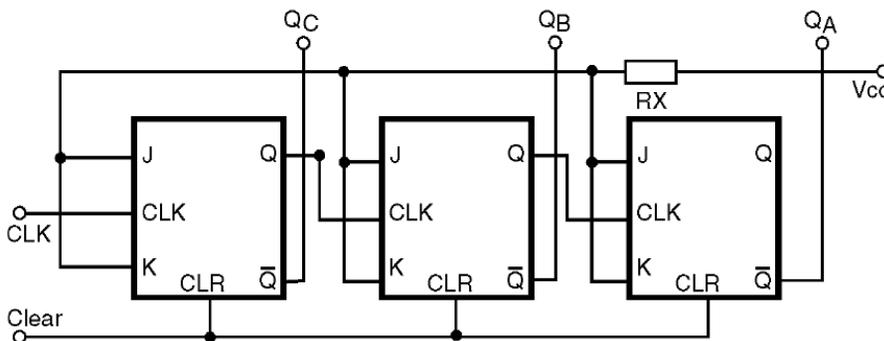


Figura 38 – Contador decrescente de 3 estágios

É fácil perceber que, partindo da situação em que todos os flip-flops estejam ressetados o valor inicial correspondente será 000 ou valor binário 7, e a tabela verdade obtida terá nas saída os complementos da tabela anterior. Esta tabela será dada por:

Entrada	QA	QB	QC	Valor Binário
0	1	1	1	7
1	1	1	0	6
2	1	0	1	5
3	1	0	0	4
4	0	1	1	3
5	0	1	0	2
6	0	0	1	1
7	0	0	0	0

Esse contador fornece em sua saída valores binários que correspondem à contagem decrescente dos pulsos de entrada, partindo de 7. Trata-se, portanto, de um contador decrescente ou DOWN COUNTER.

Como no caso anterior, se tivermos mais flip-flops podemos contar a partir de valores mais altos. Com 4 flip-flops podemos partir a contagem de 15 e com 8 flip-flops de 255.

Veja que a quantidade máxima que podemos contar, com um contador deste tipo, depende unicamente da quantidade de flip-flops usados.

Este valor pode ser calculado pela fórmula:

$$n = 2^x$$

Onde n é o valor máximo de contagem

x é o número de estágios ou flip-flops usados

Para x = 4, por exemplo, teremos:

$$n = 2^4 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$$

Isso significa que, partindo de zero podemos contar até 15, conforme vimos nos exemplos dados.

Para x = 8 temos:

$$n = 2^8 = 2 \times 2 = 256$$

Um problema que ocorre com este tipo de flip-flop é que cada flip-flop precisa de um certo tempo para mudar de estado. Isso significa que, à medida que usamos mais flip-flops em sequência num contador, os tempos de mudança de estado se somam e o conjunto precisa de cada vez mais tempo para chegar ao estado final desejado.

Se aplicarmos um novo pulso de clock para contagem à entrada do circuito, antes de ocorrer a mudança de estado de todos os flip-flops do conjunto, pode ocorrer um funcionamento errático.

Assim, a frequência máxima de operação de um contador é dada pelo tempo necessário para cada estágio mudar de estado multiplicado pelo número de estágios usados no contador.

Evidentemente, num contador com muitos estágios, o tempo total pode limitar sensivelmente o desempenho esperado.

9.3 – Contagem programada

Conforme vimos, os ciclos de contagem dos circuitos dados como exemplos no item anterior são sempre potências de 2, ou seja, são circuitos que contam até 2, 4, 8, 16, 32, etc.

O que devemos fazer, se precisarmos de um circuito que tenha um ciclo de contagem diferente desses valores, ou seja, que não seja uma potência de 2?

Isso pode ser feito se levarmos em conta dois fatores:

* Podemos usar a entrada CLEAR para reiniciar a contagem (zerando-a) quando ela chegar ao valor desejado. Por exemplo, podemos reiniciar a contagem depois do 5, ou seja, no 6, se quisermos um contador que conte de 0 a 5, ou seja, que tenha 6 estados de saída, conforme mostra a tabela verdade dada a seguir:

Entrada	QC	QB	QA	
0	0	0	0	
1	0	0	1	
2	0	1	0	
3	0	1	1	
4	1	0	0	
5	1	0	1	
6	0	0	0	estado instável

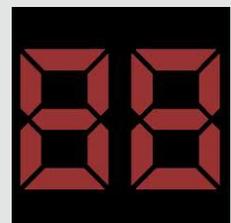
No sexto pulso, que corresponde ao estado, 110 o circuito vai a um estado que ativa a entrada CLEAR e leva todos os flip-flops a serem ressetados.

Para este circuito a solução é simples. Veja que a situação em que devemos ter a volta a zero da contagem e, portanto, a ativação da linha CLR (clear) ocorre com uma única combinação de sinais: QA e QB no nível alto.

Se usarmos flip-flops que tenham entradas CLEAR ativadas pelo nível alto, basta agregar ao circuito uma porta AND de duas entradas com as entradas ligadas nas saídas QB e QC do contador, e a saída na linha comum de CLEAR de todos os flip-flops, conforme mostra a figura 39.

Displays

Conforme vimos nos itens anteriores, podemos fazer a contagem facilmente usando flip-flops, mas o resultado apresentado ainda é BCD, binário ou hexadecimal. Para “ver” os números precisaremos aplicar estes sinais a circuitos especiais denominados “decodificadores” que os aplicam a displays.



Um contador de dois dígitos

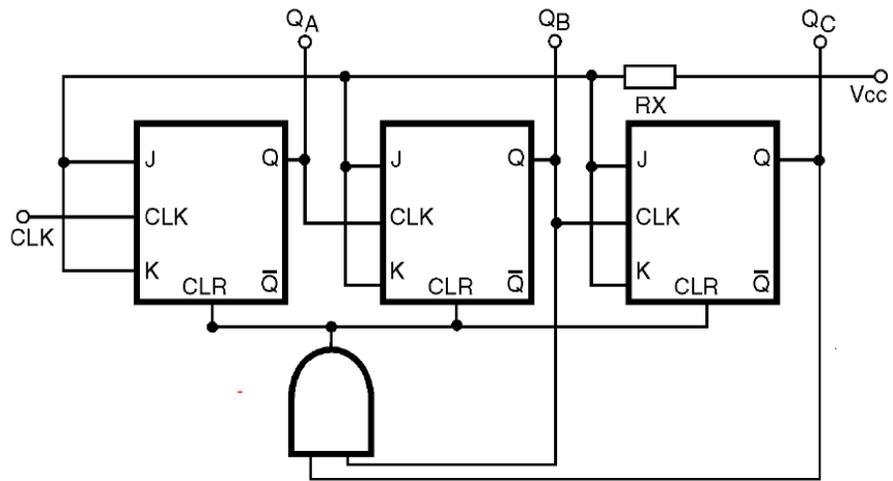


Figura 39 – Contador programado de módulo 6

Se os flip-flops usados tiverem um CLEAR ativado no nível baixo, como o 7476 (TTL), basta usar uma porta NAND em lugar de AND.

Se quiséssemos um contador até 4, por exemplo, o estado em que deveria ocorrer a ativação da entrada CLEAR ocorreria com a quinta combinação de saídas, ou seja, 101, o que significa $QC = 1$ e $QA = 1$. Bastaria então ligar as entradas da porta AND nessas saídas, conforme mostra a figura 40.

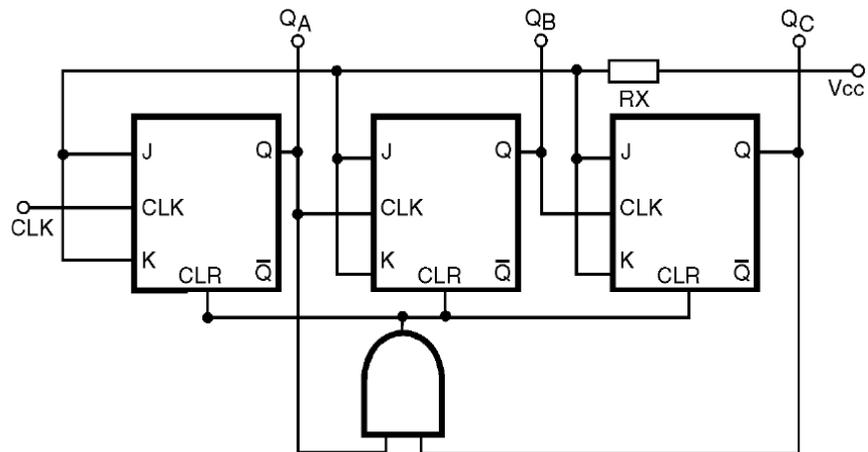


Figura 40 – Contador até 4.(módulo 5)

Um diagrama de tempos pode mostrar ao leitor exatamente o que ocorre com o contador elaborado desta maneira. Este diagrama é mostrado na figura 41.

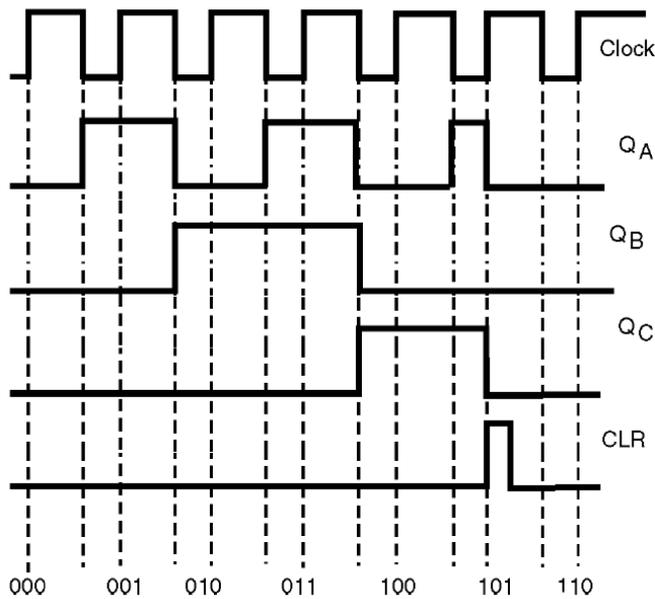


Figura 41 – Diagrama de tempos para o contador da figura 38

Observe que, quando as saídas chegarem ao estado 110, que seria a contagem do quinto pulso no circuito, conforme mostra a figura 42, um pulso de reset de curta duração é produzido. Esta curta duração é dada justamente pelo tempo que os flip-flops levam para mudar de estado ressetando, pois eles “realimentam” as entradas da porta AND.

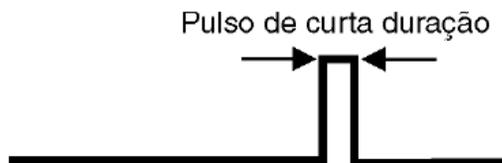


Figura 42 – O pulso de reset

Nos exemplos dados, fizemos a programação da contagem usando as entradas de CLEAR de cada flip-flop.

Outra maneira de projetarmos um contador consiste em usarmos as entradas PRESET em lugar de CLEAR. Para isso, fazemos com que, no momento em que for atingida a contagem do valor imediatamente anterior aquele em que deve ocorrer a volta a zero, ou seja, $n-1$, em lugar de termos a comutação dos flip-flops, tenhamos a ativação das entradas de PRESET. Desta forma, no pulso seguinte de clock (n) teremos a volta a zero (reset) do contador.

Para um contador de 6 estados, que depois do quinto pulso reseta, teremos a seguinte tabela verdade.

Pulsos	QC	QB	QA	
0	0	0	0	
1	0	0	1	
2	0	1	0	
3	0	1	1	
4	1	0	0	
5	1	0	1	- o Preset , ativado
x	x	x	x	- volta a zero na transição do clock
6	0	0	0	
7	0	0	1	
8	0	1	0	

Etc.

Um circuito usando uma porta AND é mostrado na figura 43.

Velocidade de contagem

A velocidade máxima de contagem de um contador é muito importante em muitas aplicações. Para os circuitos TTL esta velocidade pode chegar a algumas dezenas de megahertz, conforme a família considerada. Para os circuitos integrados CMOS, a velocidade é menor.

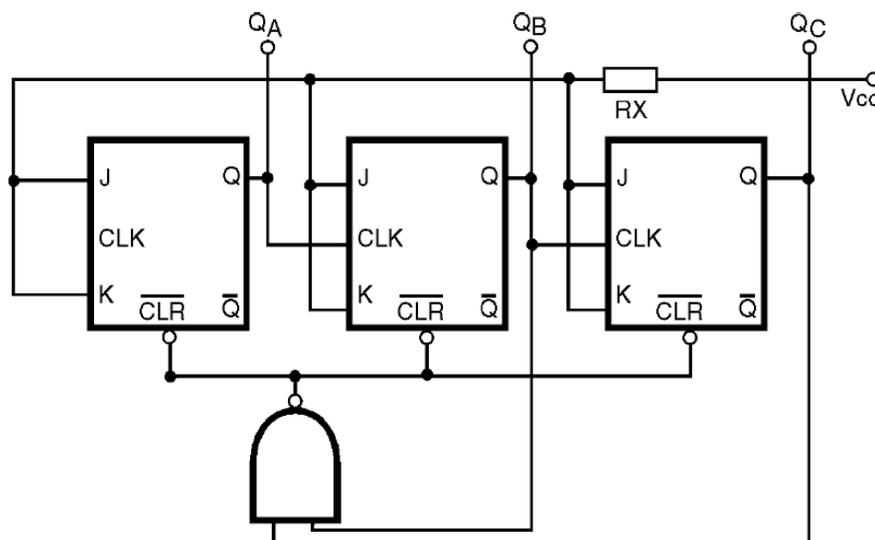


Figura 43 – Para ativar o Clear no nível baixo usamos uma porta NAND

Veja que a detecção da condição de produção do pulso de PRESET deve ser reconhecida com os níveis 101 nas saídas dos estágios dos contadores, e com o pulso indo ao nível alto na entrada de contagem.

Para obtermos a configuração 1111, que nos permitiria usar uma porta AND de quatro entradas, basta levar em conta a saída /QB em lugar de QB.

Assim, basta usar a porta AND e ligá-la nas entradas de PRESET (PR) dos flip-flops.

Se as entradas forem ativadas no nível baixo (/PR) basta trocar a porta AND por uma porta NAND de quatro entradas.

9.4 – Contadores Up/Down (Progressivos e Regressivos)

Usando alguns artifícios, por exemplo, portas lógicas apropriadas, podemos programar um contador de modo que ele possa tanto contar progressivamente como regressivamente.

Esses artifícios são encontrados já embutidos em alguns circuitos integrados que tanto podem ser usados para contagem progressiva como regressiva, dependendo apenas da programação feita por um pino externo.

Usando 3 estágios, por exemplo, podemos ter um contador UP/DOWN conforme mostra a figura 44.

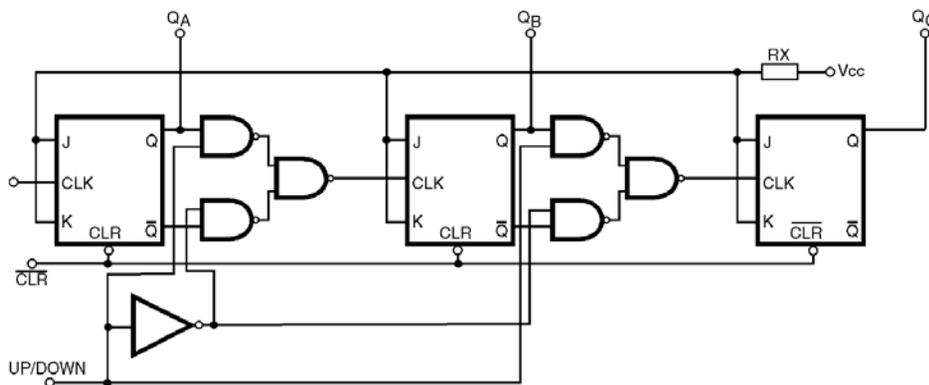


Figura 44 – Contador Up/Down de três estágios

Uma entrada (UP/DOWN) pode ser usada para determinar o sentido da contagem. Trata-se de uma entrada seletora de dados ou DATA SELECTOR, que pode ser usada para mudar o modo de funcionamento dos estágios deste circuito.

O funcionamento deste circuito é simples de explicar. Conforme vimos neste capítulo, se usarmos as saídas Q dos flip-flops de um contador, a contagem será crescente, mas se usarmos as saídas /Q a contagem será decrescente.

Assim, o que fazemos é colocar um circuito seletor nessas saídas, de tal modo que ele coloca a saída Q de cada flip-flop na entrada de clock do seguinte quando a contagem deve ser progressiva, mas coloca a saída /Q na entrada do seguinte quando a contagem deve ser decrescente. Três portas NAND para cada estágio podem fazer isso a partir do sinal de comando UP/DOWN.

9.5 – Contadores síncronos

Sincronizar a contagem por um clock único, aplicado a todos os estágios, não é apenas uma necessidade dos circuitos mais complexos, mas também os envolve lógica mais elaborada, principalmente os usados em informática, automação e instrumentação. O sincronismo

de todos os estágios pelo mesmo clock tem ainda vantagens operacionais importantes.

Conforme vimos, nos contadores assíncronos, os tempos de comutação de cada flip-flop influem no funcionamento final do circuito, pois eles são cumulativos. Em outras palavras, cada estágio precisa esperar o anterior completar a operação antes de iniciar a sua.

Usando lógica sincronizada, ou seja, um contador em que todos os estágios são sincronizados por um clock único, este problema não existe e podemos ter contadores muito mais rápidos, na verdade contadores cuja velocidade independe do número de etapas.

Para mostrar como isso pode ser feito vamos tomar como exemplo o circuito da figura 45.

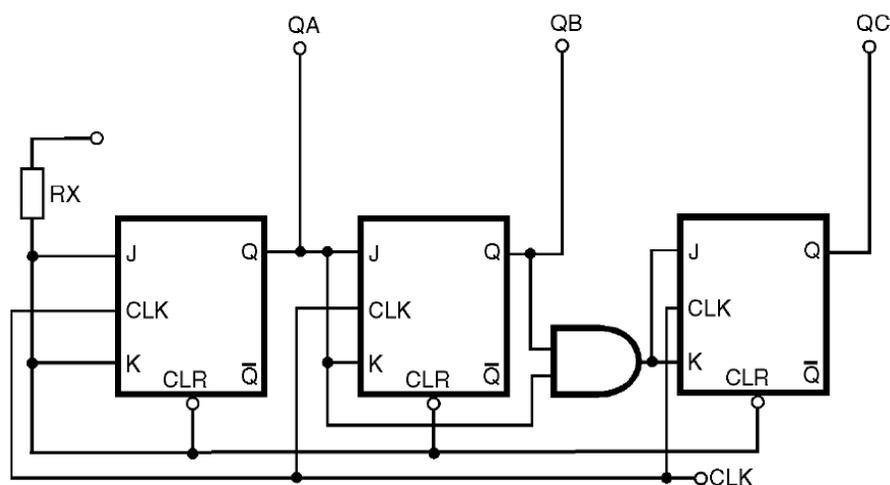


Figura 45 – Contador sincronizado de três estágios

Este circuito utiliza flip-flops tipo J-K ligados de uma forma denominada PARALLEL CARRY.

O termo “carry” se refere ao “vai um” ou “transporta” e é muito usado, sendo mantido o original em inglês na maioria da documentação de eletrônica digital em português.

Nesta forma de ligação, J e K do primeiro flip-flop são mantidas no nível alto com a ajuda de um resistor ligado ao positivo da alimentação (V_{cc}). Desta forma, o primeiro flip-flop muda de estado a cada pulso de clock.

No entanto, J do segundo flip-flop está ligado à saída Q do primeiro. Isso significa que o segundo flip-flop só mudará de estado quando o primeiro flip-flop for ressetado, ou seja, a cada dois pulsos de clock.

Da mesma forma, com o uso de uma porta AND o terceiro flip-flop só vai mudar de estado quando as saídas Q do primeiro e segundo flip-flop forem ao nível 1, ou seja, a cada 4 pulsos de clock.

Para 4 bits, utilizando 4 estágios, podemos usar o circuito mostrado na figura 46.

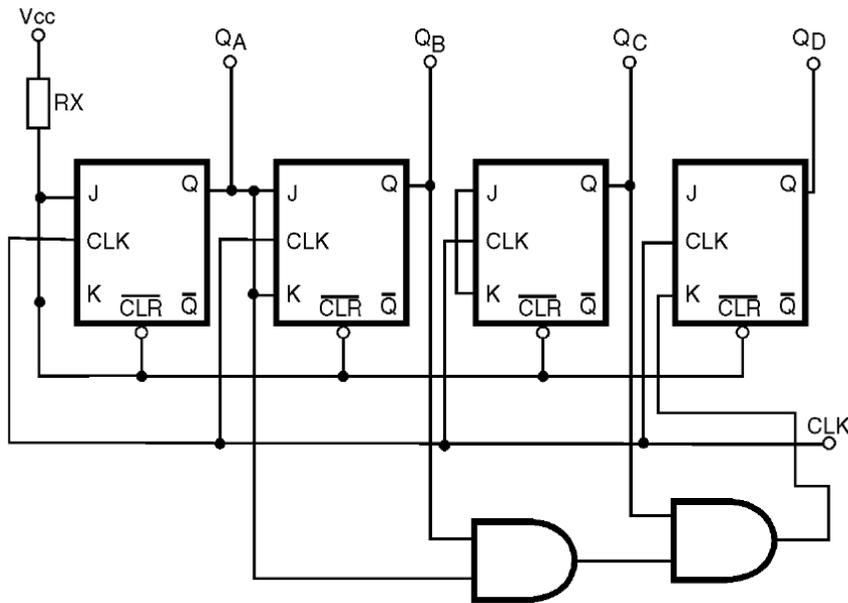


Figura 46 – Contador síncrono de quatro estágios tipo “parallel carry”

Um problema que ocorre com este tipo de configuração é que, a partir de 3 estágios, a cada estágio que acrescentamos no contador, devemos colocar uma porta AND adicional, cujo número de entradas vai aumentando. Assim, para 4 estágios a porta deve ter três entradas, para 5 estágios a porta deve ter 4 entradas e assim por diante.

Uma maneira de evitarmos este problema consiste em usar uma configuração diferente de contador que está ilustrada na figura 47 e que é denominada RIPPLE CARRY.

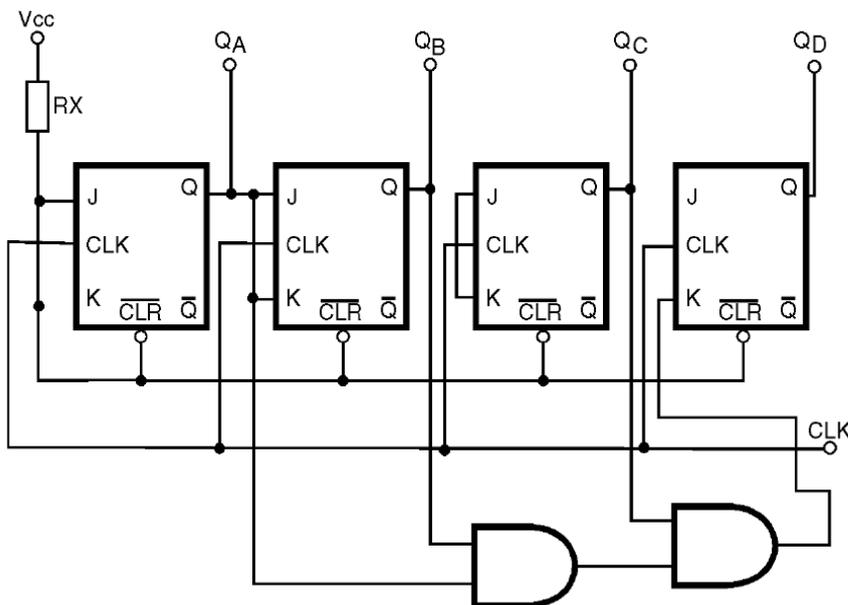


Figura 47 – Contador síncrono de quatro estágios tipo Ripple Carry

Contagens

Na prática podemos ter de projetar circuitos contadores para qualquer número, e até mesmo, para valores que mudem momento a momento. Por exemplo, numa linha de montagem, recebemos a encomenda de 157 produtos, devendo então um contador ser programado para parar justamente neste contagem.



Contador programável de uso industrial

Lembramos que a palavra “ripple” significa ondulação ou variação, e também é mantida na forma original, quando trabalhamos com eletrônica digital.

Neste circuito as portas usadas sempre precisam ter apenas duas entradas, o que é importante para a implementação prática do contador. No entanto, como desvantagem deste circuito temos uma limitação da velocidade de operação, pois como o sinal para cada estágio vem da porta anterior temos de considerar seu atraso.

9.6 – Contadores síncronos programáveis

Da mesma forma que no caso dos contadores assíncronos, também é necessário, em determinadas aplicações, fazer a contagem até valores que não sejam potências de 2.

A divisão ou contagem por outros valores pode ser feita com a ajuda de portas que são ligadas de modo a “sentir” quando um determinado valor é alcançado e então ressetando todos os flip-flops.

A técnica é exatamente a mesma que vimos para o caso dos contadores assíncronos, utilizando portas e outras funções lógicas mais simples.

Também é importante saber que existem circuitos integrados, tanto das famílias TTL e subfamílias como CMOS que já contém recursos para a contagem até valores que não sejam potências de 2 ou então que possam ser utilizados nessa função com poucas portas externas..

Mais adiante, quando dermos circuitos práticos com flip-flops TTL e CMOS teremos diversos tipos de divisores usando circuitos integrados comuns.

9.7 – Contadores TTL

Utilizando portas lógicas e flip-flops, podemos implementar contadores que contem até qualquer valor, ou façam a divisão de um sinal de entrada por qualquer número inteiro. No entanto, na prática podemos contar com muitos circuitos integrados em tecnologia TTL que já contém estes circuitos completos num único chip, e até com recursos que permitam alterar seu funcionamento de modo a se obter a contagem até um determinado valor previamente programado.

O uso destes circuitos, que podem ser ligados em conjunto (em cascata), permite a contagem até praticamente qualquer valor inteiro com um mínimo de componentes externos e alcançando velocidades bastante altas.

A seguir, veremos alguns dos principais circuitos integrados contadores em tecnologia TTL.

Esses contadores tanto podem ser obtidos na família standard como também em suas diversas subfamílias.

a) 7490 - Contador de Década

O circuito integrado 7490 é um dos mais populares de todos os contadores TTL, contendo em seu interior quatro flip-flops já interligados de modo a funcionar como divisores por 2 e por 5. Isso significa que estes divisores podem ser usados de modo a se ter um contador até 2 e um contador até 5, e em conjunto, como um contador até 10.

Na figura 48 temos a disposição dos terminais deste circuito integrado.

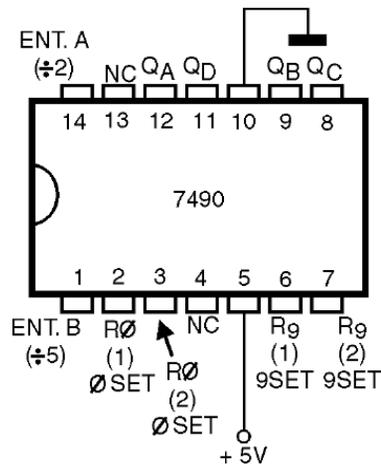


Figura 48 – O circuito integrado 7490 – TTL

O circuito integrado 7490 pode ser usado de três formas diferentes, sempre com as entradas R0(1), R0(2), R9(1) e R9(2) aterradas:

* Quando ligamos a entrada B à saída QA e aplicamos o sinal de clock à entrada A, o circuito funciona como um contador BCD, ou seja, conta até 10, com as saídas decimais codificadas em binário apresentadas nos pinos QA, QB, QC e QD. Esta ligação é mostrada na figura 49.

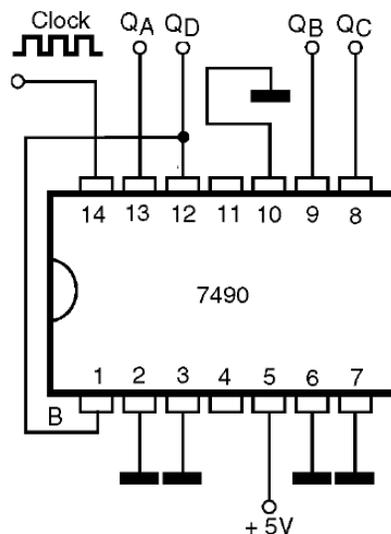


Figura 49 – Contador BCD com o 7490

A tabela verdade para os pulsos aplicados na entrada neste modo de funcionamento será:

Pulso	QD	QC	QB	QA
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Observe que a saída QA é a de menor peso (2) e a saída QD é a de maior peso (8).

* Quando ligamos a saída QD à entrada A e aplicamos o sinal de clock a entrada B, teremos o circuito funcionando como um divisor de frequência por 10 simétrico. Teremos na saída AQ um sinal quadrado (ciclo ativo de 50%) com 1/10 da frequência do clock. Este modo de funcionamento tem as ligações mostradas na figura 50.

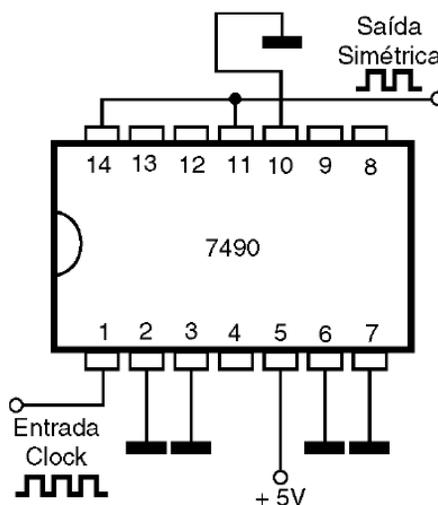


Figura 50 – Divisor por 10 simétrico usando o 7490

* Finalmente, quando quisermos usar o circuito como divisor por 2 ou por 5, com setores independentes, não é preciso ligação externa alguma.

O sinal aplicado em CLK1 tem a frequência dividida por 2, e o sinal aplicado no CLK2 tem a frequência dividida por 5. Na operação

normal as entradas R0(1) e R0(2) devem ser mantidas no nível baixo.

Para a série normal ou standard a frequência máxima de clock é 18 MHz, e cada circuito integrado consome uma corrente média de 32 mA.

Para zerar a contagem, basta levar as entradas 0SET ao nível alto por um instante.

Como o contador é do tipo “ripple, mudando de estado com a frente negativa do sinal de clock, é preciso que o sinal usado para sua excitação seja livre de qualquer repique.

b) 7492 – Contador-Divisor por 12

Este circuito integrado contém quatro flip-flops ligados como um divisor por 2 e um divisor por 6. Os dois divisores podem ser usados de maneira independente. A pinagem deste circuito integrado TTL é mostrada na figura 51.

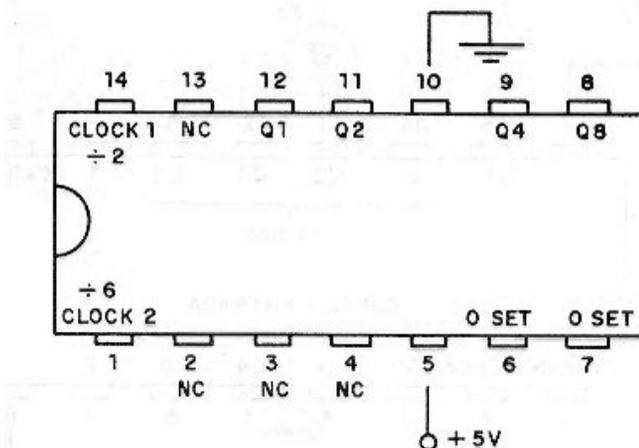


Figura 51 – 7492 – contador/divisor por 12

O disparo dos flip-flops ocorre na transição do sinal de clock do nível alto para o nível baixo (frente negativa do sinal de entrada). Para ressetar o contador para 0000, basta aplicar o nível lógico 1 nas entradas 0 SET.

Existem três modos de operação para este circuito integrado:

* Como contador até 12, basta ligar a saída QA à entrada B. O sinal de clock é aplicado à entrada A. A tabela verdade para este modo de operação será:

DIL e SMD

Os circuitos integrados destas séries podem ser obtidos tanto em invólucros DIL como para montagem em superfície (SMD). Veja mais no capítulo sobre circuitos integrados no volume Eletrônica Analógica (Vol 2).

Entrada	QD	QC	QB	QA
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1

No décimo segundo pulso, o circuito resseta e volta à saída 0000.

- Na segunda forma de operação ligamos a saída QD à entrada A. O circuito funcionará como um divisor simétrico de frequência. A frequência do sinal de clock aplicado a entrada B será dividida por 12 e o sinal terá um ciclo ativo de 50%.

- Na operação sem nenhuma ligação externa, o sinal aplicado à entrada A terá sua frequência dividida por 2 e o sinal aplicado na entrada B terá sua frequência dividida por 6.

A frequência máxima de operação do 7492 da série normal (standard) é de 18 MHz e o consumo por CI é da ordem de 31 mA.

c) 7493 - CONTADOR BINÁRIO DE 4 BITS

Neste circuito integrado encontramos 4 flip-flops que formam um divisor por 2 e um divisor por 8. Em conjunto, eles podem dividir ou contar até 16, fornecendo uma saída de 4 bits completa.

Na figura 52 temos a pinagem deste circuito integrado.

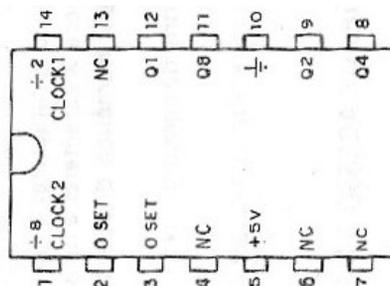


Figura 52 – 7493 – Contador progressivo de 4 bits

Na operação normal, as entradas 0 SET (2) e 0 SET (3) são mantidas no nível baixo e o disparo ocorre com a transição do sinal de clock do nível alto para o nível baixo.

A operação pode ocorrer de dois modos:

- Com a saída Q1 ligada à entrada 14 e o sinal de entrada aplicado na entrada 1 o circuito conta na sequência normal de 0000 até 1111 e nas saídas Q1, Q2, Q3 e Q4 teremos os valores correspondentes.

- Sem conexões externas, podemos usar o circuito como divisor por 2 e por 8 independentes, aplicando os sinais nas entradas A e B respectivamente.

d) 74190 – Contador/divisor por 10 Up/Down

Trata-se da versão do 74190 que conta no sentido progressivo e regressivo. A pinagem deste circuito integrado é mostrada na figura 53.

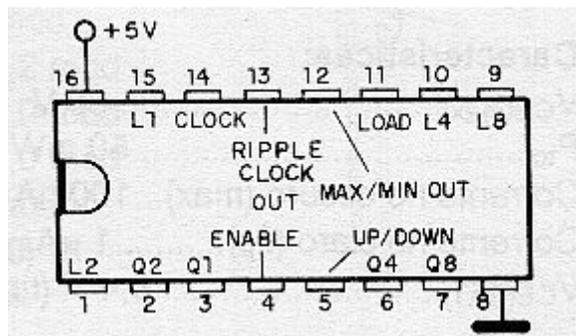


Figura 53 – O contador/divisor por 10 up/down

Na operação normal progressiva, a entrada LOAD (carga) deve ser mantida no nível alto, a habilitação (EN) no nível baixo e a entrada UP/DOWN deve ser mantida no nível baixo. Com esta entrada no nível alto ele conta regressivamente.

O contador avança uma unidade na contagem na transição do nível baixo para o nível alto do pulso de clock.

A frequência máxima de contagem para a versão standard é 20 MHz e o consumo médio por circuito integrado é 65 mA.

9.8 – Contadores e divisores CMOS

Também podemos contar com diversos circuitos integrados em tecnologia CMOS contendo contadores e divisores. A seguir veremos alguns dos mais importantes.

a) 4017 – Contador/divisor por 10

Este circuito integrado contém um conjunto de flip-flops e um sistema decodificador para as saídas que fornecem sinais do tipo 1 de 10.

Outros contadores

Além destes, existem diversos outros contadores na família TTL. Muitos possuem recursos adicionais que podem ser importantes em aplicações específicas. É importante que o leitor tenha acesso a um manual TTL para saber escolher o melhor tipo para sua aplicação.

Neste tipo de saída, a cada pulso apenas uma saída vai ao nível alto, voltando a anterior ao nível baixo. Assim, para 10 pulsos de entrada, as saídas passam sequencialmente ao nível alto.

Na figura 54 temos a pinagem deste circuito integrado.

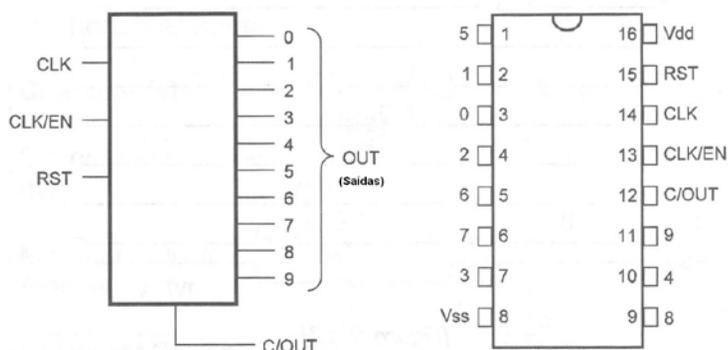


Figura 54 – O circuito integrado 4017

Na operação normal, contando até 10, as entradas RST e EN devem ser mantidas no nível baixo. Levando-se a entrada RST ao nível alto o contador é ressetado. Se a entrada EN for levada ao nível alto a contagem é paralisada.

Na figura 55 temos as formas de onda deste contador, mostrando como em cada instante temos sempre apenas uma saída no nível alto.

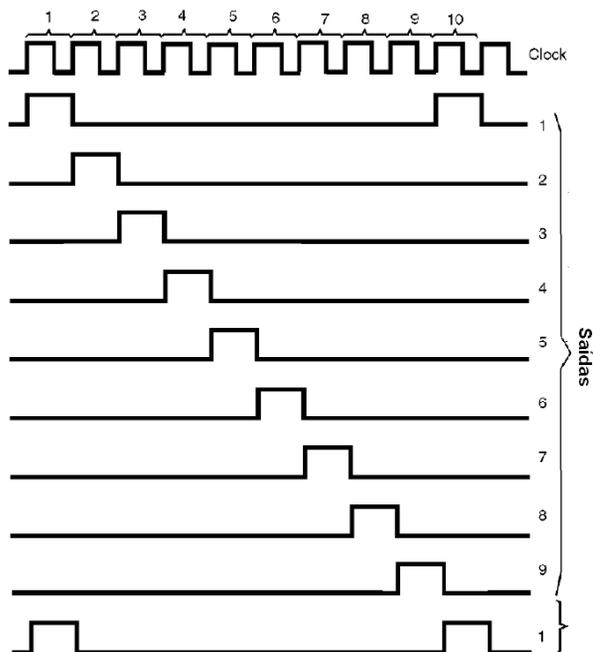


Figura 55 – Sinais de saída do contador decodificador 4017

Como em todos os circuitos CMOS, a frequência máxima de contagem depende da tensão de alimentação. A tabela abaixo fornece as características desse CI:

Característica	Condições (Vdd)	Valor
Corrente de saída drenada/fornecida tip.	5 V	0,88 mA
	10 V	2,25 mA
	15 V	8,8 mA
Frequência máxima de clock (tip)	5 V	2 MHz
	10 V	5 MHz
	15 V	6 MHz
Corrente quiescente máxima	5 V	0,3 mA
	10 V	0,5 mA
	15 V	1,0 mA
Faixa de tensões de alimentação	3 V a 15 V	

b) 4018 - Contador/Divisor Por N

Este circuito integrado pode fazer a divisão ou contagem de pulsos em valores até 10 programados pelas ligações externas.

Sua pinagem é mostrada na figura 56.

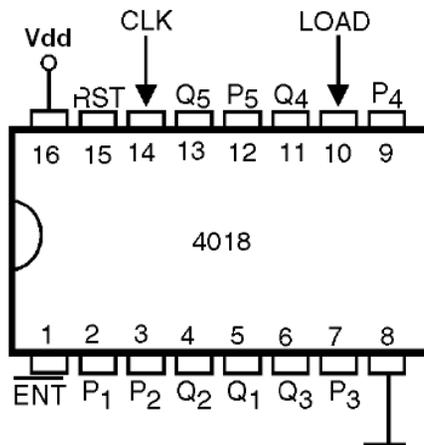


Figura 56 - O contador divisor por n, 4018

Seu funcionamento será detalhado no próximo capítulo como base dos contadores mais complexos.

Suas principais características são dadas na tabela seguinte:

Característica	Condições (Vdd)	Valor
Corrente drenada/fornecida (tip)	5 V	0,88 mA
	10 V	2,25 mA
	15 V	8,8 mA
Frequência máxima de clock	5 V	4 MHz
	10 V	9 MHz
	15 V	14 MHz
Corrente quiescente máxima	5 V	0,3 mA
	10 V	0,5 mA
	15 V	1,0 mA
Faixa de tensões de alimentação	3 V a 15 V	

Outros contadores

A família CMOS de circuitos digitais é ampla assim, além dos tipos dados como exemplo, existem outros que podem ser utilizados em aplicações específicas. É importante que o leitor tenha um manual para consulta.

Termos em inglês

Como nos capítulos anteriores, temos diversos termos em inglês que, em sua maioria, são mantidos na forma original, mesmo na literatura técnica em português. No entanto, muitos já têm tradução, e alguns deles são relacionados a seguir:

Carry – transporta (vai um)
Borrow – empresta (na subtração)
Drain– drenada (corrente)
Source – fornecida (corrente)
Clock – relógio
Enable – habilitar
Disable – desabilitar
Up – para cima (progressivo)
Down - para baixo (regressivo)

Termos para pesquisa:

- Família TTL
- Subfamílias TTL
- Famílias CMOS
- Prescalers
- Contadores digitais

QUESTIONÁRIO

1. Que tipo de contador tem cada estágio controlado pelo anterior, com o sinal de clock aplicado apenas ao primeiro estágio?

- a) Síncrono
- b) Assíncrono
- c) Ripple Counter
- d) Contador de década

2. Qual é o valor máximo de contagem de um contador que use 4 flip-flops?

- a) 4
- b) 8
- c) 16
- d) 10

3. Para um contador de 4 estágios, um do tipo síncrono e outro assíncrono, qual é o mais rápido?

- a) O contador síncrono
- b) O contador assíncrono
- c) Ambos têm a mesma velocidade
- d) Depende do modo como são usados

4. Podemos fazer a contagem até valores que não sejam potências de 2 usando que tipos de circuitos?

- a) Contadores comuns sozinhos
- b) Contadores comuns e funções lógicas
- c) Somente funções lógicas complexas
- d) Não é possível fazer isso

5. Qual dos contadores/divisores abaixo relacionados tem saídas do tipo 1-de-10?

- a) 7400
- b) 7490
- c) 74190
- d) 4017



» Aplicações para os contadores digitais e decodificadores

No capítulo anterior estudamos os contadores e divisores de frequências que consistem nos blocos digitais que, usando flip-flops, são os elementos fundamentais para o projeto de circuitos. No mesmo capítulo vimos tanto o funcionamento dos contadores em detalhes, analisando os diversos tipos possíveis, como algumas alterações que podem ser feitas no seu modo de ligação e na própria utilização prática, de grande importância para os projetos práticos. Neste capítulo continuaremos a explorar o assunto, com a análise de alguns circuitos práticos que podem ser elaborados com base nos circuitos integrados TTL e CMOS e que consistem em contadores e divisores de frequência. Será muito importante o leitor prestar bastante atenção nestes blocos, pela sua utilidade no projeto de grande quantidade de circuitos digitais e para o entendimento de circuitos equivalentes encontrados em computadores, automação industrial, controle e outras aplicações semelhantes. Este capítulo contém os seguintes itens:

Itens:

- 10.1 - Contadores/divisores por N
- 10.2 – Circuitos práticos
- 10.3 – Módulos maiores e programáveis
- 10.4 – Os circuitos integrados 4020 e 4040

Objetivos:

- Entender como funcionam os contadores e divisores por qualquer número
- Analisar alguns circuitos práticos com contadores
- Aprender a trabalhar com módulos maiores e programáveis
- Entender como funcionam os conversoras D/A
- Conhecer melhor os circuitos integrados 4020 e 4040

10.1 – Contadores/divisores por N

Dividir uma frequência por um valor qualquer (n), é um problema cuja solução pode ser muito importante para a implementação de um projeto de eletrônica digital.

Conforme vimos no capítulo anterior, a divisão natural de circuitos que usam flip-flops é por valores que sejam de potências de 2, conforme mostra a figura 57.

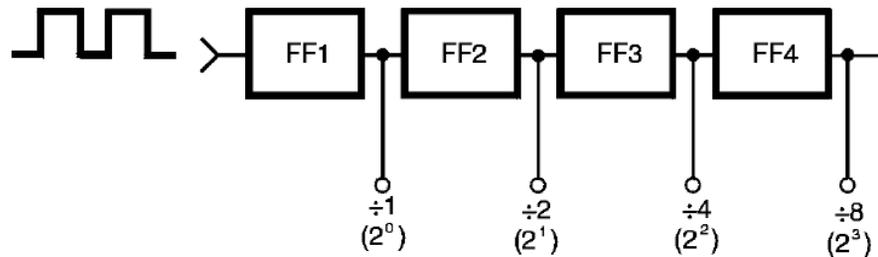


Figura 57 – Flip-flops dividem por potências de 2

No entanto, usando recursos simples, como portas e outras funções lógicas, podemos alterar este comportamento e assim obter a divisão por qualquer número inteiro que seja menor que o valor n da divisão final do módulo, ou contador, conforme mostra a figura 58.

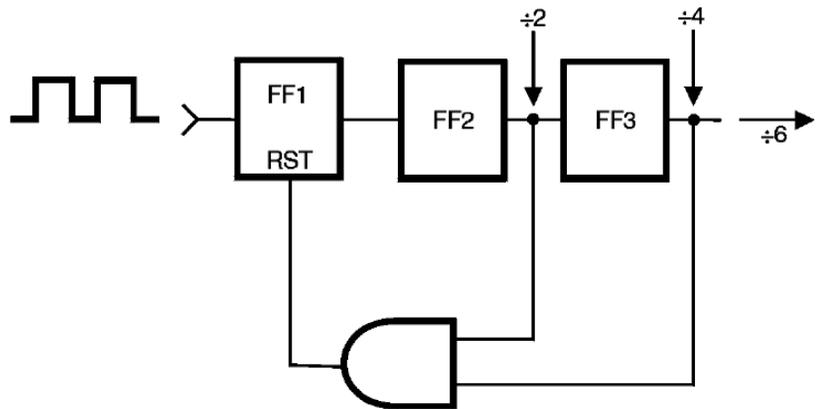


Figura 58 – Um divisor por 6, que não é potência de 2

Na prática podemos contar com contadores e divisores na forma de circuitos integrados digitais de diversas tecnologias e que, tanto podem ser usados na divisão por determinados números, que são fixados por elementos internos do circuito, como também podem ser usados na divisão por qualquer outro valor quer seja por meio de programação, quer seja pelo uso de elementos externos ou ainda pelos dois recursos.

A programação consiste na interligação de determinados pinos, enquanto que o uso de portas consiste na ligação de funções lógicas determinadas entre pinos previamente fixados para esta finalidade.

Neste capítulo veremos alguns circuitos práticos que podem ser usados na divisão de frequência sendo, entretanto, interessante definir

dois termos importantes que usaremos com frequência na definição das características destes circuitos.

a) Módulo - é o valor n ou valor máximo que um contador pode contar. Por exemplo, um contador de módulo 8 é um contador que pode contar até 8 ou dividir uma frequência por valores até 8.

Se o contador tiver um módulo fixo, ele só pode dividir por este valor. No entanto, se o contador tiver um módulo variável, ele pode dividir ou contar valores de 2 até este valor n .

Conforme estudamos no capítulo anterior, o valor máximo até onde um contador pode ir é dado pelo número de flip-flops usados, conforme mostra a figura 59.

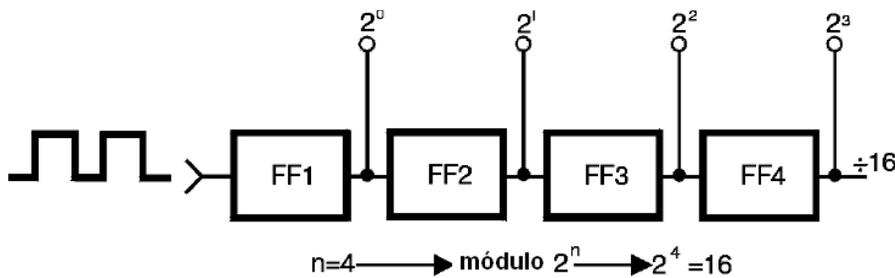


Figura 59 – O valor máximo de contagem depende do número de flip-flops

b) Peso - num contador com saídas nos diversos flip-flops, a saída de cada um tem um certo “peso”, na determinação do valor binário obtido na contagem.

Assim, para o circuito da figura 59, a saída QA tem peso 1, já que ela só pode variar entre 0 e 1. A saída QB por outro lado, tem peso 2, pois ela representa valores entre 0 e 2. A terceira saída (QC) tem peso 4 já que ela pode significar os valores 0 ou 4 da contagem, enquanto que QD tem peso 8 já que ela pode significar valores 0 ou 8, conforme esteja no nível baixo ou alto.

Em alguns manuais, ou mesmo especificações de componentes, em lugar de QA, QB, QC, etc. podemos encontrar indicações como Q1, Q2, Q3, etc. ou ainda Q1, Q2, Q4, Q8, etc. Nesse último caso, os pesos estão implícitos na sua designação, conforme mostra a figura 60.

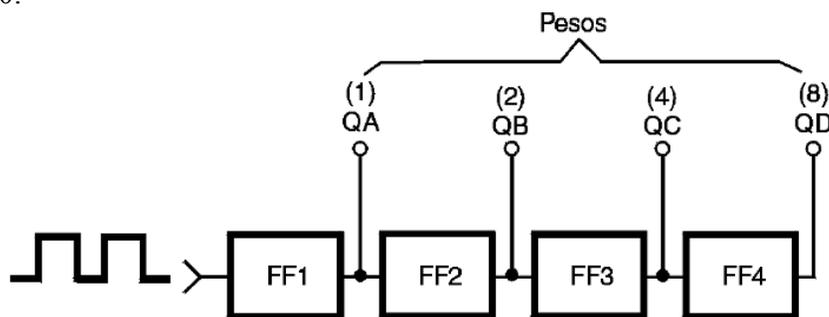


Figura 60 – Indicação dos pesos

Contagem binária

Em caso de dúvidas sobre a contagem binária, sugerimos consultar os primeiros capítulos deste curso, no volume 1. O conhecimento da contagem binária é fundamental para o que estaremos estudando nos próximos capítulos.

Assim, conforme vimos pelas tabelas verdade dos contadores, os níveis destas saídas dão o valor em binário da quantidade de pulsos de entrada contados.

c) Decodificação - alguns contadores que estudamos, como o 4017, possuem saídas decodificadas, pois elas não correspondem a valores em binário, mas sim representados de outra forma. No caso do 4017, a saída é decodificada para 1 de 10, no sentido de que apenas uma delas está no nível alto para cada número da contagem.

Podemos ter outros tipos de decodificação como, por exemplo, 1 de 16.

d) Cascadeável - A ligação em cascata, ou um após outro, é importante quando desejamos fazer a contagem até valores que um único circuito integrado não alcança.

Assim, dizemos que os contadores são “cascadeáveis” quando eles podem ser ligados da forma que é mostrada na figura 61.

Contagem e divisão
 Veja que a divisão por qualquer número pode ser obtida ligando-se contadores cujos módulos sejam obtidos pela decomposição do número num produto de inteiros menores que 16, pois normalmente podemos obter divisores até 16.

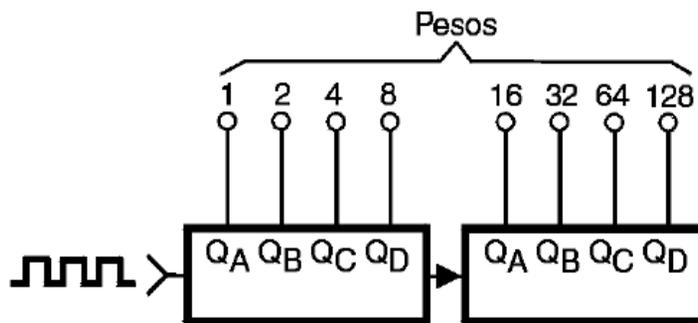


Figura 61 – Cascadeando contadores

Quando ligamos contadores binários ou BCD em cascata o módulo final obtido passa a ser o produto dos módulos dos contadores associados. Por exemplo, ligando um contador/divisor de módulo 10 em cascata com um de módulo 6, obtemos um contador/divisor de módulo 60, conforme mostra a figura 62.

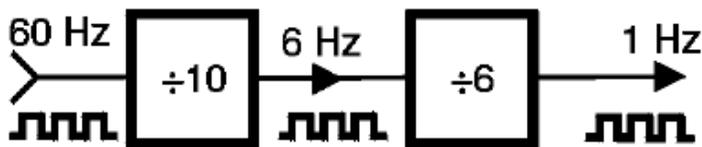


Figura 62 – Contador, divisor por 60

Esta é uma configuração muito usada em relógios digitais, que produzem um pulso por segundo (1 Hz), dividindo a frequência da rede (60 Hz) por 60.

Quando ligamos outros tipos de contadores como, por exemplo, os do tipo 1 de n (1 de 10 como o 4017), em cascata os módulos se somam.

10.2 – Circuitos práticos

Daremos a seguir uma série de circuitos práticos de divisores usando circuitos integrados tanto TTL como CMOS que podem ser usados em projetos em que se deseja fazer a divisão ou contagem em diversos módulos a partir de 2.

a) Divisor por 2

Os dois circuitos mostrados na figura 63, com base nos circuitos integrados TTL 74107 e 7474, que contém flip-flops J-K e do tipo D, fazem a divisão da frequência de entrada por 2.

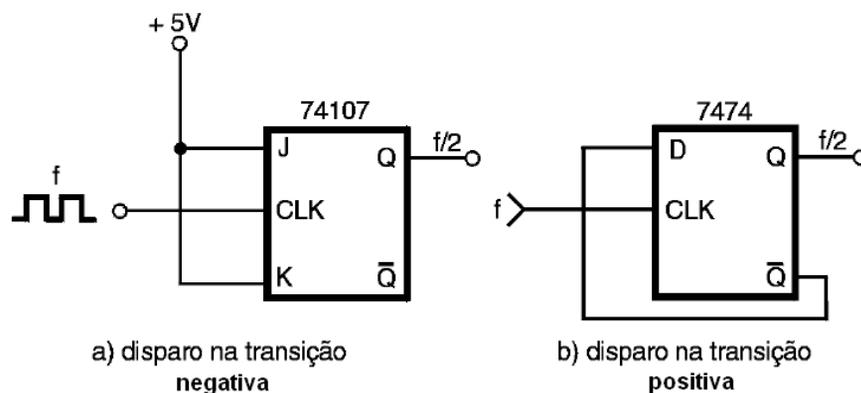


Figura 63- Dois divisores TTL por 2

Observe que o primeiro circuito dispara na transição negativa do sinal de clock, enquanto que o segundo dispara na transição positiva do sinal de clock.

Em outras palavras, a saída destes circuitos tem uma frequência que corresponde à metade da frequência do sinal retangular de entrada.

b) Divisores por 3

Divisores por 3 com base em flip-flops TTL e portas são mostrados a seguir. O primeiro, mostrado na figura 64 usa dois flip-flops do 74107 e uma porta NAND 7400.

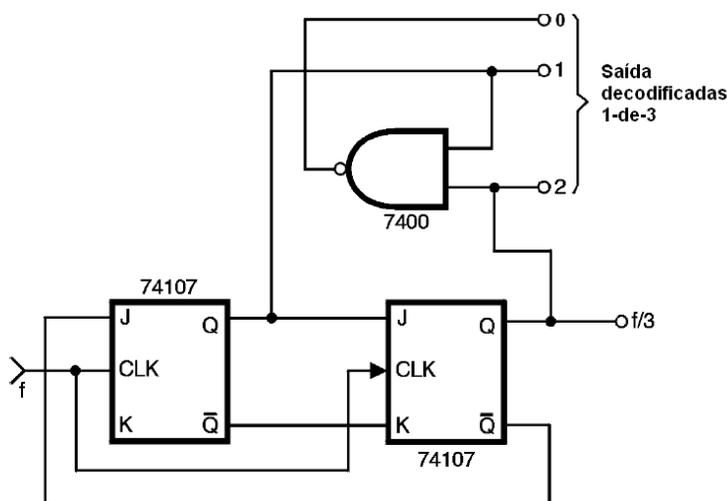


Figura 64- Divisor por 3 com saídas decodificadas 1 de 3

Este circuito já foi estudado no capítulo anterior consistindo num contador decodificado com saída 1 de 3.

O segundo é mostrado na figura 65, fazendo uso do mesmo circuito integrado 74107 e duas portas NOR do 7402.

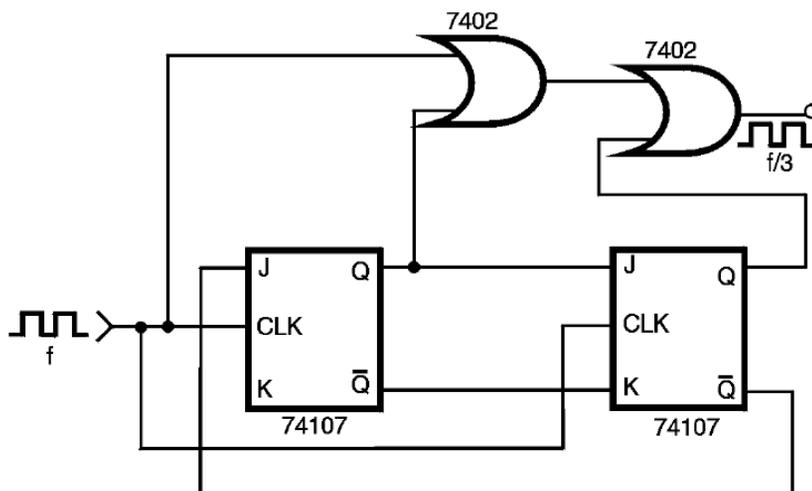


Figura 65 – Divisor TTL com saída única de $f/3$

Este circuito se caracteriza por ter uma saída simétrica, ou seja, com ciclo ativo de 50%.

É importante observar que muitos divisores de frequência ou contadores, como os indicados, não fornecem um sinal “quadrado”, mas sim retangular com ciclo ativo diferente de 50%. Dependendo da aplicação, essa característica pode ser importante para o funcionamento correto do circuito.

Quadrado
 Nem todos os divisores fornecem um sinal quadrado, ou seja, com 50% de ciclo ativo na saída. Na aplicação, deve-se verificar se o funcionamento é normal com o tipo de sinal obtido.

c) Divisores por 4

Na figura 66 temos três circuitos práticos que permitem fazer a divisão ou contagem até 4.

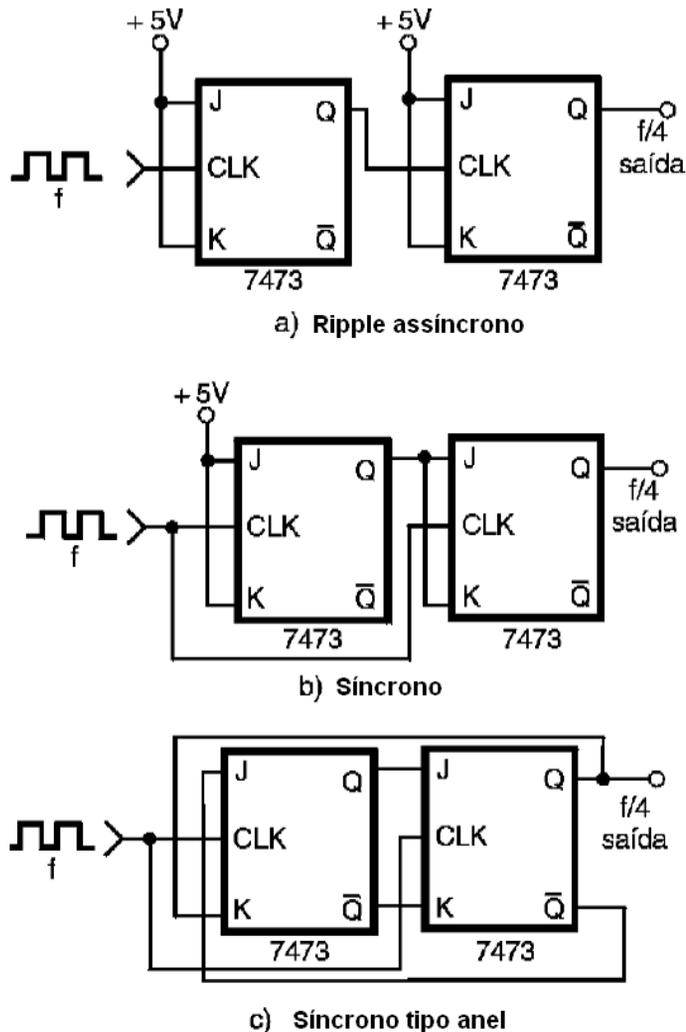


Figura 66 – Contadores divisores por 4

Todos eles se baseiam em circuitos integrados TTL comuns que já estudamos no capítulo anterior. São os usados os flip-flops duplos 7473, nesse caso.

Evidentemente, a mesma configuração pode ser implementada com flip-flops equivalentes em tecnologia CMOS.

d) Divisores por 5

Usando circuitos integrados TTL e CMOS temos diversas possibilidades de implementar divisores de frequência ou contadores de módulo 5.

Quatro destes circuitos são mostrados na figura 67.

Independência
 Na maioria dos circuitos integrados divisores, existem módulos que podem ser utilizados de forma independente.

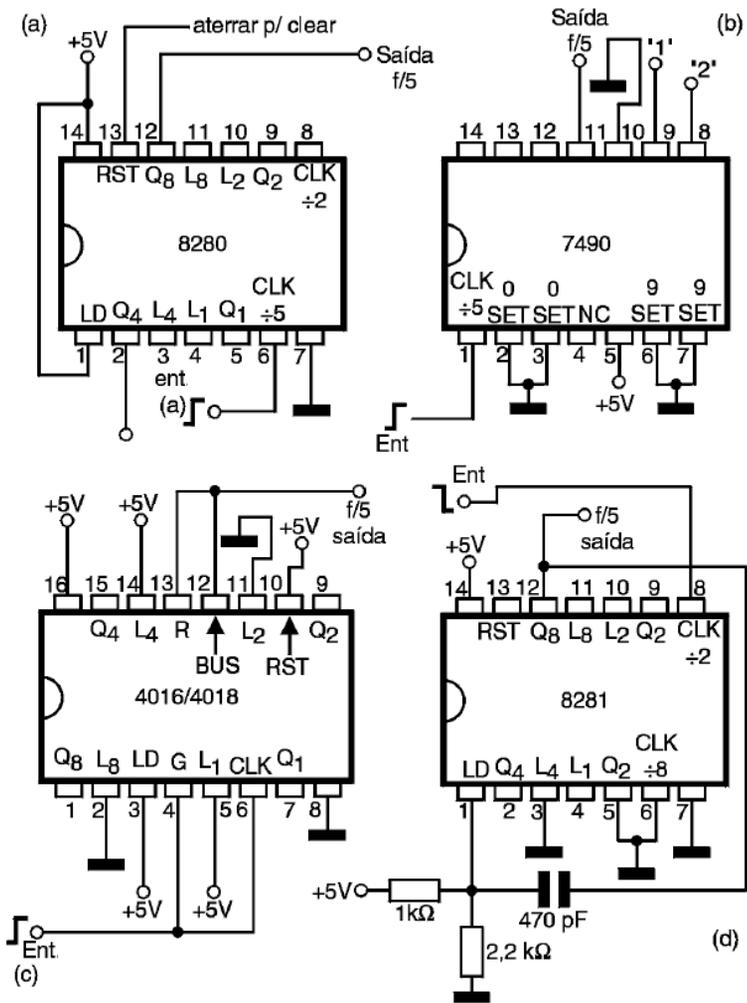


Figura 67 –Divisores TTL e CMOS por 5

Observe que o circuito 7490 é usado de forma direta já que, como vimos, ele já possui internamente um divisor por 5. Este circuito tem algumas desvantagens que podem ser superadas com o uso de versões mais modernas como o 74290 e 74293.

Também é importante saber que o módulo divisor por 2, que consta desse circuito integrado, por não estar sendo usado, pode ser aproveitado em outra aplicação no mesmo aparelho.

O circuito com o 4018 é muito interessante, por ser este componente um contador “programado”. Basta aplicar nas entradas de programação (L) o número na forma binária para o qual se deseja fazer a divisão.

Por exemplo, para dividir por 5 (0101) basta levar as entradas L2 e L4 ao nível baixo e as entradas L1 e L3 ao nível alto já que este circuito é um “down counter”.

Observe no caso do 8281 que é necessário o uso de um par de resistores na entrada para a sua polarização. Também observamos que esse CI, mesmo tendo uma “numeração diferente” é TTL, se bem que não seja um componente muito comum em nossos dias.

e) Divisores por 6

Na figura 68 damos quatro configurações que podem ser usadas, com apenas um circuito integrado cada uma, para fazer a contagem de módulo 6.

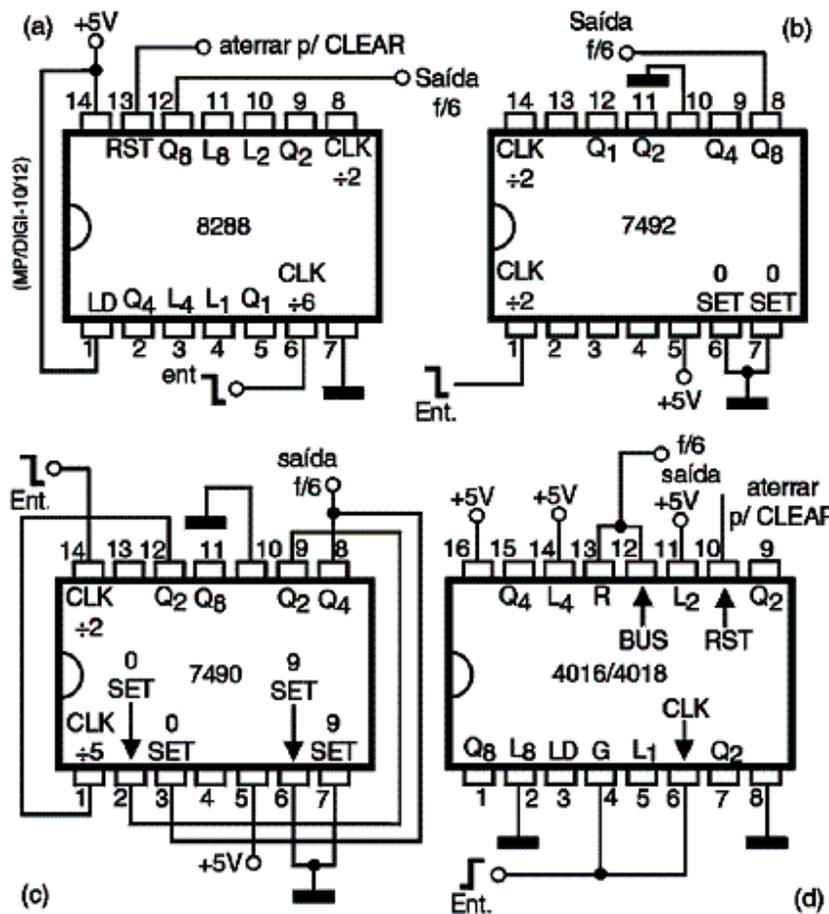


Figura 68 – Contadores TTL e CMOS módulo 6

Novamente encontramos o 4018, que apenas recebe a programação apropriada nas entradas L, conforme vimos no caso anterior e o 7490 que é bastante versátil neste tipo de aplicação.

As características obtidas em cada caso são especificadas junto ao circuito correspondente.

Observe também os tipos de sinais usados para fazer o chaveamento de cada configuração, já que algumas disparam com a transição positiva do sinal de clock, enquanto que outras disparam com a transição negativa do sinal de clock.

O momento em que os circuitos fazem a contagem (mudança de estado) é algo que o projetista deve estar atento quando escolher uma configuração desse tipo para seu projeto.

e) Divisores por 7

A divisão ou contagem em módulo 7 pode ser feita basicamente com os mesmos circuitos que usamos para o caso do módulo 6, com

pequenas alterações eu envolvem a programação. Estes circuitos são mostrados na figura 69.

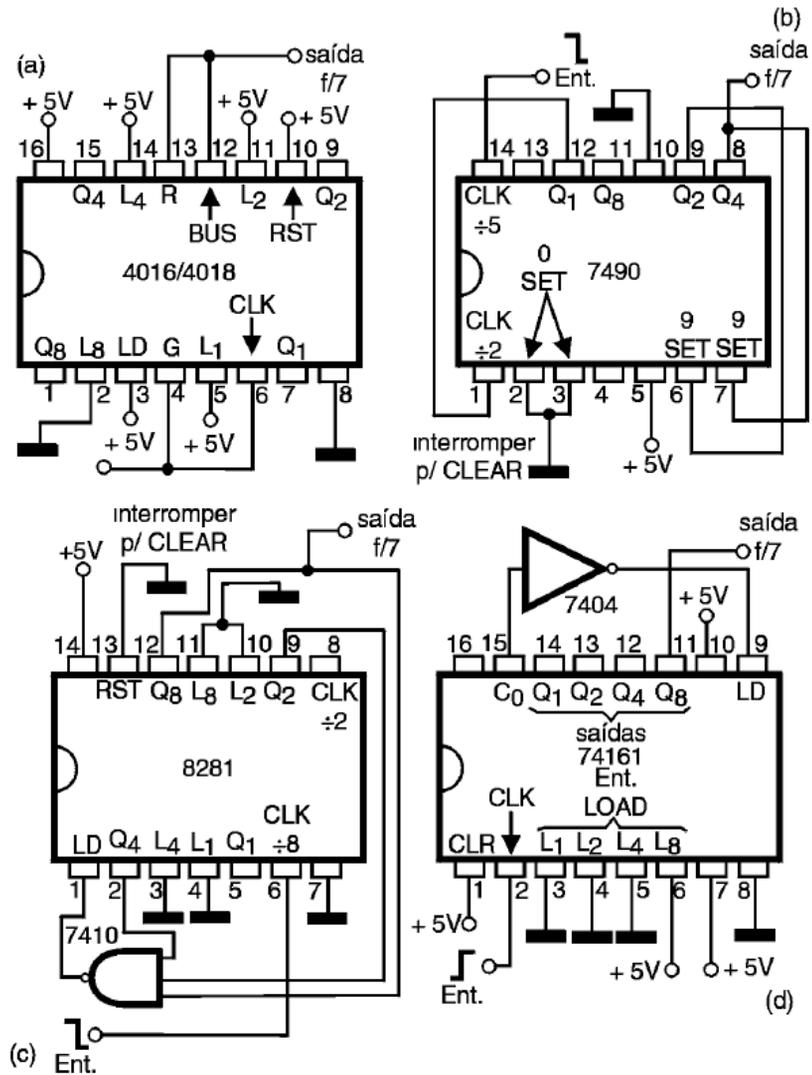


Figura 69 – Contadores e divisores CMOS e TTL por 7

Veja que neste caso, em dois deles, precisamos usar portas externas para obter a divisão pelo módulo desejado.

Um tipo de funcionamento interessante é o usado no caso do 4018, que conta regressivamente. Neste circuito ele conta a partir de 7 até 0, e quando chega no zero, salta novamente para 7, recomeçando a contagem.

Para o 74161 temos também uma modalidade de funcionamento bastante interessante: este circuito começa a contagem em 8 e vai até 15. Quando ele chega a esta contagem o circuito recomeça, mas a partir do pulso 8 de modo que no fundo temos a divisão por 7 como desejado.

Evidentemente, se vamos usar os valores obtidos na saída para uma decodificação, esse funcionamento deve ser levado em conta.

Nas aplicações práticas é muito importante observar qual é o tipo de sinal que vai fazer o disparo, principalmente nas que operam com lógica sincronizada.

Para os circuitos integrados 8281 e 7493 a contagem até 8 é normal, pois estes já consistem em divisores com este módulo. No entanto, para o 8280 é preciso fazer uma programação. Assim, ele conta de 0 até 8 e quando chega em 8 volta novamente a zero.

Também é importante estar atento à máxima de frequência de operação dos circuitos usados.

g) Divisores por 9

Os circuitos contadores/divisores com módulo 9 são mostrados na figura 71.

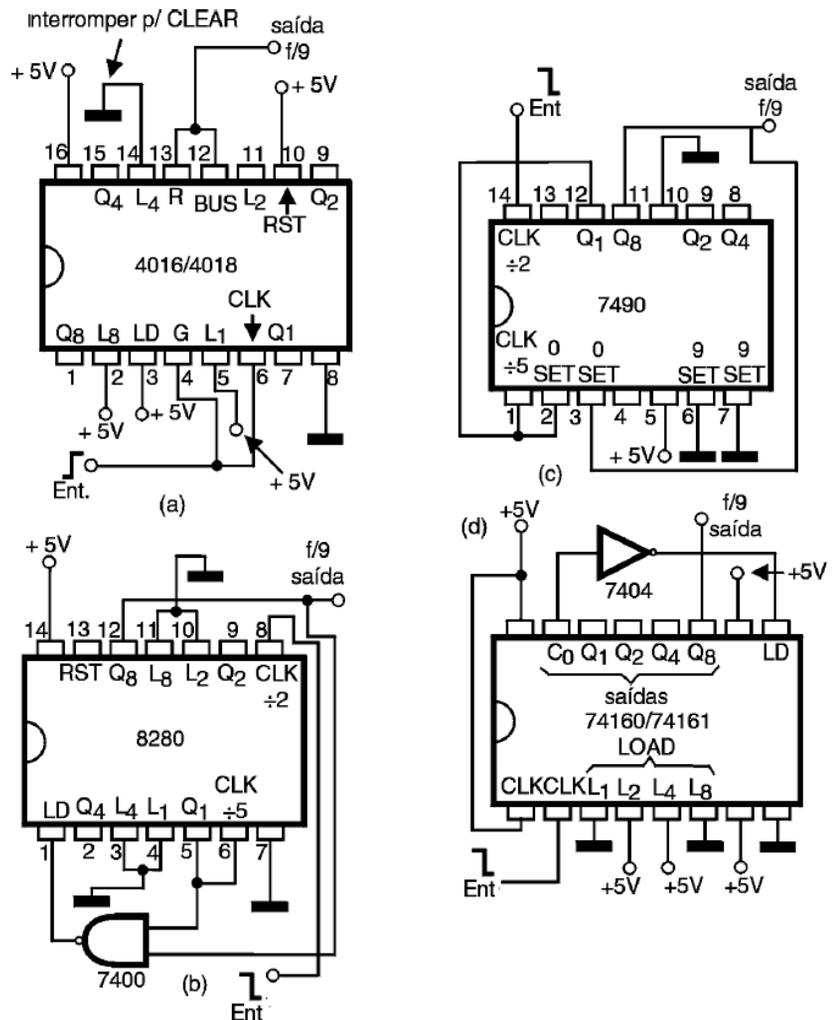


Figura 71 – Contadores/divisores por 9

A solução mais simples para se obter um divisor por 9 consiste em se ligar em cascata dois divisores por 3, como os que já vimos neste capítulo.

No entanto, também podemos contar com alguns circuitos integrados que podem ser programados de modo relativamente simples para fazer isso, como os que são mostrados na figura 69.

Observe que dois dos circuitos mostrados comutam na transição positiva do sinal e dois circuitos que comutam na transição negativa. Veja também que, em duas das configurações, precisamos usar portas externas para obter o módulo desejado de contagem ou divisão.

Em todos os circuitos o princípio de operação é mesmo que já estudamos no capítulo anterior: detecta-se o estado de contagem 9, através de portas ou da própria realimentação, para se fazer o zeraamento da contagem.

Zeramento

O zeramento pode ser feito utilizando-se as entradas clear, preset ou ainda reset dos contadores. Quais as entradas usadas depende do contador.

h) Divisores por 10

Na figura 72 temos 5 circuitos de divisores/contadores de módulo 10 usando integrados das famílias TTL e CMOS. Lembramos que os mesmos circuitos também são válidos para CIs das subfamílias TTL.

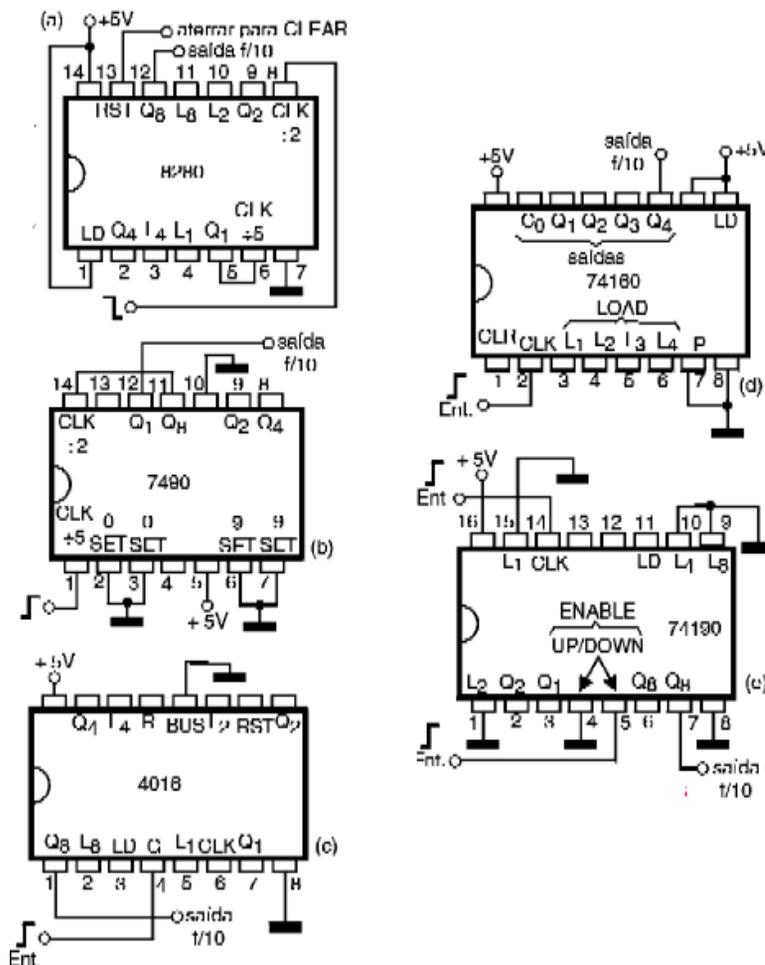


Figura 72 – Circuitos contadores/divisores módulo 10, TTL e CMOS

Em nenhum deles é preciso usar portas ou outros componentes externos, já que a contagem até 10 já é prevista internamente pela maioria deles dispensando, em alguns casos, até a programação.

Observe que devemos distinguir os simples divisores que fornecem uma saída com a frequência dividida por 10, dos contadores que possuem saídas com pesos 1, 2, 4, 8, e que podem ser usados em muitas aplicações importantes, conforme veremos nos capítulos posteriores.

A contagem até 10 pode ser feita tanto no sentido progressivo como regressivo, e isso é indicado em cada uma das configurações.

i) Divisores por 11

Divisores/contadores com módulo 11 podem ser elaborados com certa facilidade usando circuitos integrados comuns e, em alguns casos, com funções lógicas externas adicionais. Na figura 73 temos quatro exemplos de como isso pode ser feito, destacando-se o que faz uso do 4018, que é o único que não precisa de nenhum componente externo.

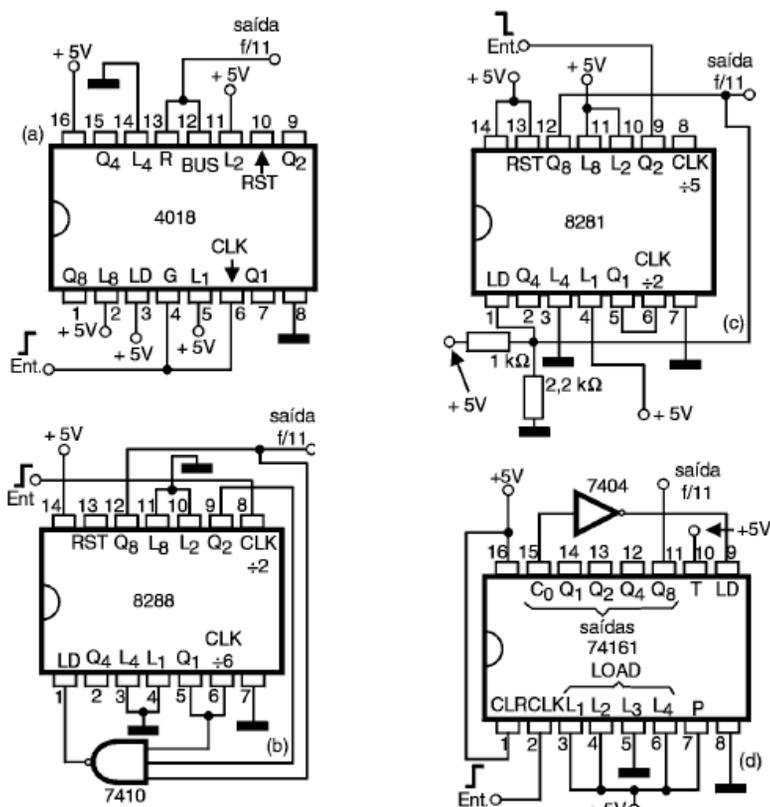


Figura 73 - Divisores/contadores até 11

Conforme vimos o 4018 é um contador regressivo, bastando programar sua entrada para que ele faça a divisão pelo módulo de-

sejado, o que simplifica bastante os projetos que fazem seu uso. No entanto, por ser um dispositivo CMOS ele é algo lento, o que deve ser previsto na elaboração dos projetos que o utilizam.

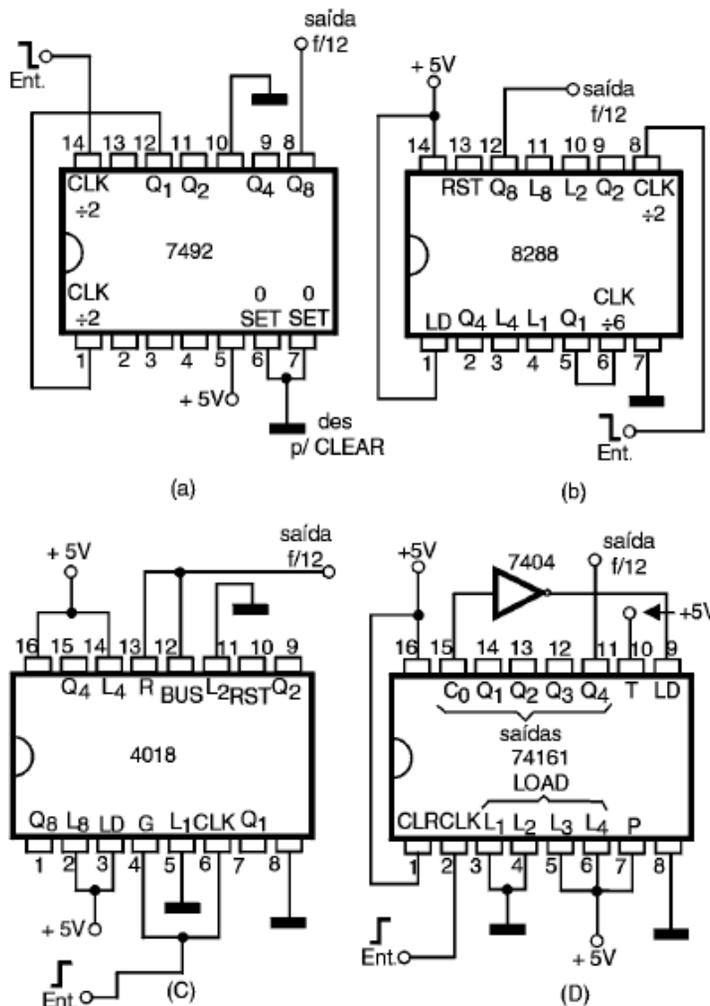
Para os demais temos, como destaque, o que faz uso do 74161 e do 8288 que necessitam de portas externas.

Em todos eles, o projetista deve estar atento para o tipo de sinal com que ocorre a mudança de estado do contador.

Lembramos que existem séries CMOS rápidas, que funcionam em velocidades semelhantes às equivalentes TTL.

j) Divisores por 12

Quatro configurações de divisores/contadores por 12, usando circuitos integrados TTL e CMOS, são mostradas na figura 74.



Subfamílias
Estas configurações, para os casos dos circuitos integrados TTL, também são válidas para as subfamílias.

Figura 74 - Contadores CMOS e TTL módulo 12

Duas delas comutam na transição negativa do sinal de clock enquanto que as outras duas comutam na transição positiva. Observe que apenas uma delas, a que faz uso do circuito integrado 74161, necessita de um inversor externo.

l) Divisor por 13

A divisão por 13, ou seja, módulo 13, pode ser feita com os dois circuitos mostrados na figura 75.

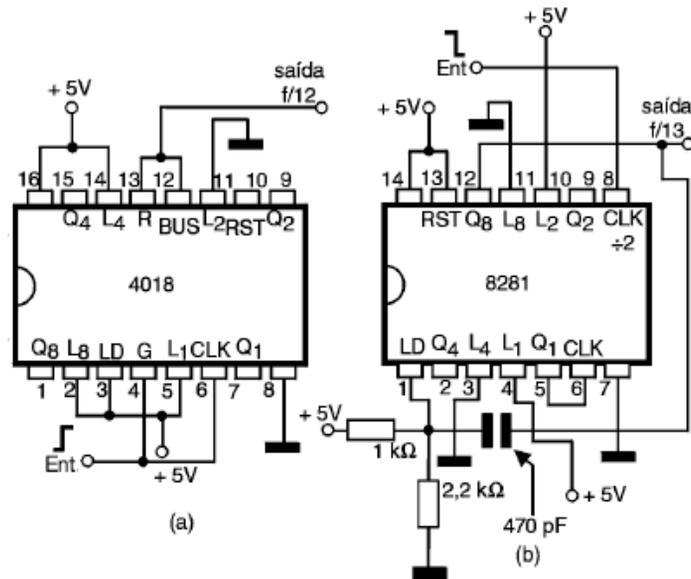


Figura 75 - Contadores/divisores módulo 13

A mais simples é que a faz uso do contador regressivo 4018 e que tem a programação digital para este valor aplicada às entradas correspondentes. A utilização do 8281 tem por desvantagem a necessidade de alguns componentes externos adicionais. Além disso, esse circuito integrado não é muito fácil de obter.

Observe o tipo de sinal que deve ser aplicado à entrada para a mudança de estado. O projetista também deve estar atento para os limites de velocidade dessas configurações.

m) Divisor por 14

A divisão por 14 pode ser feita pelos circuitos integrados 8281 e 74161 na configuração mostrada na figura 76.

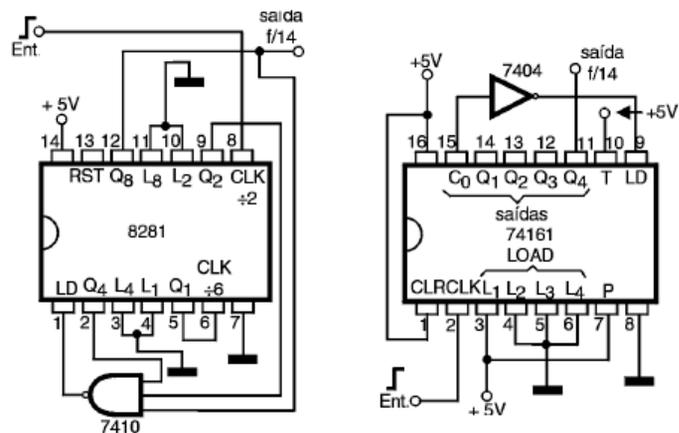


Figura 76 – Contadores/divisores por 14

Outras divisões
 Conforme indicamos, para módulos maiores devem ser associados módulos menores, de modo que o seu produto corresponda ao valor que se deseja para a divisão.

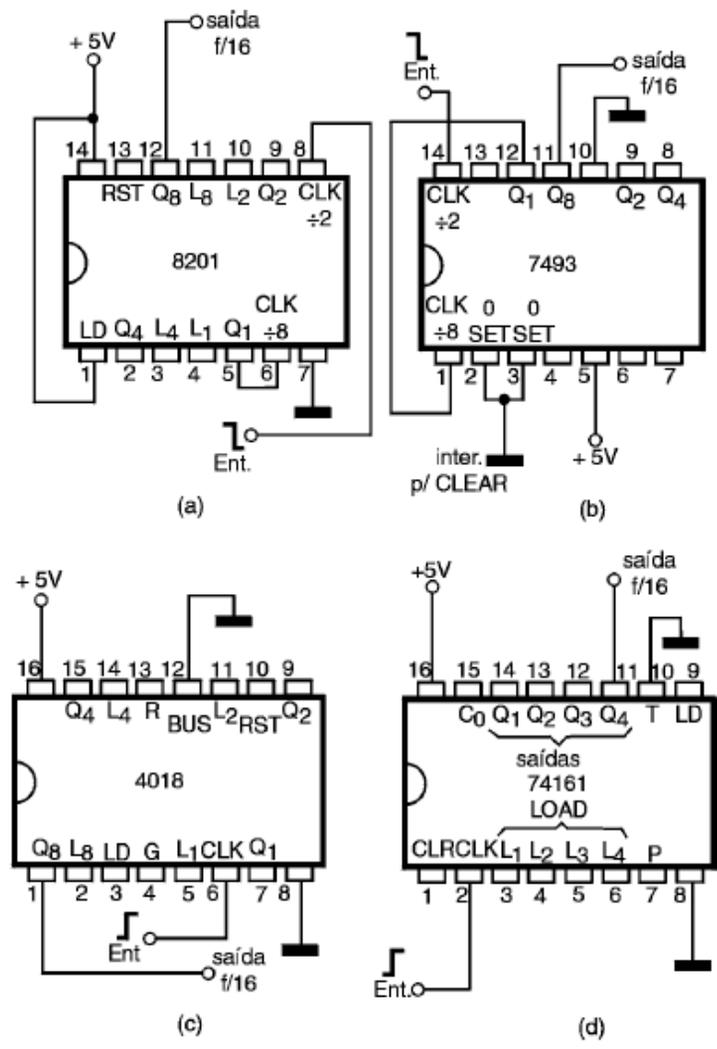


Figura 78 – Contadores/divisores TTL e CMOS módulo 16

Os quatro divisores/contadores possuem saídas com pesos 1-2-4-8 acessíveis, o que pode ser muito importante nas aplicações em que se deseja a função de contador digital ou de byte.

Dois dos circuitos operam com a transição positiva do sinal de clock, enquanto que outros dois operam com a transição negativa do sinal de clock.

10.3 – Módulos maiores e programáveis

Os circuitos que vimos no item anterior são programados, com a ajuda de ligações externas fixas, para fazer a contagem até um certo módulo.

No entanto, podem existir aplicações práticas em que o operador precise mudar a qualquer momento o módulo de contagem ou divisão.

Nesse caso é preciso usar circuitos divisores/contadores que sejam programáveis por algum meio externo como, por exemplo, uma chave seletora, um conjunto de dip switches, ou mesmo a aplicação do valor do módulo a partir de um outro circuito digital, como dependência de algum estado determinado pelo seu funcionamento.

Isso pode ser feito, por exemplo, com o interessante circuito mostrado na figura 79 com base nos circuitos integrados 7490.

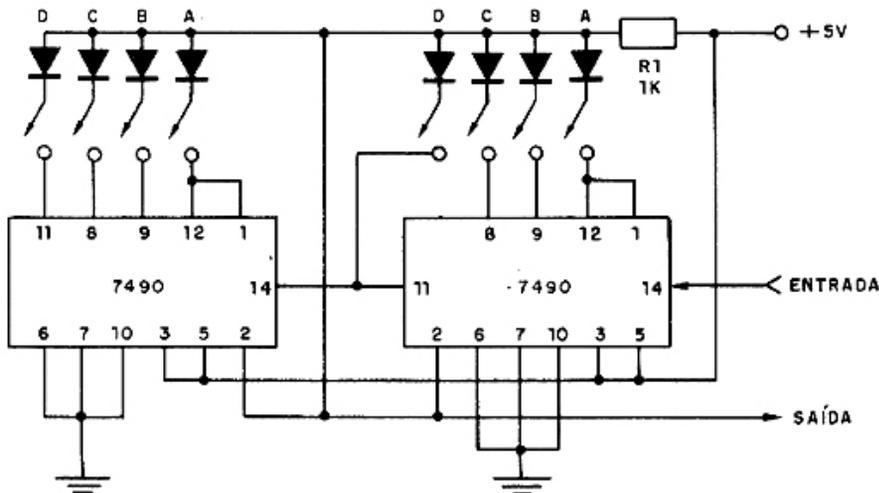


Figura 79 - Divisor até 99 TTL

Esse circuito faz uso de dois divisores de módulo 10 que, ligados em cascata, permitem a divisão/contagem programada de qualquer módulo entre 1 e 99.

O ajuste das chaves lógicas permite programar a divisão da frequência de um sinal TTL até 99 neste circuito. Assim, se quisermos fazer a divisão por 51, basta programar as chaves para 0101 e 0001. Os diodos podem ser de uso geral como os 1N4148 ou 1N914 e a alimentação deve ser feita com tensão de 5 V. Podem ser agregados mais contadores para uma divisão por valores de 3 ou mais dígitos.

Uma versão CMOS de um circuito divisor com módulo programado externamente de 1 a 9999, através de chaves BCD, é mostrada na figura 80.

A frequência dos pulsos aplicados à entrada deste circuito CMOS será dividida pelo número programado pelas chaves digitais de 1 a 9999. O circuito tem uma velocidade máxima de divisão de 6 MHz, com uma alimentação de 10 V. Podem ser agregados mais contadores em cascata, para uma divisão por valores maiores. A alimentação pode ser feita com tensões de 5 a 15 V e o consumo é muito baixo.

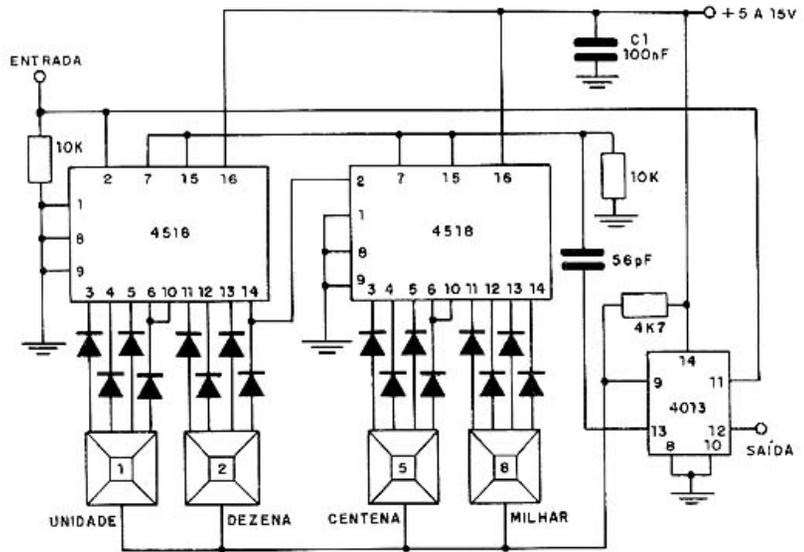


Figura 80 – Divisor programável de 8 dígitos

Observe, entretanto, que esse circuito necessita de um flip-flop adicional externo.

10.4 – Os Circuitos Integrados 4020 e 4040

Existem dois circuitos integrados CMOS contadores binários com características que os tornam componentes especiais para projetos digitais. Por este motivo, uma análise em separado destes dois componentes pode ser muito importante para os leitores que acompanham este curso.

a) 4020 - CONTADOR BINÁRIO DE 14 ESTÁGIO (Divisor por 16384)

O circuito integrado 4020 consiste num contador binário de 14 estágios ligados de tal forma que se pode fazer a divisão da frequência de entrada por módulos até 16 384.

A pinagem deste circuito integrado é mostrada na figura 81.

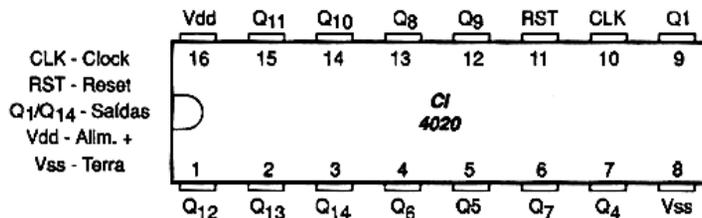


Figura 81 – Pinagem do 4020

Conforme podemos ver, não temos acesso a todas as saídas do divisor, mas tão somente de Q1 e depois a partir de Q4 que corresponde à divisão por 16.

Assim, módulos que correspondem às potências de 2 (menos das potências 2 e 3) podem ser obtidos diretamente nas saídas correspondentes até 14.

Combinando estas saídas através de portas podemos obter outros módulos.

Por exemplo, a combinação de $16\ 384 + 8\ 192 = 24\ 576$ pode ser obtida com a ligação das saídas Q13 e Q14 a uma porta

Na figura 82 mostramos como fazer uma divisão por 336 usando uma porta NAND de 4 entradas, a partir de um sinal de 1 Hz.

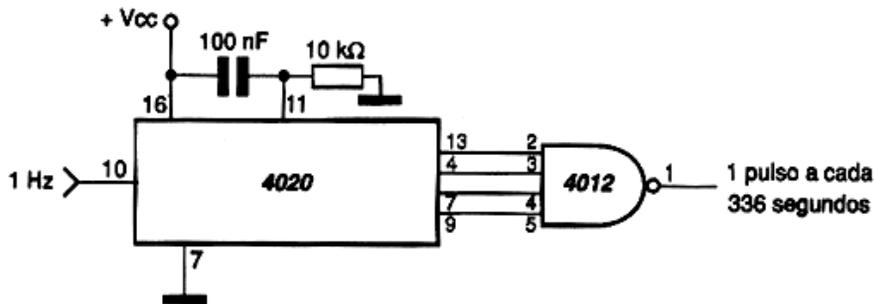


Figura 82 – Usando o 4020 e uma porta NAND

Na operação normal deste circuito, basta colocar a entrada RST no nível baixo aterrando-a e aplicar os sinais a serem divididos na entrada CLK.

Veja que, como se trata de circuito CMOS, a velocidade máxima de operação depende da tensão de alimentação. Para uma tensão de 10 V esta velocidade é de 7 MHz caindo para 2,5 MHz com alimentação de 5 V.

Uma aplicação importante para este circuito é em temporizadores de longos intervalos. Por exemplo, usando a saída Q14 e aplicando um sinal de 1 Hz na entrada podemos obter um pulso a cada 16 384 segundos o que corresponde a aproximadamente 4 horas e 50 minutos.

Um circuito que tem as mesmas características deste, e já possui um oscilador interno é o 4060.

b) 4040 – Contador binário de 12 estágios (Divisor por 4096)

Este circuito integrado é um divisor um pouco mais “curto” que o anterior, pois tem apenas 12 estágios, mas tem a vantagem de dar acesso às saídas de todos eles. Assim, usando portas apropriadas podemos combinar estas saídas e obter módulos de contagem de qualquer valor entre 2 e o dobro de 4096 ou seja, 8192.

Na figura 83 temos a pinagem deste circuito integrado que é fornecido em invólucro DIL de 16 pinos.

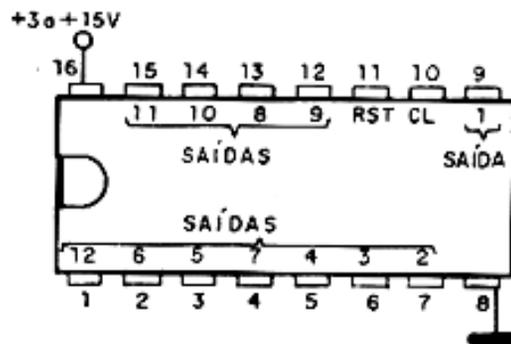


Figura 83 – O circuito integrado 4040

Na operação normal, o sinal, cuja frequência deve ser dividida, é aplicado ao pino 10 enquanto que o pino RST deve ser mantido no nível baixo.

Lembramos que os sinais de entrada de todos os divisores e contadores devem ser perfeitamente retangulares, sem irregularidades que possam causar a interpretação errada dos níveis lógicos.

Para zerar o circuito, basta levar por um instante a entrada RST ao nível alto.

A frequência máxima de operação desse circuito integrado, com 10 V de alimentação, é de 6 MHz e esta frequência cai para 2 MHz com 5 V de alimentação.

Termos em inglês:

A maioria dos termos em inglês citados neste capítulo são os mesmos das lições anteriores. Destacamos alguns:

Counter – contador
Divider – divisor
Pulse – pulso
Decoder – decodificador
Typical – típico
Operation – operação
Stages - estágios
DIL- Dual in line – duas filas alinhadas

Termos para pesquisa:

- Contadores
- Temporizadores
- Divisores de frequência
- 4020

QUESTIONÁRIO

1. Um contador binário tem 4 estágios. Seu módulo de contagem é:
 - a) 2
 - b) 4
 - c) 8
 - d) 16

2. Ligando em cascata um divisor de frequência por 4 e um divisor por 12 obtemos um circuito capaz de dividir a frequência por:
 - a) 8
 - b) 16
 - d) 48
 - e) 24

3. Num contador temos saídas de pesos 1-2-4-8. Aplicando um sinal de 160 Hz na entrada deste contador, qual será a frequência do sinal obtido na saída de peso 4?
 - a) 20 Hz
 - b) 40 Hz
 - c) 80 Hz
 - d) 160 Hz

4. Quantos níveis ou degraus de definição pode ter um conversor D/A feito com 3 flip-flops?
 - a) 1
 - b) 3
 - c) 4
 - d) 8



» Como Funcionam os Registradores de Deslocamento (Shift-Registers)

No capítulo anterior estudamos alguns divisores/contadores binários especiais capazes de fazer a divisão por qualquer módulo fixo ou programável. Vimos na ocasião que, para cada módulo, era possível ter diversas configurações usando circuitos integrados comuns. Também estudamos divisores programáveis, capazes de dividir uma frequência ou fazer a contagem em qualquer módulo, circuitos de grande utilidade em muitos projetos de eletrônica digital. Um elemento de grande importância nos projetos de equipamentos digitais é o registrador de deslocamento ou shift-register. Os shift-registers nada mais são do resultado da utilização de uma forma especial de flip-flops. Ligados de forma especial, já contidos em circuitos integrados, os flip-flops formam então sequências denominadas shift-registers que serão estudadas neste capítulo. Este capítulo terá os seguintes itens:

Itens:

- 11.1 – O que é um registrador de deslocamento
- 11.2 – Tipos de registradores de deslocamento
- 11.3 – Operando com binários
- 11.4 – Shift Registers integrados

Objetivos:

- Entender como funcionam os registradores de deslocamento
- Dar aplicações práticas para os shift-registers
- Familiarizar-se com os tipos de shift-registers encontrados na forma de circuitos integrados

11.1 - O que é um registrador de deslocamento

Um registrador de deslocamento ou “shift-register”, como também é chamado pelo termo em inglês, consiste num conjunto de flip-flops que podem ser interligados de diversas formas como, por exemplo, as mostradas na figura 84.

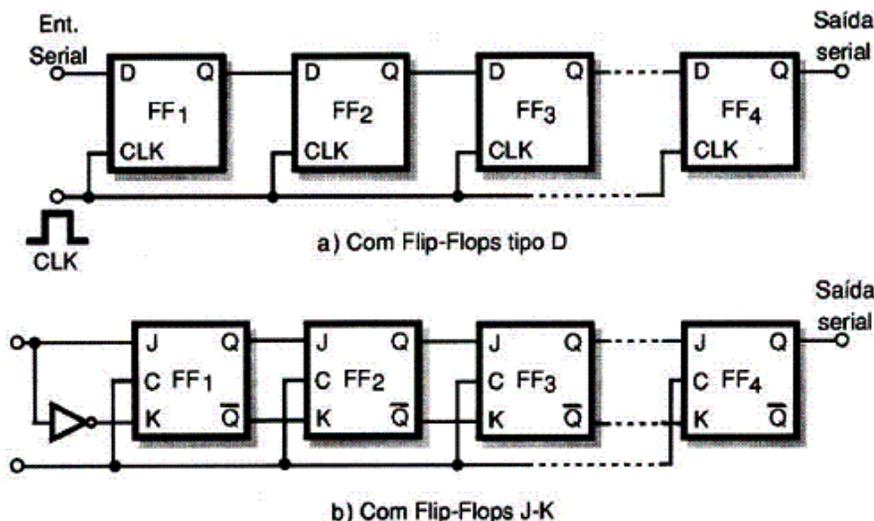


Figura 84 – Flip-flops ligados como registradores de deslocamento

Estes circuitos podem deslocar uma informação (bit) aplicado na entrada de uma posição, a cada pulso de clock. Por exemplo, o bit 1 aplicado na entrada aparece na saída do primeiro flip-flop no primeiro pulso de clock, depois desloca-se aparecendo na saída do segundo flip-flop, no segundo pulso de clock, e assim por diante, até aparecer na saída do final da seqüência, conforme mostra a figura 85.

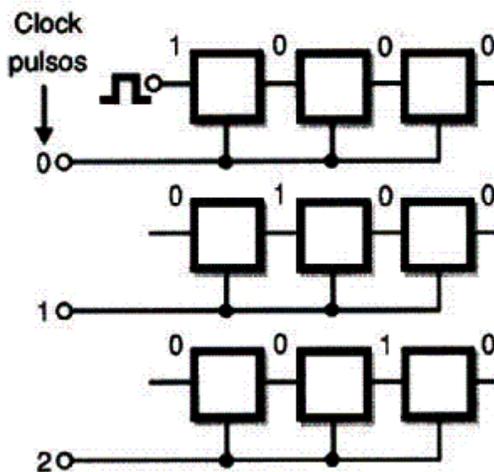


Figura 85 – O funcionamento do registrador de deslocamento (shift-register)

Transmissão e armazenamento de dados
Os shift-registers são circuitos fundamentais nos sistemas que armazenam ou transmitem dados, tais como as memórias, modems e muitos outros.

Na configuração mostrada na figura 84 (a), cada flip-flop tipo D tem sua saída conectada à entrada do flip-flop seguinte, e todos eles são controlados pelo mesmo sinal de CLOCK.

Para entender como funciona esse circuito vamos partir da situação inicial em que todos eles estejam desativados ou com suas saídas Q no nível baixo.

Inicialmente, vamos aplicar à entrada de dados um nível alto (1). Conforme podemos ver, esta entrada é feita pela entrada J do primeiro flip-flop (FF1).

Com a chegada do pulso de clock a este flip-flop, ele muda de estado e com isso “armazena” o pulso aplicado à entrada, o qual aparece em sua saída, depois de um curto intervalo de tempo. Veja que este sinal é armazenado com o flanco positivo do sinal de clock, quando então o nível alto deve estar presente na entrada do flip-flop.

O intervalo de tempo que decorre entre a aplicação do sinal na entrada de dados e seu aparecimento na saída do flip-flop é da ordem de alguns nanossegundos nos integrados das famílias lógicas comuns, mas é importante que em muitas aplicações mais rápidas ele seja levado em conta.

Para aplicações muito rápidas, dá-se preferência ao uso dos circuitos integrados de algumas subfamílias TTL.

No próximo pulso de clock, ocorre algo interessante: a entrada do primeiro flip-flop já não tem mais o nível alto e, portanto, FF1 não muda de estado. No entanto, na saída de FF1 temos nível alto, e esta saída está ligada à entrada do segundo flip-flop (FF2).

Isso significa que, com a chegada do segundo pulso de clock, o nível lógico da saída do primeiro se transfere para a saída do segundo, depois, é claro, de um pequeno intervalo de tempo, conforme mostra a tabela abaixo.

Existem famílias rápidas CMOS que podem ser usadas nesta aplicação.

clock	entrada	FF1	FF2	FF3	FF4	Saída
0	1	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0
2	A 0	1	1	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0
4	1	0	0	1	1	0
5	0	1	0	0	1	1
6	0	0	1	0	0	1
7	0	0	0	1	0	B 0
8	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	1

Temos então que, o bit 1 aplicado na entrada, se “desloca “ mais um pouco no circuito, passando para a saída do segundo flip-flop.

É claro que, se nessa segunda passagem, tivermos aplicado um novo nível 1 na entrada do circuito, ele ao mesmo tempo que o primeiro se transfere para o segundo flip-flop, o segundo se transfere para a saída do primeiro flip-flop, como mostra a figura 86.

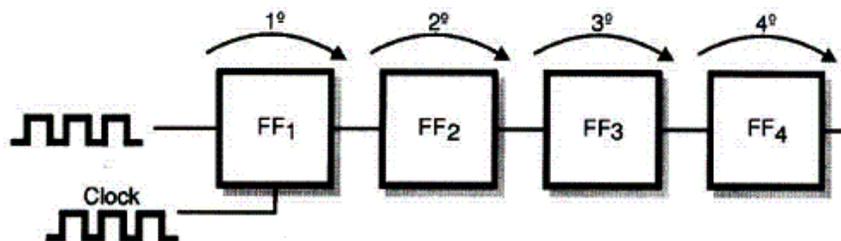


Figura 86 – Os pulsos na sequência de transferência do registrador de deslocamento

Chegando agora um terceiro pulso de clock, teremos nova transferência e o nível alto ou bit 1 se transfere para a saída do flip-flop seguinte, ou seja, FF3.

Em outras palavras, a cada pulso de clock, os níveis existentes nas saídas dos flip-flops, sejam eles 0 ou 1, se transferem para o flip-flop seguinte.

Assim, supondo que apliquemos, em sequência, na entrada de um shift-register como o indicado os níveis 0101, teremos a seguinte sequência de condições de saída para os flip-flops de um shift-register que use 4 deles:

Clock	Entrada	FF1	FF2	FF3	FF4
início	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0
3	0	1	0	1	0
4	0	0	1	0	1

Veja então que no quinto pulso de clock, o primeiro pulso de clock, o primeiro nível lógico, aparece na saída do último flip-flop (FF4) e que, se lermos a saída dos flip-flops, teremos registrado os níveis aplicados na entrada: 0101.

O leitor já deve ter percebido que aplicando um dado binário num shift-register, depois do número apropriado de pulsos de clock, que corresponde ao número de bits que ele contém, ele pode armazenar este dado.

Para retirar o dado em sequência, basta continuar aplicando pulsos de clock ao circuito, conforme a seguinte tabela:

clock	FF1	FF2	FF3	FF4	saída
início(4)	0	1	0	1	1
5	0	0	1	0	0
6	0	0	0	1	1
7	0	0	0	0	0

A figura 87 mostra o que ocorre em pormenores:

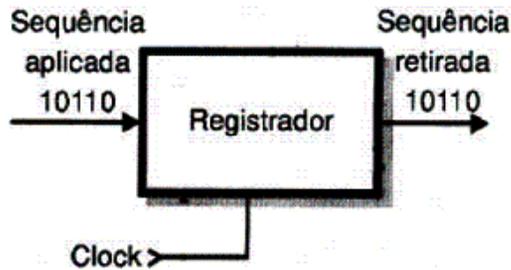


Figura 87 – Entrada e saída de dados do registrador

Perceba que, para armazenar um dado de 4 bits num registrador, devemos aplicar 4 pulsos de clock e para ler em sequência, mais 4 pulsos de clock.

Para “apagar” os dados registrados num shift-register, todos de uma vez, como o indicado, basta aplicar um pulso na entrada CLEAR. Todos os flip-flops terão suas saídas levadas ao nível baixo ou 0.

11.2 – Tipos de registradores de deslocamento

Dependendo da maneira como a informação entra e como ela pode ser obtida num registrador de deslocamento, podemos ter diversas configurações que nos levam a diversos tipos de circuitos.

Assim, existem circuitos em que temos uma entrada serial ou duas, e também podemos ter uma ou duas linhas de saída.

A seguir, veremos os principais tipos como suas denominações.

a) SISO - Serial-in/serial out

No exemplo que tomamos, os dados foram aplicados à entrada do registrador na forma de níveis lógicos um atrás do outro, acompanhando o sinal de clock. Dizemos que este registrador opera com a carga de dados “serial” ou em série. Em outras palavras este circuito tem entrada serial ou serial-in.

Exatamente como ocorre com a porta serial de um computador, os dados são “enfileirados”, entrando um após outro, sendo então armazenados em flip-flops, conforme mostra o circuito da figura 88.

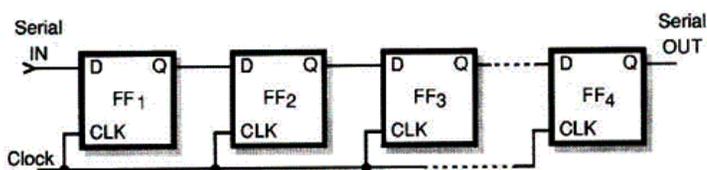


Figura 88 - Os dados são enfileirados na entrada e saem enfileirados

b) PISO - Parallel-in/Serial out

No entanto, existe uma segunda possibilidade de operação para os shift-registers, que é a de operar com a entrada de dados em para-

Memórias

As memórias são elementos de grande importância em muitos circuitos digitais e nos tipos denominados dinâmicos, elas nada mais são do que circuitos do tipo de acabamos de estudar.

lelo e sair com estes mesmos dados em série. Dizemos que se trata de um shift-register com entrada paralela e saída serial.

Na figura 89 temos um diagrama que usa 4 flip-flops tipo D e que tem entrada de dados paralela e saída serial.

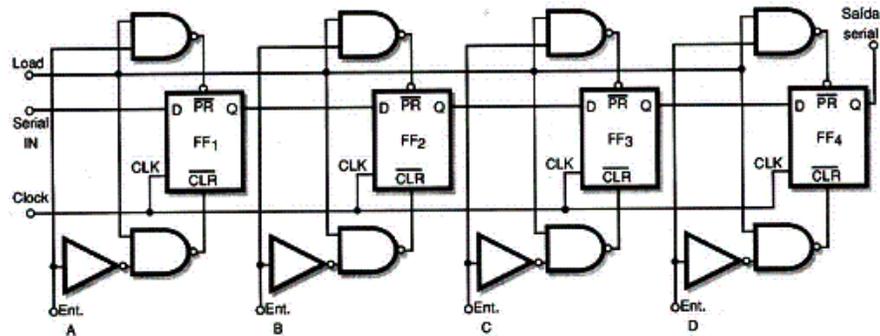


Figura 89 – Entrada paralela e saída serial – PISO

Analisemos como ele funciona:

Os dados são colocados ao mesmo tempo na entrada, pois ela opera em paralelo. Por exemplo, se vamos armazenar o dado 0110 estes dados são aplicados ao mesmo tempo nas entradas correspondentes (S) dos flip-flops.

No primeiro pulso de clock, os flip-flops “armazenam” estes dados. Assim, os flip-flops que possuem nível 1 em sua entrada S passam esse nível a saída (FF2, FF3). Por outro lado, os que possuem nível 0 na sua entrada, mantém este nível na saída (FF1 e FF4).

Isso significa que após o pulso de clock, as saídas dos flip-flops apresentarão os níveis 0110.

c) SIPO - serial-In/Parallel-out

Da mesma forma, como mostra a figura 90, podemos carregar os dados em série e fazer sua leitura em paralelo.

Modems
Os modems funcionam utilizando estes tipos de circuitos para enfileirar os dados que transmitem.

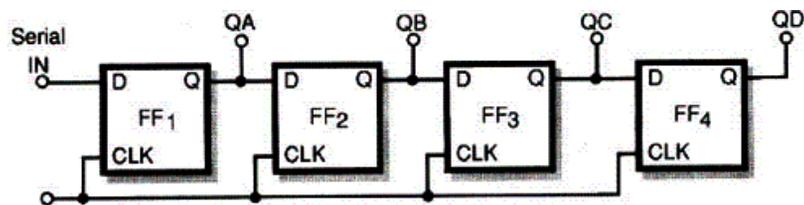


Figura 90 - Entrada serial e saída paralela (SIPO)

Os registradores que operam desta forma podem ser também denominados conversores série-paralelo ou paralelo-série, conforme o modo de funcionamento.

Esse tipo de registrador é muito importante na transmissão de dados através de meios físicos (transmissão serial), já que ele pode fazer sua conversão para a forma digital normal de dados que chegam serialmente, transmitidos por um modem.

d) PIPO - Parallel-in/Parallel-out

Estes são circuitos em que os dados são carregados ao mesmo tempo (paralelos), e depois lidos ao mesmo tempo pelas saídas dos flip-flops, conforme mostra a figura 91.

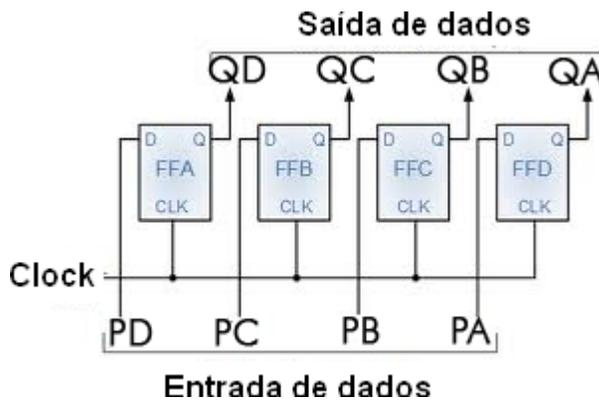


Figura 91 – Entrada paralela e saída paralela (PIPO)

Os registradores de deslocamento são ainda classificados conforme a direção em que os dados podem ser deslocados.

Dizemos que se trata do tipo Shift-Right quando os dados são deslocados para a direita e que se trata de um tipo Shift-Left quando os dados são deslocados somente para a esquerda. (right= direita, left = esquerda)

Existem ainda os tipos bidirecionais, como o mostrado na figura 92, em que os dados podem ser deslocados nas duas direções. Este é um registrador do tipo SISO.

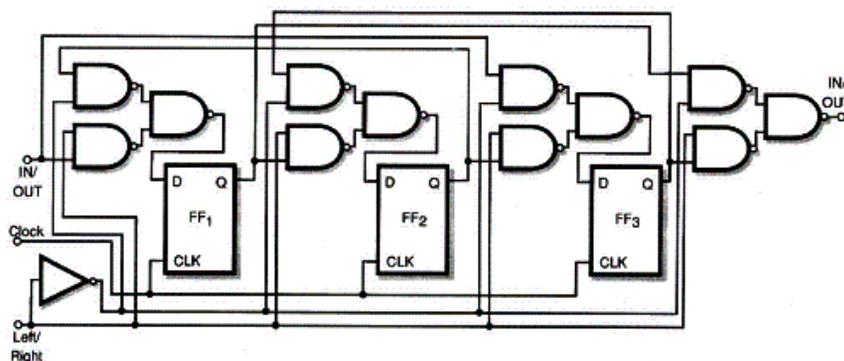


Figura 92 – Um shift-register bidirecional

Veja que o sentido de deslocamento é determinado por uma entrada que atua sobre portas que modificam o ponto de aplicação dos sinais em cada flip-flop, exatamente como estudamos nos contadores up e down das lições anteriores.

Com a aplicação de um nível lógico conveniente na entrada LEFT/RIGHT, podemos determinar o sentido de deslocamento dos dados no circuito.

11.3 – Operando com binários

Conforme o leitor já percebeu, os registradores de deslocamento podem memorizar números binários, recebendo-os em série ou paralelo e entregando-os depois em série ou paralelo.

Nos computadores, calculadoras, modems, sistemas de transmissão de dados e muitos outros equipamentos digitais esta configuração é bastante usada, tanto na conversão de dados de portas, como nas próprias memórias, e outros circuitos internos.

É interessante observar que na configuração que tomamos como exemplo, em que são usados 4 flip-flops, os bits armazenados seguem uma determinada ordem.

Assim, quando representamos o número 5 (0101), cada um dos bits tem um valor relativo, que depende da sua posição no número, ou quantidade representada, conforme já estudamos em lições anteriores.

Binários
Em caso de dúvidas com binários, volte às duas primeiras lições deste curso.

bit	0		1		0		1	
valor	8		4		2		1	
no dado	8x0		4x1		2x0		1x1	
total	0	+	4	+	0	+	1	=5
	MSB				LSB			

MSB significa bit mais significativo, (Most Significant Bit), ou seja, de maior peso, enquanto que LSB significa bit menos significativo ou de menor peso (Least Significant Bit, do inglês).

(Estamos trabalhando com dados de 4 bits, e não 8 como é comum nos computadores, obtendo-se assim o “byte”, para maior facilidade de entendimento - o grupo de 4 bits também é chamado “nibble”)

Ligando então 4 flip-flops de modo a se obter um shift-register, como mostra a figura 93, entrando com os dados de tal forma que o bit menos significativo seja o primeiro (LSB) ele vai aparecer, depois de 4 pulsos de clock na saída do último flip-flop.

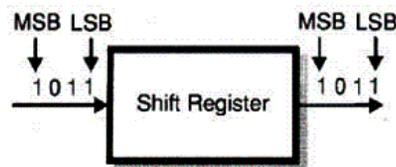


Figura 93 – A ordem de entrada e saída dos bits

Da mesma forma, se o shift-register for carregado em paralelo, o bit menos significativo (LSB) deve entrar no último flip-flop, de modo que na leitura ele seja o primeiro a sair.

Nos projetos que usam shift-register, a ordem de entrada e saída

dos bits é muito importante para se obter o funcionamento correto do aparelho.

11.4 – Shift-registers ou registradores de deslocamento integrados

Podemos encontrar registradores de deslocamento tanto nas famílias TTL como CMOS. Os mesmos tipos encontrados na família TTL normal também podem ser encontrados nas diversas subfamílias.

Evidentemente, a velocidade máxima de operação de cada tipo depende da família a que ele pertence.

Vamos dar alguns exemplos de circuitos integrados comuns que podem ser usados em projetos, analisando suas principais características.

Outros circuitos integrados

Além dos circuitos integrados que veremos a seguir, existem outros que podem reunir funções mais complexas. Os manuais TTL e CMOS devem ser consultados para se obter informações sobre mais tipos de shift-registers.

7495 - SHIFT REGISTER DE 4 BITS

(Da esquerda para a direita - entrada e saída em paralelo)

Este circuito integrado TTL pode operar de duas formas: Shift ou Load. Na figura 94 temos sua pinagem.

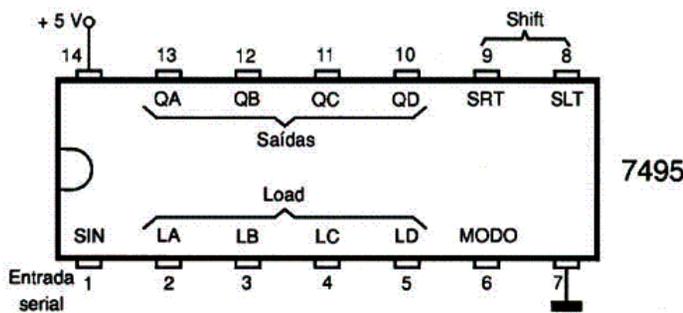


Figura 94 – 7495 – PIPO de 4 bits

Para operar no modo shift, basta colocar a entrada MODE no nível baixo. Uma transição do nível alto para o nível baixo na entrada de clock SRT movimenta os dados de uma etapa para a direita.

Uma transição do nível alto para o baixo na entrada SLT movimenta o dado no sentido inverso. É interessante observar que este circuito usa dois clocks, um para movimentar os dados para a direita e outro para a esquerda.

No modo Load, esta entrada deve ir ao nível alto, e a informação carregada nas entradas LA, LB, LC e LD entram no circuito na transição do nível alto para o baixo da entrada de comando na entrada shift-left (SLT).

A frequência máxima de operação de um 7495 standard é de 36 MHz. Velocidades maiores de operação podem ser conseguidas com os tipos LS.

74164 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS**(Entrada serial, saída paralela)**

Na figura 95 temos a pinagem deste shift-register TTL.

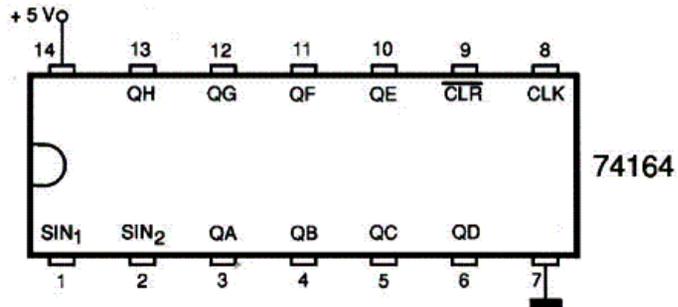


Figura 95 – SIPO de 8 bits

Este circuito integrado pode ser usado na configuração de serial in/serial out ou ainda serial in/parallel-out, ou seja, entrada e saída de dados em série, ou entrada de dados em série e saída em paralelo.

Na operação normal, uma das saídas seriais é mantida no nível alto e os dados são aplicados à segunda entrada serial. A entrada Clear é mantida no nível alto e, a cada pulso do nível baixo para o alto do clock os dados movem-se de um estágio no circuito. O conteúdo do shift-register pode ser zerado a qualquer momento, levando-se a entrada clear por um instante ao nível baixo. A frequência máxima de operação deste circuito na série Standard é de 36 MHz.

Os componentes equivalentes de algumas subfamílias podem chegar a frequências bem maiores de operação.

74165 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS**(Entrada Paralela, saída serial)**

Este circuito integrado TTL contém um shift-register de 8 bits com entrada paralela e saída de dados serial. A pinagem é mostrada na figura 96.

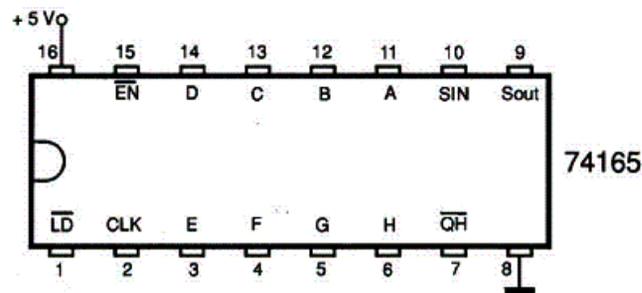


Figura 96 – PISO de 8 bits

Para operação normal, EN deve ficar no nível baixo e LOAD no nível alto. Nessas condições os dados são deslocados de um estágio na transição positiva do sinal de clock.

Quando a entrada LOAD é levada ao nível baixo, o conteúdo das entradas de A até H é carregado no registrador.

Fazendo EM = 0 e LOAD = 1 os dados são deslocados de uma etapa no circuito a cada transição positiva do sinal de clock. A última etapa do circuito dispõe de um acesso para a saída complementar.

Para os circuitos integrados da série normal a frequência máxima de clock é 26 MHz e o consumo por unidade 42 mA.

Damos a seguir alguns registradores de deslocamento da família CMOS.

4014 - SHIFT REGISTER ESTÁTICO DE 8 BITS

(Entrada paralela e saída em série)

Este circuito integrado CMOS tem a pinagem mostrada na figura 97.

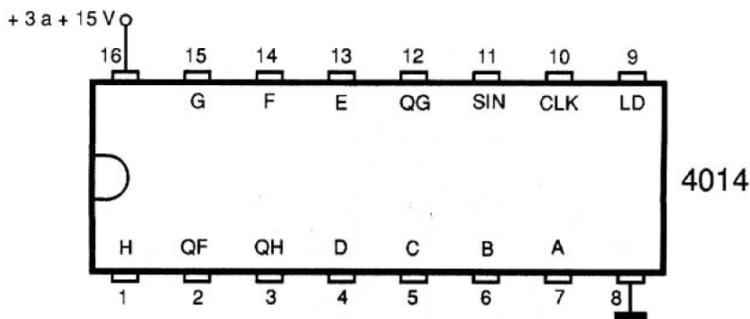


Figura 97 – PISO de 8 bits

Um controle série/paralelo controla a entrada e habilita as etapas individuais de cada um dos 8 estágios. As saídas Q são disponíveis nos estágios 6, 7 e 8. Todas as saídas podem fornecer ou drenar a mesma intensidade de corrente.

Quando a entrada de controle paralelo/série está no nível baixo, os dados são deslocados pelo circuito a cada transição positiva do sinal de clock. Quando a entrada de controle está no nível alto, os dados são aplicados a cada etapa do shift-register com as transição positiva do clock.

A frequência máxima de operação deste tipo de circuito depende da tensão de alimentação. Para uma alimentação de 10 volts esta frequência é da ordem de 5 MHz caindo para 2,5 MHz com uma alimentação de 5 volts.

Na próxima tabela temos as características elétricas desse CI:

Característica	Condições (Vdd)	Valor
Corrente drenada/fornecida de saída (tip)	5 V	0,88 mA
	10 V	2,25 mA
	15 V	8,0 mA
Frequência máxima de clock	5 V	4 MHz
	10 V	12 MHz
	15 V	16 MHz
Corrente quiescente (max)	5 V	0,1 mA
	10 V	0,2 mA
	15 V	0,3 mA
Faixa de tensões de alimentação	3 V a 15 V	

**4015 - DOIS SHIFT REGISTERSS DE 4 BITS
(Entrada serial, Saída paralela)**

A pinagem deste circuito fornecido em invólucro DIL de 16 pinos , mostrada na figura 98.

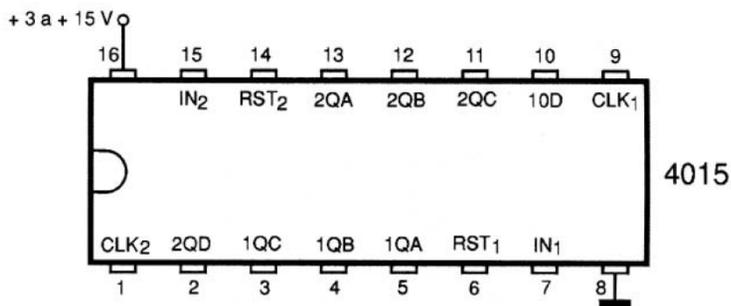


Figura 98 – PISO duplo de 4 bits

Neste circuito integrado encontramos dois shift-registers que podem ser usados de modo independente.

Na operação normal, RST deve ser colocado no nível baixo. Levando esta entrada ao nível alto o circuito resseta o shift-register correspondente levando todas suas saídas ao nível lógico 0. Os dados são deslocados a cada transição positiva do pulso de clock. Na tabela damos as principais características elétricas desse CI:

Característica	Condições (Vdd)	Valor
Corrente drenada/fornecida de saída (tip)	5 V	0,88 mA
	10 V	2,25 mA
	15 V	8,8 mA
Frequência máxima de clock	5 V	3,5 MHz
	10 V	8 MHz
	15 V	11 MHz
Corrente quiescente (max)	5 V	5 mA
	10 V	10 mA
	15 V	15 mA
Faixa de tensões de alimentação	3 V a 15 V	

4021 - SHIFT REGISTER DE 8 BITS (Parallel in, Serial out)

Este circuito integrado, cuja pinagem é mostrada na figura 99, é semelhante ao 4014.

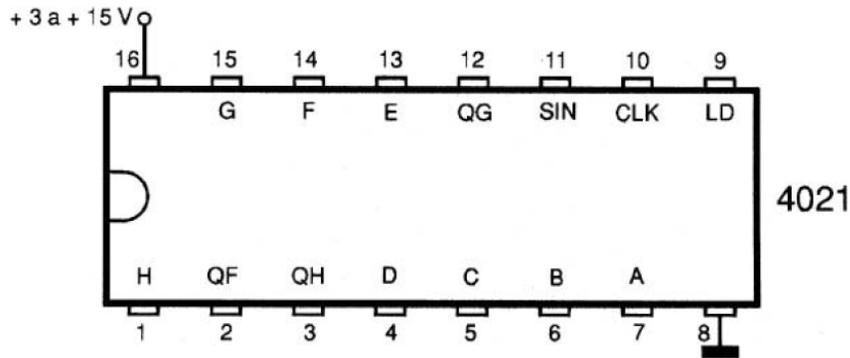


Figura 99 – PISO de 8 bits

A diferença está no fato de que a carga (LOAD) pode ser feita de forma assíncrona. Isso significa que esta entrada independe do sinal de clock.

Na tabela temos as principais características elétricas do 4021.

Característica	Condições (Vdd)	Valor
Corrente drenada/fornecida de saída (tip)	5 V	0,88 mA
	10 V	2,25 mA
	15 V	8,8 mA
Frequência máxima de clock	5 V	3,5 MHz
	10 V	10 MHz
	15 V	16 MHz
Corrente quiescente (max)	5 V	0,1 mA
	10 V	0,2 mA
	15 V	0,3 mA
Faixa de tensões de alimentação	3 V a 15 V	

11.5 – Usando shift-registers

Existem muitas aplicações práticas para os shift-registers. A seguir, analisaremos algumas delas:

a) Conversão Série/Paralelo e Paralelo/Série

Uma das aplicações mais comuns dos registradores de deslocamento é a conversão de informações da forma paralela para serial e da forma serial para paralela.

Na figura 100 damos um exemplo de como podemos converter uma sequência de bits transmitidos em série por uma linha em

um conjunto de saídas paralelas que correspondam exatamente a estes bits.

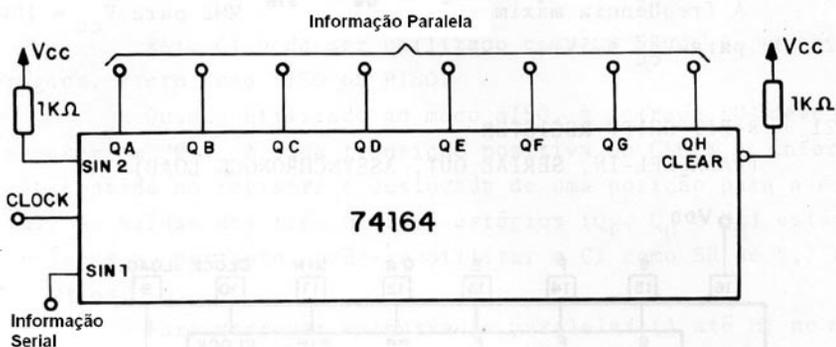


Figura 100 – Convertendo uma informação serial (dados) em paralelo

Este tipo de aplicação pode ser encontrada nos modems, e outros sistemas de transmissão de dados seriais, que recebem um fluxo de bits em uma única linha e que devem ser transferidos para uma saída paralela em 8 linhas, que é o modo de operação dos computadores.

Este circuito emprega um shift-register do tipo SIPO (Entrada Serial e Saída Paralela).

Vamos usar o gráfico de tempos da figura 101 para ilustrar como ele funciona e de que modo a sequência de dados aparece serialmente na sua saída.

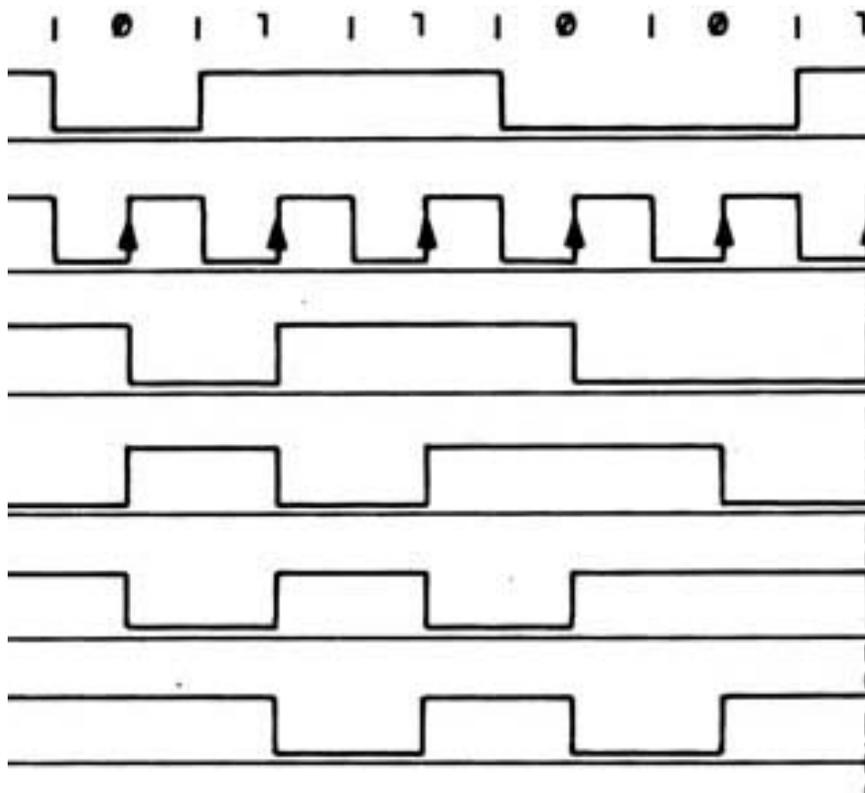


Figura 101 – Sequência de transferência dos sinais no circuito dado como exemplo.

Na primeira linha do gráfico de tempos temos a sequência de níveis lógicos que é aplicada à entrada do circuito e que corresponde justamente à informação serial que devemos tornar paralela.

Veja que dois bits 1 seguidos não possuem uma “separação”, mas sim são distinguidos pelo tempo que corresponde a dois ciclos de clock.

Na segunda linha temos o sinal de clock que vai sincronizar a transferência desses sinais ao longo do registrador de deslocamento.

Nas linhas seguintes temos então a carga dos sinais que vão se deslocando pelo shift-register até que ao final do oitavo ciclo do clock o sinal estar presente em todas as saídas do circuito na forma paralela. A transformação de dados da forma paralela para forma serial também é muito importante em aplicações digitais que envolvem informações na forma digital. Os dados das linhas paralelas do computador devem ser serializados para serem transmitidos por uma linha telefônica, por exemplo.

Podemos usar um shift-register como o 74165 para fazer isso. A figura 102 mostra o modo de ligação deste componente.

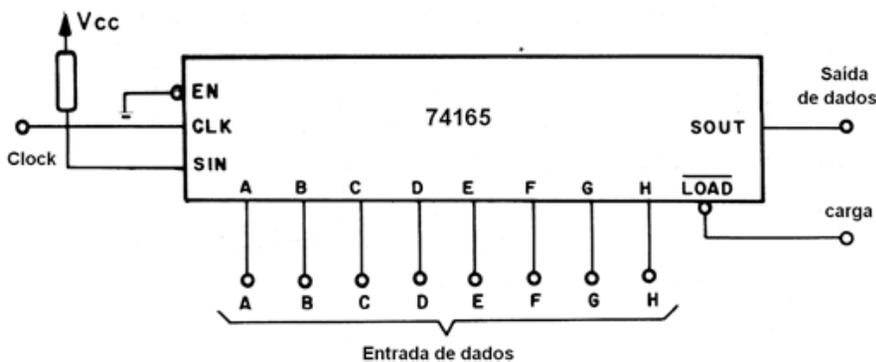


Figura 102 – Usando um 74164 na conversão de dados da forma paralela para serial.

Os sinais são aplicados nas entradas de dados e, com um comando LOAD, eles são carregados no shift register. Depois disso, a cada pulso de clock os sinais são transferidos, bit por bit, para a saída.

A forma de sinais para uma sequência de dados 0101100 é mostrada na figura 103.

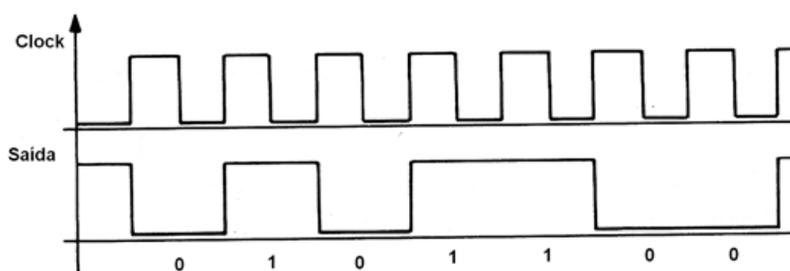


Figura 103 – Conversão da sequência 0101100

Modems

Os dois tipos de shift-registers são encontrados nos modems. Os que convertem os dados da forma paralela para a forma serial são usados na transmissão e os que convertem os dados da forma serial para paralela são usados na recepção.

b) Contadores em anel

Outra aplicação importante para os registradores de deslocamento é o contador de anel ou “ring counter”. Este tipo de circuito é obtido quando a saída do shift-register for reaplicada à sua entrada, conforme mostra a figura 104.

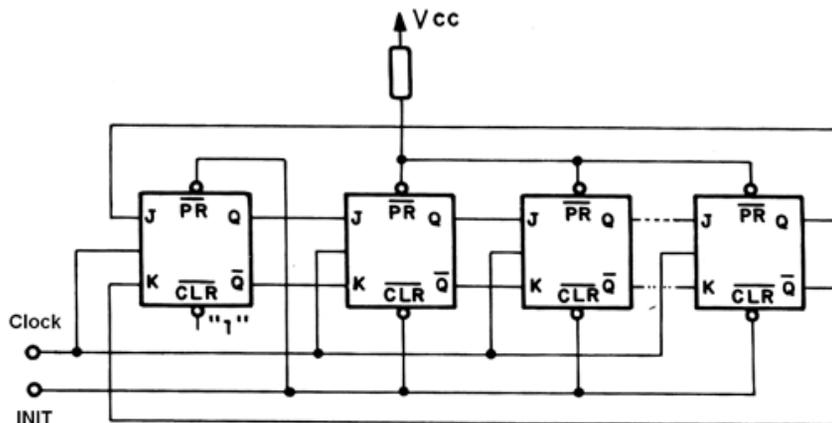


Figura 104- Um contador em anel

Neste circuito, carregando o primeiro estágio com o bit 1 e mantendo os demais com 0. Para isso é usada a linha INIT.

A cada pulso de clock que for aplicado ao circuito o bit 1 será deslocado de um estágio e quando atingir o último, será “realimentado” passando para o primeiro. Neste circuito, em cada instante, dependendo da quantidade de pulsos aplicado, o bit 1 estará presente em uma das saídas do circuito.

A tabela verdade para este tipo de circuito, com n flip-flops, é mostrada abaixo.

Pulso de Clock	Q1	Q2	Q3	...	Qn-1	Qn
0	1	0	0		0	0
1	0	1	0		0	0
2	0	0	1		0	0
...						
n-1	0	0	0		0	1
n	1	0	0		0	0

Veja que uma condição importante para o funcionamento deste circuito é que ele comece a funcionar com o valor correto colocado no primeiro estágio ou no estágio que se deseja.

Pode-se garantir que o circuito comece a funcionar sempre com a “programação” correta com a utilização de um circuito apropriado. Quando o contador tem este recurso dizemos que se trata de um circuito “self start”.

Outro problema que pode ocorrer com um contador em anel é que ele adquira uma sequência de estados nas saídas dos estágios do qual ele não consiga mais sair, como mostrado na figura 105.

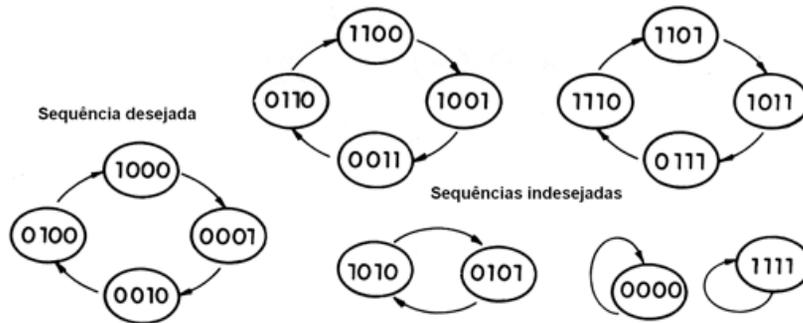


Figura 105 – Apenas um sequência é desejada

Isso exige que o circuito tenha recursos para corrigir este problema, o que pode ser conseguido com o que se denomina de “auto correção” ou “self correcting”.

O circuito mostrado na figura 106 possui os recursos indicados para uma sequência de 10 estágios. Em outras palavras trata-se de um contador em anel de 10 estágios com o recurso de self-correcting e self-start.

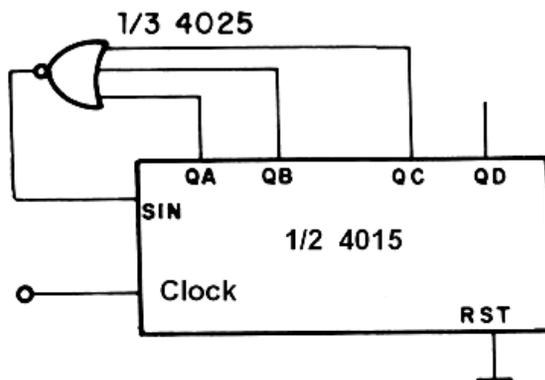


Figura 106 – Contador com self-correcting e self-start usando o 4015

Neste circuito, QD é o bit mais significativo ou MSB.

Utilizando outros circuitos integrados, inclusive com tecnologia TTL, podemos implementar contadores de mais estágios

c) O contador Johnson

Neste tipo de contador a saída complementar do último estágio é que realimenta a entrada do circuito. Na figura 107 temos um exemplo de contador Johnson de 4 estágios usando flip-flops do tipo J-K.

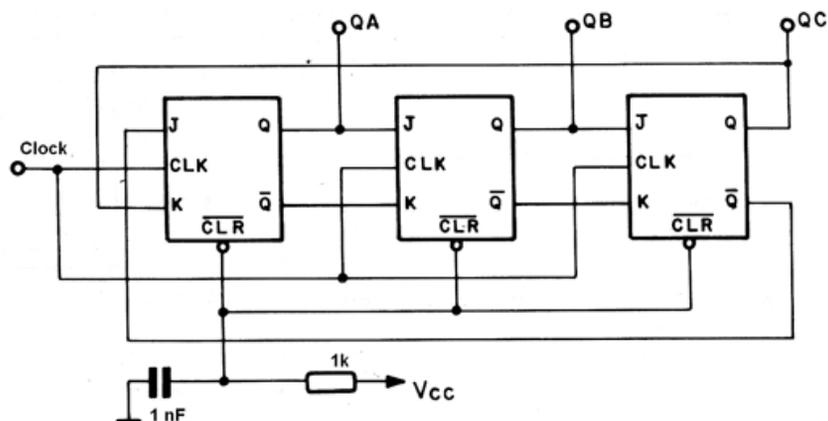


Figura 107 – Contador Johnson com flip-flops J-K

Quando a alimentação do circuito é estabelecida todos os flip-flops são ressetados. Isso é conseguido pela rede formada pelo resistor de 1 k ohms e pelo capacitor de 1 nF.

O que ocorre é que no instante em que a tensão é estabelecida no circuito o capacitor se encontra descarregado. Neste momento, com a forte corrente de carga fluindo pelo capacitor a tensão nas suas armaduras é praticamente zero sendo este nível estabelecido nas entradas CLR dos flip-flops o que os resseta.

Uma fração de segundo depois, com a carga do capacitor sendo atingida, a corrente no circuito deixa de fluir e o nível lógico nas entradas CLR passa a alto, liberando seu funcionamento. Na figura 108 temos as formas de onda nas saídas deste circuito.

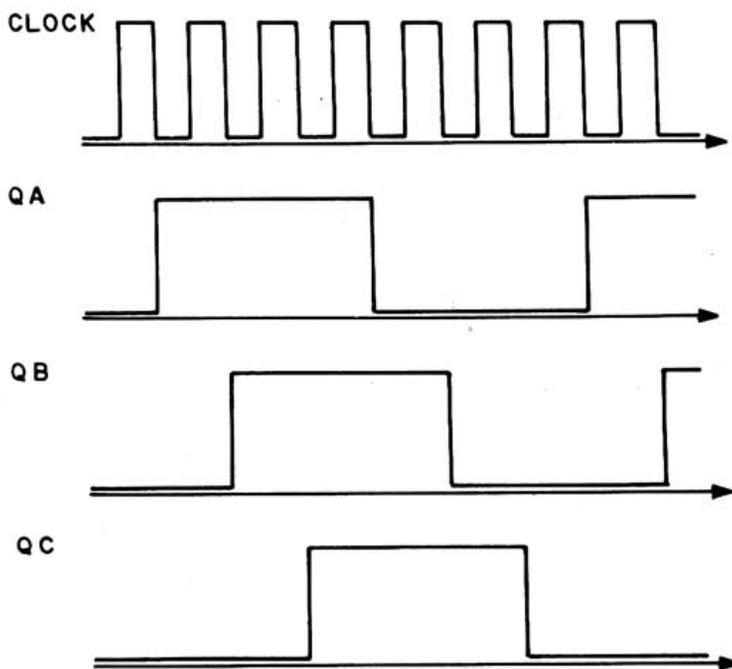


Figura 108 – Formas de onda nas saídas de um contador Johnson

Veja que a frequência do sinal de clock é dividida por 8 nesse circuito. Na verdade, a frequência será dividida por um número que será o dobro do número de estágios do circuito. Por exemplo, um contador de 5 estágios divide a frequência de entrada por 10.

Um problema que pode ocorrer com este tipo de circuito é a entrada num estado que não seja permitido e do qual ele não possa sair. Se isso ocorrer o circuito fica preso numa sequência incorreta de valores digitais apresentados na saída.

Uma maneira de se contornar isso é mostrada na figura 109 em que temos um contador de 4 estágios usando os flip-flops disponíveis nos circuitos integrados CMOS do tipo 4013 e, além disso, uma porta NOR 4001.

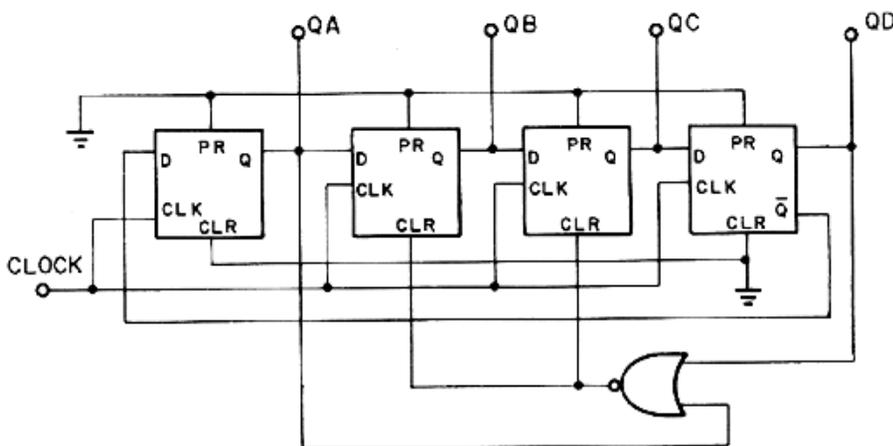


Figura 109 – Contador com 4 flip-flops 4013 e uma porta 4001

Neste circuito, as entradas CLR dos flip-flops intermediários são usadas para se ressetar o circuito quando um estado proibido que seja, por exemplo, os níveis 1 nas saídas, ao mesmo tempo, do primeiro e último estágio ocorram.

Na figura 110 temos outro circuito de contador Johnson com módulo 3.

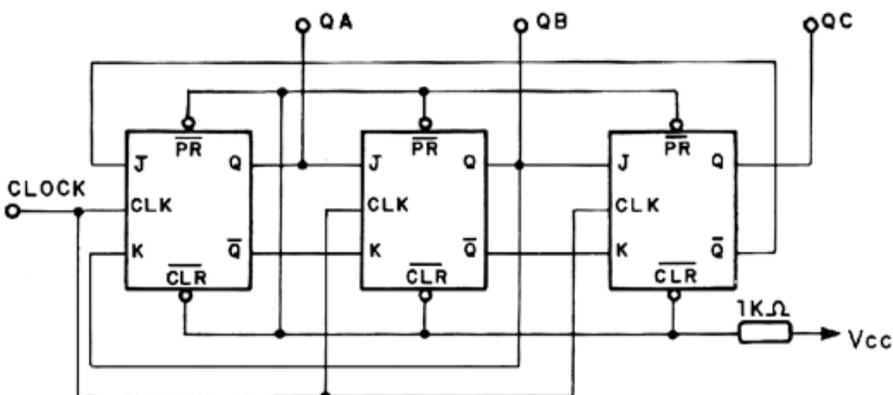


Figura 110 – Contador módulo 3 com o 7476

As formas de onda são dadas na figura 111.

Contadores

Os contadores e divisores de frequência encontram uma ampla gama de utilidades em eletrônica digital. Eles servem para obter pulsos intervalados em temporizadores, relógios ou ainda, geram a base de tempo de instrumentos digitais de medida.

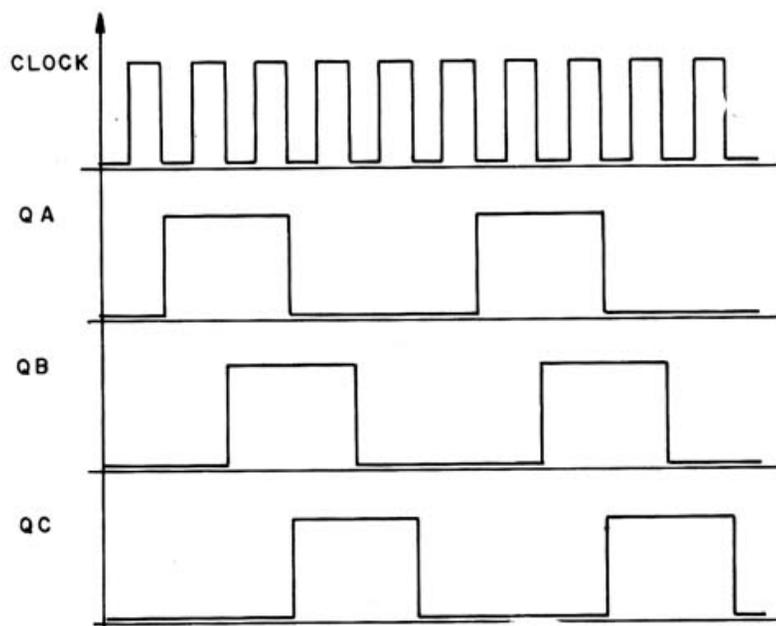


Figura 111 – Formas de onda no circuito

Este circuito se caracteriza pelo fato de permitir a contagem em módulos de valores ímpares. Observe que os circuitos podem ser sempre modificados para se obter isso o que pode ser importante nos projetos práticos.

Termos em inglês:

Os termos em inglês para os contadores, também em muitos casos, não são usados de forma traduzida, mas sim no original em inglês. Mas, mesmo para estes, é importante saber o que eles significam. Damos a seguir alguns destes termos:

Self start – auto partida
Self correct – auto-correção
Ring counter – contador em anel
Counter – contador
Serial – série
Parallel – paralelo
Modem – modulador-demodulador
Shift- deslocamento
Register – registrador

QUESTIONÁRIO

1. Para obter um registrador de deslocamento o que devemos fazer com um circuito divisor/contador digital?
 - a) Aterrar suas saídas complementares
 - b) Inverter suas saídas normais
 - c) Ligar sua saída à entrada
 - d) Não utilizar o sinal de clock

2. Num shift-register do tipo SISO temos que característica:
 - a) A entrada e a saída são seriais
 - b) A entrada e a saída são paralelas
 - c) A entrada é serial e a saída paralela
 - d) A entrada é paralela e a saída serial

3. A conversão de sinais Serial/Paralela pode ser feita por que tipo de shift-register?
 - a) SISO
 - b) SIPO
 - c) PISO
 - d) PIPO

4. Para se obter um contador Johnson que tipo de ligação fazemos num registrador de deslocamento?
 - a) Aterrmos suas saídas complementares
 - b) Ligamos a saída complementar do último estágio à entrada do primeiro
 - c) Ligamos o CLEAR à entrada do primeiro estágio
 - d) Ligamos o CLEAR à saída complementar do último estágio

5. Qual dos circuitos integrados abaixo consiste num contador Johnson de 10 estágios?
 - a) 7490
 - b) 4001
 - c) 7474
 - d) 4017

6. Qual é a finalidade do self-correct num contador Johnson?
 - a) Resetar a saída no final da contagem
 - b) Permitir a contagem até qualquer valor
 - c) Corrigir a contagem se ela não estiver na sequência
 - d) Partir sempre de 0 na contagem



» Multiplexadores, Demultiplexadores, Decodificadores e Displays

No capítulo anterior estudamos os registradores de deslocamento, ou shift-registers, como também são conhecidos, analisando seu princípio de funcionamento e suas principais aplicações. Vimos também as pinagens e características de alguns circuitos integrados de registradores de deslocamento, tanto na tecnologia TTL como CMOS, muito comuns em projetos de eletrônica digital. Neste capítulo de nosso curso analisaremos quatro blocos fundamentais para o projeto de equipamentos digitais. Trataremos de blocos responsáveis pela seleção e distribuição de informações digitais e pelo interfaceamento de circuitos digitais com o usuário, e mesmo com outros circuitos. Falaremos dos multiplexadores, demultiplexadores, decodificadores e dos displays. Se bem que a tecnologia dos displays tenha levado ao surgimento de novos tipos a cada dia, nos dedicaremos neste capítulo aos tipos mais tradicionais e de funcionamento mais simples. Como, nos tipos mais avançados, o princípio de funcionamento é o mesmo, os leitores não terão dificuldades em entendê-los quando precisarem trabalhar com eles. Este capítulo conta com os seguintes itens:

Itens:

- 12.1 – Os Multiplexadores e demultiplexadores (MUX e DEMUX)
- 12.2 - Os decodificadores
- 12.3 – Displays
- 12.4 – Codificadores e decodificadores TTL e CMOS
- 12.5 – Displays de cristal líquido

Objetivos:

- Estudar o funcionamento dos multiplexadores e demultiplexadores
- Entender o funcionamento dos circuitos decodificadores
- Analisar o funcionamento dos displays
- Conhecer os principais circuitos codificadores e decodificadores nas tecnologias TTL e CMOS

12,1 – Multiplexadores e Demultiplexadores

Os MUX e DEMUX ou ainda Multiplexadores e Demultiplexadores são sistemas digitais que podem processar informações de diversas formas, funcionando como conversores série/paralelo e vice versa.

Neste item analisaremos o princípio de funcionamento destes circuitos de grande importância na eletrônica digital

Um multiplexador, ou abreviadamente, MUX é um sistema digital que possui diversas entradas de dados uma ou mais saídas onde aparecem as informações selecionadas na forma digital e, além disso, ele possui entradas de controle, conforme mostra a figura 112.

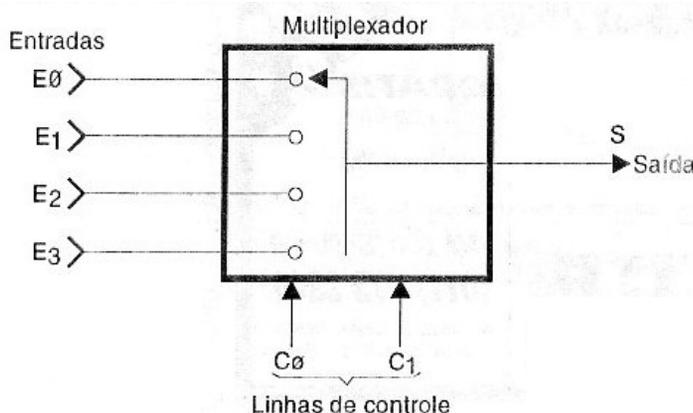


Figura 112 – Um multiplexador de quatro entradas

Os sinais aplicados às entradas de controle determinam qual entrada vai ser conectada à saída, transferindo assim seus sinais. Em outras palavras, com um MUX é possível selecionar qual entrada vai ser conectada a saída, simplesmente usando comandos lógicos.

Por este motivo, os multiplexadores também são chamados de seletores de dados, ou se usarmos o termo em inglês, data selectors.

Uma tabela verdade pode ser associada ao multiplexador que demos como exemplo no qual temos 4 entradas e uma saída:

Controle		Entrada ativada
C0	C1	
0	0	E0
1	0	E1
0	1	E2
1	1	E3

Veja então que, quando desejamos que a entrada E2 seja a conectada a saída, transferindo seus sinais, tudo que temos de fazer é levar a entrada de controle C0 ao nível baixo e a entrada C1 ao nível alto.

Multiplexadores
Os multiplexadores, abreviadamente MUX, também são chamados seletores dados.

Perceba também que a quantidade de linhas de controle depende justamente da quantidade de entradas que devem ser selecionadas. Para um MUX de 4 entradas precisamos de 2 entradas de controle, pois com dois dígitos cobrimos as 4 combinações possíveis de estados de controle.

Para um MUX de 8 entradas, como o mostrado na figura 113, precisamos de 3 entradas de controle, de modo a se obter as 8 combinações de estados que definem qual entrada será a ativada.

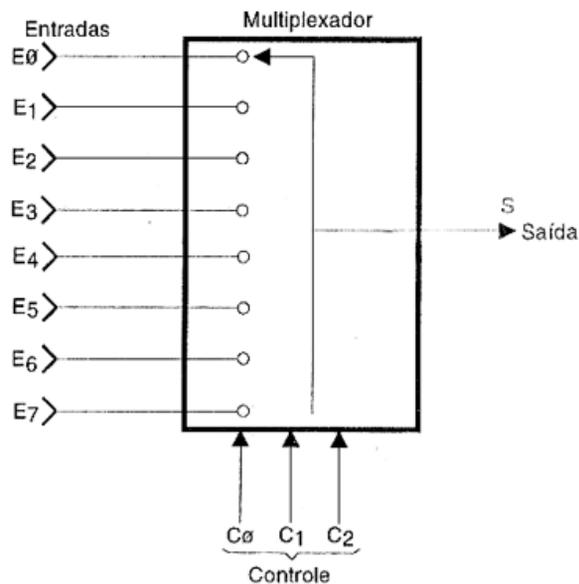


Figura 113 – Um multiplexador de 8 entradas

Uma tabela verdade para um MUX de 8 entradas, como o mostrado na figura 113 seria a seguinte:

Entradas de controle			Saída ativada
C0	C1	C2	
0	0	0	E0
1	0	0	E1
0	1	0	E2
1	1	0	E3
0	0	1	E4
1	0	1	E5
0	1	1	E6
1	1	1	E7

A implementação de um multiplexador com portas lógicas pode ser feita com relativa facilidade. No caso do multiplexador de 4 entradas e uma saída que tomamos como exemplo inicial podemos usar portas AND e OR além de inversores conforme mostra a figura 114.

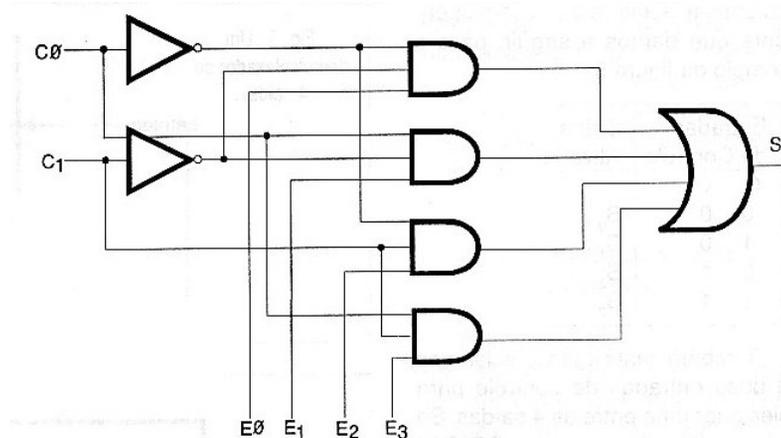


Figura 114 – Implementação de um MUX com funções lógicas simples

A função de multiplexador pode ser encontrada tanto em circuitos integrados de tecnologia CMOS como TTL, e nestes componentes temos ainda a possibilidade de encontrar uma entrada adicional de inibição INHIBIT, cuja finalidade é desativar o circuito em caso de necessidade, desligando-se assim sua saída de qualquer das entradas.

Veja que esta entrada pode ser importante, pois em qualquer combinação de níveis lógicos da entrada de controle sempre teremos uma entrada conectada à saída.

Assim, pode ser necessário em algum tipo de aplicação, que nenhuma entrada seja conectada à saída em determinado instante.

Na figura 115 temos o circuito lógico de um multiplexador de 8 entradas com 3 entradas de controle e uma entrada de INHIBIT.

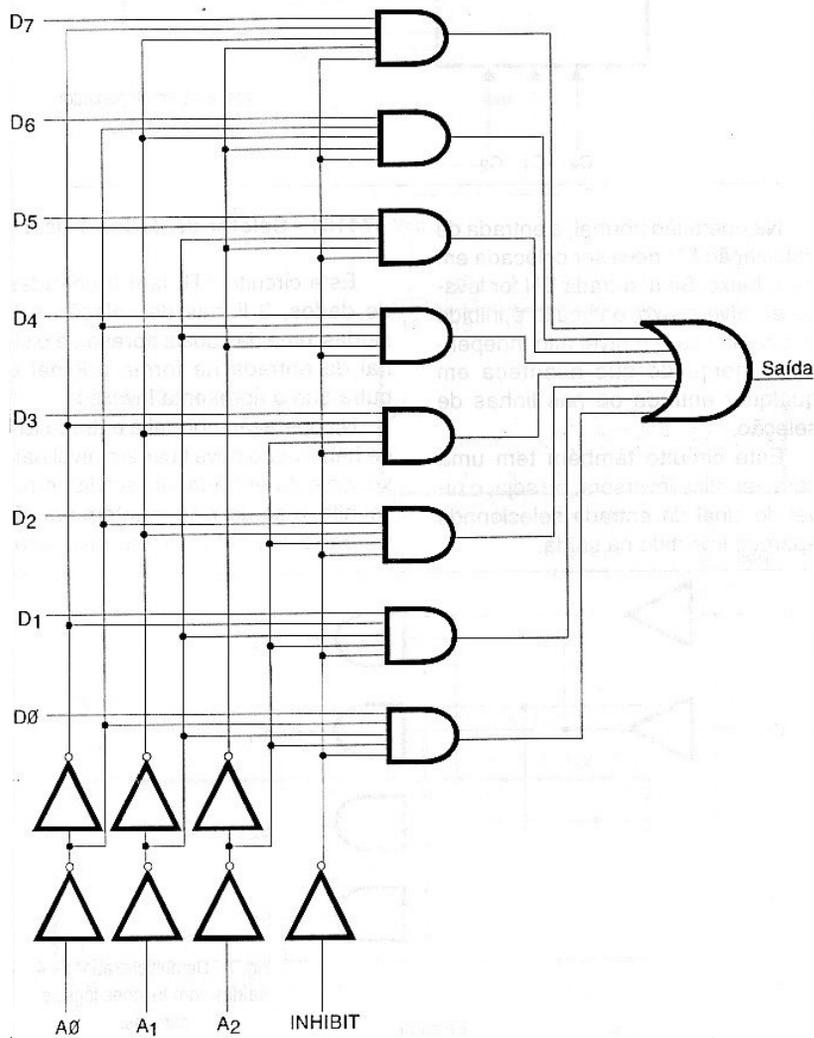


Figura 115 – Multiplexador de 8 entradas com função INHIBIT

Este circuito utiliza inversores, portas AND e portas OR.

DEMÚLTIPLEXADORES

Um circuito demultiplexador ou DEMUX tem uma entrada de dados e um determinado número de saídas, além de entradas de controle, conforme mostra o diagrama simplificado da figura 116.

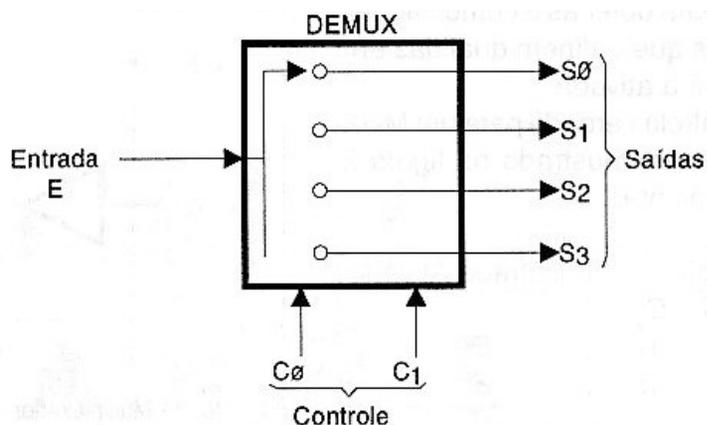


Figura 116 – Um demultiplexador ou DEMUX

Pela aplicação de níveis lógicos apropriados nas entradas de controle podemos transferir o sinal da entrada para uma das saídas.

Qual saída receberá o sinal dependerá dos níveis na entrada de controle conforme a tabela verdade dada a seguir, para o exemplo da figura 116.

Entradas de controle		Saída ativada
C0	C1	
0	0	S0
1	0	S1
0	1	S2
1	1	S3

Multiplexadores

Os multiplexadores também são chamados de endereçadores de dados.

Perceba que, neste caso também, precisamos de duas entradas de controle para selecionar uma de 4 saídas. Se tivermos 8 saídas, como no DEMUX da figura 117 serão necessárias 3 entradas de controle.

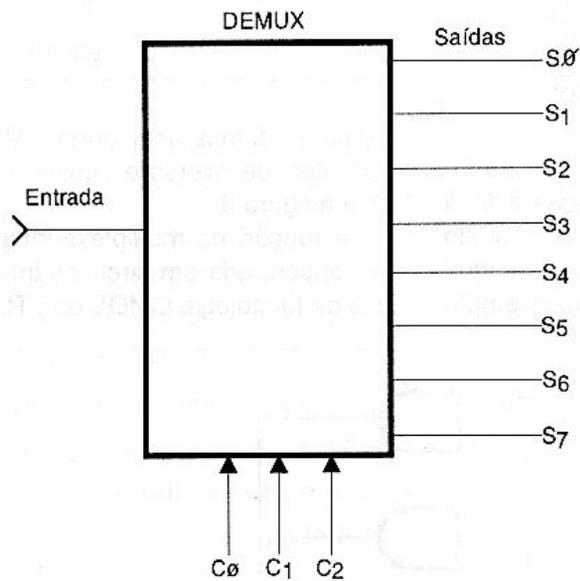


Figura 117 – Um demultiplexador ou DEMUX de 8 saídas

Para este circuito temos então a seguinte tabela verdade:

Entradas de controle			Saída ativada
C0	C1	C2	
0	0	0	S0
1	0	0	S1
0	1	0	S2
1	1	0	S3
0	0	1	S4
1	0	1	S5
0	1	1	S6
1	1	1	S7

Da mesma forma que no caso de um multiplexador, um circuito demultiplexador pode ser elaborado a partir de funções lógicas comuns. Para um demultiplexador de 4 saídas, como o tomado. como exemplo inicial neste item, temos a possibilidade de elaborá-lo com apenas dois inversores e 3 portas AND de 3 entradas, conforme mostra a figura 118.

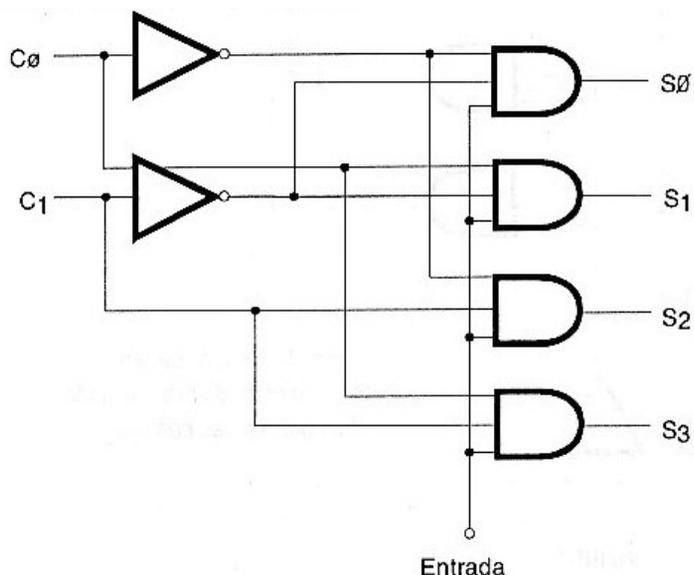


Figura 118 – DEMUX com função lógicas comuns

MUX/DEMUX INTEGRADOS

Conforme explicamos as funções de multiplexadores e demultiplexadores digitais podem ser encontradas na forma de circuitos integrados tanto da família CMOS como TTL.

Damos a seguir alguns circuitos integrados comuns dessas duas famílias que podem ser usados em projetos.

74150 - seletor de dados 1 de 16

Este circuito integrado TTL consiste num multiplexador que possui 16 linhas de entrada e uma linha de saída, selecionadas pelas Linhas de Seleção, ou Address Inputs (nos manuais em inglês). Na figura 119 temos a pinagem deste circuito integrado.

Sinais analógicos e digitais
 Na operação normal estes circuitos apenas endereçam ou selecionam níveis lógicos, mas existem os casos em que podemos fazer o mesmo com sinais analógicos, por exemplo, um sinal de áudio. A seleção é feita digitalmente, mas o sinal que passa é analógico.

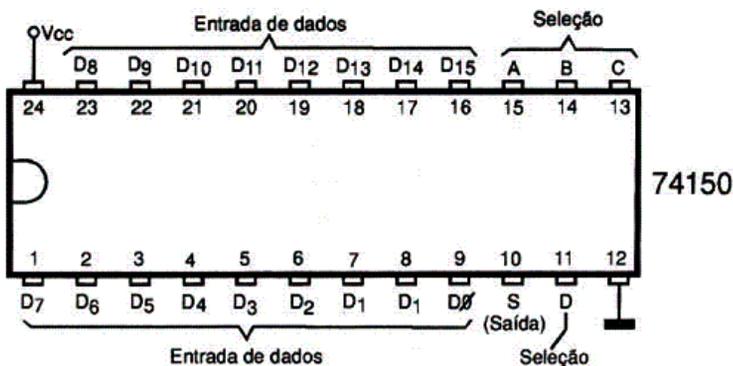


Figura 119 – Seletor de dados 1 de 16 – 74150

Para operação normal, a entrada de habilitação (EN) deve ser mantida no nível alto, até o momento em que os dados de uma determinada entrada devam ser levados para a saída.

Qual entrada será ativada, dependerá do código aplicado à linha de seleção. O circuito possui duas saídas. Numa delas aparece o sinal da entrada selecionado e na outra o sinal complementar.

Circuitos semelhantes da mesma família são o 74151, que consiste num seletor 1 de 8, e o 74153 que consiste num seletor 1 de 4.

Este circuito trabalha apenas com sinais digitais.

O tempo de propagação do sinal é 23 ns e o consumo por circuito integrado 40 mA.

74151 - seletor de dados 1 de 8

Este circuito TTL tem 8 entradas de dados, três linhas de seleção e duas saídas, sendo uma que apresenta o sinal da entrada na forma original e a outra que o apresenta invertido.

Na operação normal, a entrada EN de habilitação deve ficar no nível baixo. Se esta entrada for levada ao nível alto, a saída Y se mantém no nível baixo e a saída Y/ no nível alto independentemente do que acontece nas linhas de dados ou de controle.

O 74151 é apresentado em invólucro DIL de 16 pinos com a disposição de terminais mostrada na figura 120.

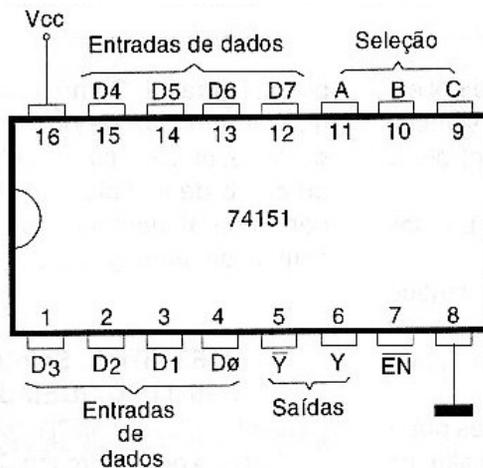


Figura 120 – Seletor de dados 1 de 8

74152 - Duplo seletor de dados 1 de 4

Este circuito integrado TTL contém dois multiplexadores de 4 entradas de dados, com duas linhas de controle que atuam ao mesmo tempo sobre os dois circuitos. Na figura 121 temos a pinagem deste componente que é apresentado em invólucro DIL de 16 pinos.

Operação bilateral

Observe que nestes circuitos TTL, não podemos fazer a operação “ao contrário”, ou seja, aplicar o sinal na saída e, pela seleção, obtê-los na entrada. Isso não ocorre, entretanto, em algumas funções CMOS em que a operação bidirecional é possível.

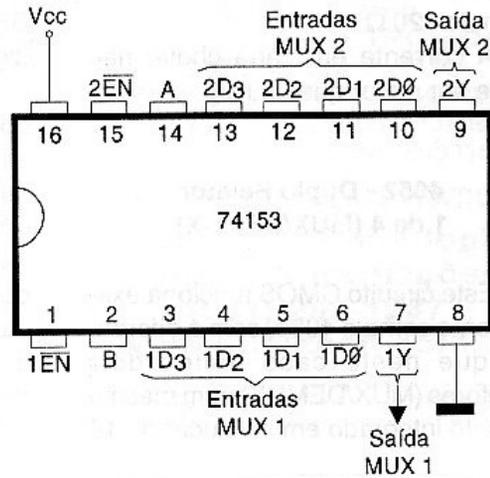


Figura 121 – Duplo seletor de dados 1 de 4

Na operação normal a entrada EN deve ser mantida no nível baixo. Com esta entrada no nível alto, a saída do multiplexador correspondente se mantém no nível baixo independentemente da entrada selecionada.

74154 - Demultiplexador 1 de 16

Este circuito integrado TTL é apresentado em invólucro DIL de 24 pinos com a pinagem mostrada na figura 122.

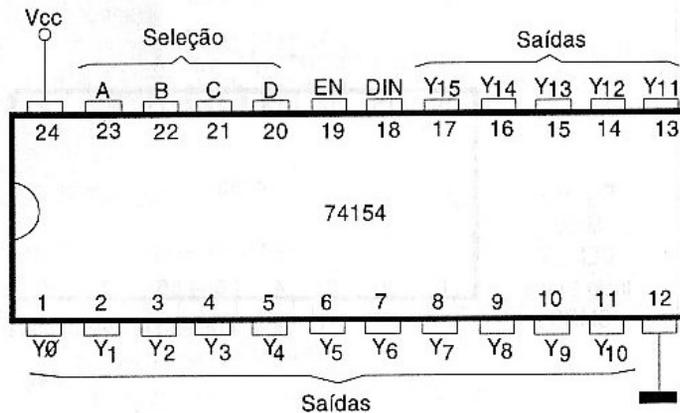


Figura 122 – Distribuidor de dados 1 de 16 (Demux)

Este tipo de circuito também é conhecido como distribuidor de dados e na operação normal a entrada EN deve ser mantida no nível baixo. Com esta entrada no nível alto, todas as saídas ficarão no nível alto, independentemente do que ocorre na entrada de dados e nas entradas de controle.

O tempo de acesso aos dados é de 49 ns e o consumo de cada circuito integrado é de 34 mA.

74155 - Duplo Demultiplexador 1 de 4

Este circuito integrado TTL é apresentado em invólucro DIL de 16 pinos, conforme mostra a figura 123.

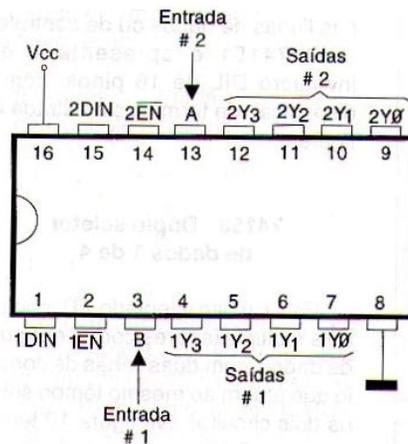


Figura 123 – 74155 –Duplo multiplexador 1 de 4

Na operação normal a entrada EN deve estar no nível baixo. Com a entrada EN no nível alto, todas as saídas dos seletores ficam no nível alto, independente da seleção e dos dados da entrada.

4051 - Seletor 1 de 8 (MUX/DEMUX)

Este circuito integrado CMOS é apresentado em invólucro DIL de 16 pinos e pode trabalhar tanto com sinais analógicos como digitais, dependendo apenas da polarização do pino 7, conforme mostra a figura 124 em que temos a sua pinagem

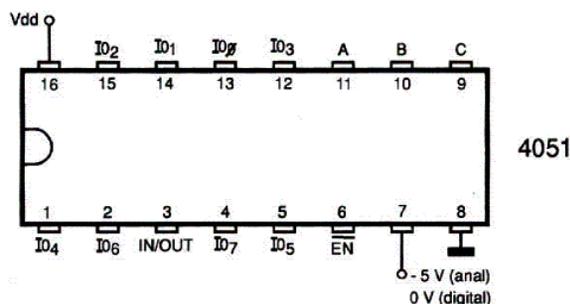


Figura 124- 4051 – Seletor 1 de 8 (Mux/Demix)

Para utilizar esse circuito com sinais digitais a tensão de alimentação positiva pode ficar entre 3 e 15 volts enquanto que o pino 7 é aterrado.

No entanto, para operar com sinais analógicos o pino 7 deve ser conectado a uma fonte de -5 V (fonte negativa) e o pino 8 aterrado.

Nestas condições, os sinais a serem chaveados podem variar entre -5 e +5 V enquanto que os sinais de seleção podem ter nível baixo (0V) ou nível alto (5V).

Tanto na operação com sinais digitais como analógicos, as chaves fechadas representam uma resistência de 120 ohms e não devem ser usadas cargas com resistências inferiores a 100 ohms. A corrente máxima chaveada para os sinais não deve superar os 25 mA.

Semelhantes a este circuito em características são os:

4052 - Duas chaves 1 de 4

4053 - Três chaves 1 de 2

4067 - Uma chave 1 de 16

Na tabela dada a seguir temos as principais características elétricas do 4051.

Operação bilateral

Este é um dos circuitos que pode operar nos dois sentidos. Os sinais aplicados à entrada podem ser selecionados em direção a uma saída, e um sinal aplicado a saída, pode ser direcionado para uma das entradas.

Característica	Condições (Vdd)	Valor
Resistência no estado ON - ligado (tip)	5 V 10 V 15 V	1 000 ohms 400 ohms 240 ohms
Tempo de Propagação (tip)	5 V 10 V 15 V	500 ns 180 ns 120 ns
Corrente quiescente (max)	5 V 10 V 15 V	5 mA 10 mA 20 mA
Faixa de tensões de alimentação	3 V a 15 V (digital) - -5 a +5 V (analógico)	

4052 - Duplo Seletor 1 de 4 (MUX/DEMUX)

Este circuito CMOS funciona exatamente como o 4051 com a diferença que no caso temos dois seletores (MUX/DEMUX) num mesmo circuito integrado em invólucro de 16 pinos, que é mostrado na figura 125.

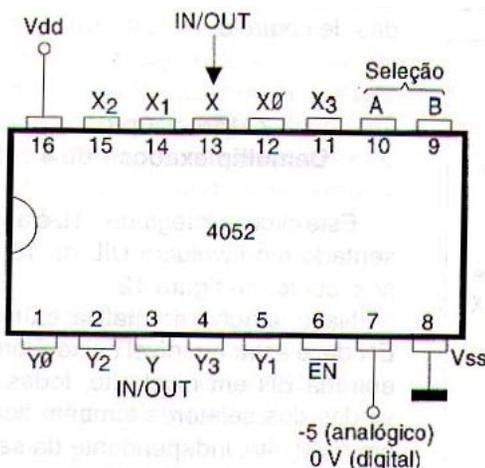


Figura 125 – 4052 – Mux/Demux 1 de 4

Como no caso anterior, o circuito pode operar nos dois sentidos, ou seja, tanto como multiplexador como demultiplexador e, dependendo da alimentação, pode operar com sinais analógicos ou digitais.

4053 - Triplo Seletor 1 de 3 (MUX/DEMUX)

Temos finalmente um circuito CMOS que funciona como os anteriores, e que pode ser usado tanto como MUX como DEMUX tanto para sinais analógicos como digitais.

A pinagem deste circuito integrado é mostrada na figura 126.

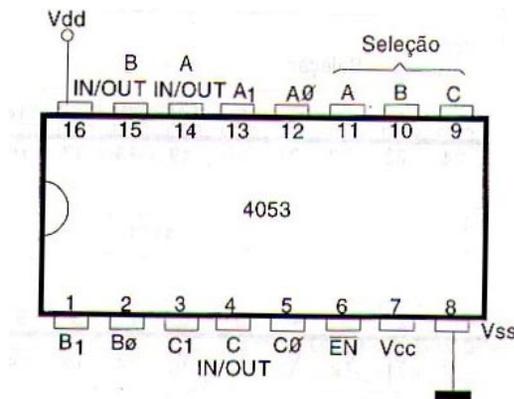


Figura 126 – 4053 – MUX/DEMUX triplo 1 de 3

As linhas de seleção de saídas/entradas dos três seletores (MUX/DEMUX) deste circuito integrado são independentes, mas para inibição do funcionamento existe uma entrada comum. Esta entrada deve ficar no nível baixo para o funcionamento normal.

12.2 – Os decodificadores

As informações que os circuitos digitais trabalham estão na forma binária, ou mesmo em outras formas que nem sempre podem ser visualizadas de maneira fácil pelo usuário, ou ainda que não pode ser utilizada pelos circuitos seguintes do equipamento, se eles não forem digitais.

Isso implica na necessidade de termos circuitos que trabalhem uma informação codificada de uma forma, transformando-a em outra, que possa ser usada por dispositivos ou circuitos que não sejam digitais.

Podemos ter, por exemplo, a necessidade de apresentar um valor numérico na forma decimal a partir de um valor binário ou ainda produzir um impulso em determinado endereço numa memória a partir de uma informação binária deste endereço.

Nas aplicações digitais, encontramos diversos tipos de circuitos decodificadores, dos quais estudaremos os principais neste capítulo.

Lembramos que esses decodificadores tanto podem ser elaborados com funções básicas simples (portas e inversores), como podem ser encontrados já implementados em circuitos integrados de tecnologia CMOS e TTL.

Tipos avançados

Existem tipos de decodificadores destinados a excitação de displays que mostram informações muito complexas, como textos e imagens, conforme os mostrados na foto. Trataremos destes displays mais adiante neste livro.



12.2.1 - Decodificador de n para 2 elevado a n linhas

Temos nesta categoria de circuito o que decodifica um sinal binário de n dígitos para uma saída de 2 elevado ao expoente n. Por exemplo, para 2 dígitos ou linhas de entrada temos 2 x 2 linhas de saída. Para 3 linhas de entrada temos 2 x 2 x 2 linhas de saída ou 8, e assim por diante, conforme ilustrado na figura 127.

Confusão

Não confundir os multiplexadores e demultiplexadores com os decodificadores. São funções diferentes.

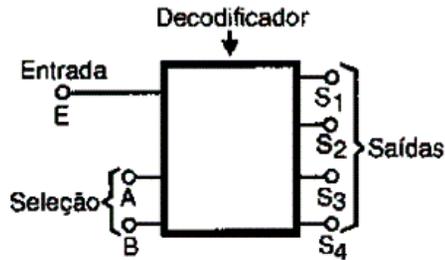


Figura 127 – Decodificador de 2 x 2 linhas

Para entendermos como funciona este tipo de circuito, vamos tomar como exemplo sua configuração mais simples, com 2 linhas de entrada e 4 de saída, usando quatro portas NAND do 7400 e dois inversores do 7404. Essa configuração elaborada com funções básicas (portas) é mostrada na figura 128.

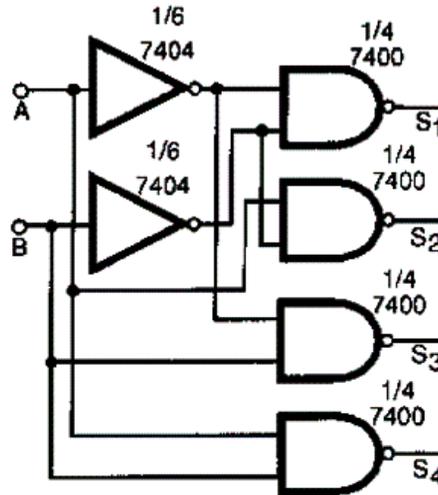


Figura 128 – Configuração com portas NAND e inversores

O que esse circuito faz é ativar apenas uma das saídas a partir de cada uma das quatro combinações possíveis do sinal de entrada, conforme mostra a seguinte tabela verdade:

Entradas		Saídas			
A	B	S1	S2	S3	S4
0	0	0	1	1	1
0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0

Veja que a saída ativada vai ao nível baixo quando o valor binário correspondente é aplicado à entrada.

Na prática, não é preciso implementar circuitos decodificadores como este a partir de portas lógicas, pois existem circuitos integrados que já realizam estas funções. Daremos exemplos no final do artigo.

Aplicações possíveis para este circuito podem ser facilmente imaginadas pelos leitores.

É fácil perceber que, se tivermos 3 linhas de entradas, podemos endereçar um nível lógico para 1 de 8 saídas. Para 4 linhas de entrada, teremos 16 saídas, e assim por diante.

Na figura 129 temos um circuito em que um contador binário é ligado a um destes decodificadores de modo a fazer o acionamento sequencial de lâmpadas.

Essa é uma aplicação muito comum, com finalidade decorativa, desse tipo de circuito integrado.

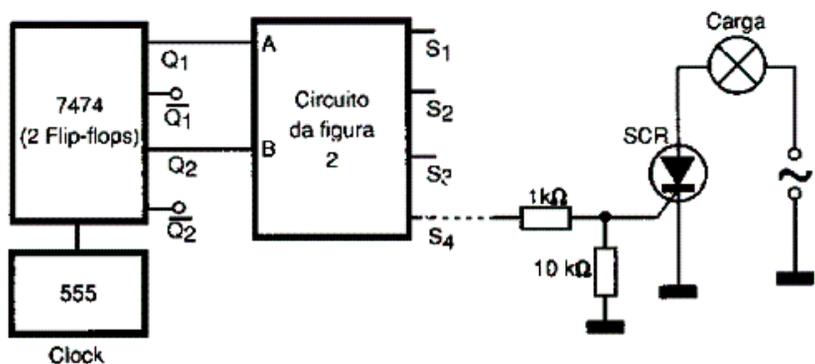


Figura 129 - Decodificando um sinal para acionamento sequencial

Basta então ajustar a velocidade do oscilador, que funciona como clock, para determinar a velocidade do corrimento das lâmpadas que acendem quando cada saída correspondente for ativada.

Na figura 130 temos um exemplo de lâmpadas (ou LEDs) sequenciais acionados por um circuito deste tipo.

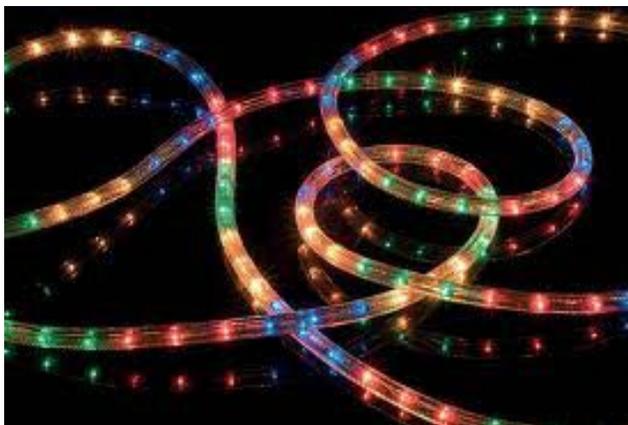


Figura 130 – LEDs sequenciais

Se, em lugar das lâmpadas usarmos relés, ou outro tipo de controle de potência, poderemos elaborar um controle sequencial para um automatismo industrial.

12.2.2 - Decodificador BCD para 7 segmentos

Um tipo de decodificador, muito usado nos projetos que envolvem eletrônica digital, é o que faz a conversão dos sinais BCD (Decimais codificados em binário) numa forma apropriada ao acionamento de um mostrador de 7 segmentos.

O mostrador de 7 segmentos parte do princípio de que podemos formar qualquer algarismo de 0 a 9 usando uma combinação de 7 segmentos de um mostrador, conforme mostra a figura 131.



Figura 131 – números do display de 7 segmentos Para formar o zero ativam-se todos menos o segmento g

Assim, se quisermos fazer aparecer o algarismo 5, bastará “acender” os segmentos a, c, d, f, g conforme mostra a figura 132.

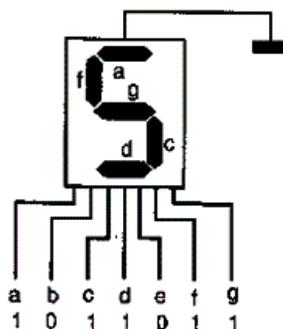
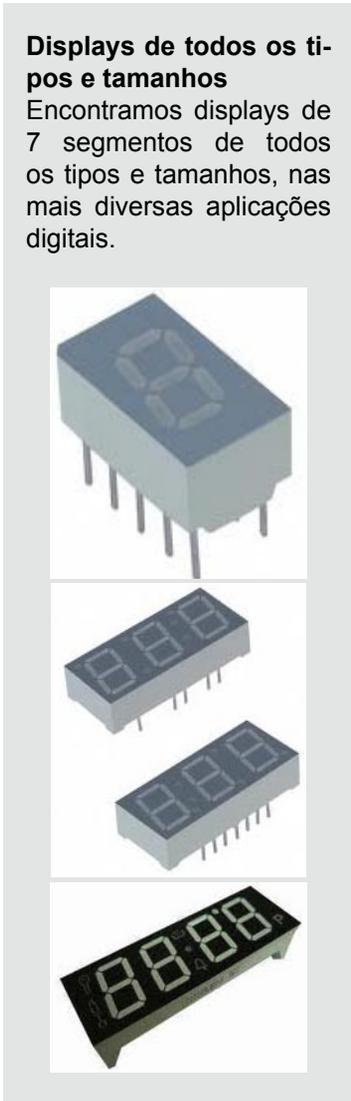


Figura 132 – Mostrando o dígito 5

Como os sinais codificados em binário não servem para alimentar diretamente os mostradores, é preciso contar com um circuito que faça a conversão, de uma forma que corresponda à combinação de segmentos que seja a do algarismo representado, conforme mostra a figura 133.



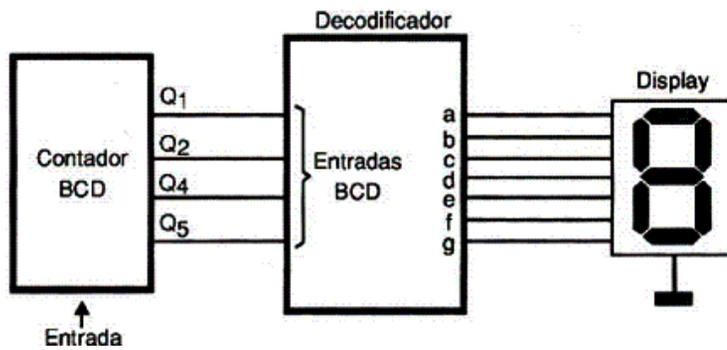


Figura 133 – Circuito decodificador BCD para 7 segmentos

Tipos de decodificadores

Como existem displays diferentes dos tipos de 7 segmentos que estudamos, e que serão estudados no próximo item, também existem decodificadores apropriados para eles.

Este tipo de circuito decodificador conta então com 4 entradas, por onde entra a informação BCD, e 7 saídas que correspondem aos 7 segmentos de um mostrador cuja função é apresentar o dígito correspondente.

A combinação de níveis lógicos aplicada às entradas produzirá níveis lógicos de saída que, aplicados aos segmentos de um mostrador, faz aparecer o dígito correspondente.

É preciso levar em conta que, neste tipo de circuito, os segmentos de um mostrador podem ser ativados quando a saída vai ao nível alto, ou ainda ativados quando a saída vai ao nível baixo.

Isso dependerá do tipo de display usado, e da forma como ele é ligado na saída, o que será estudado no item seguinte.

12.3 - DISPLAYS

Um display, ou mostrador, é um dispositivo que tem por finalidade apresentar uma informação numa forma que possa ser lida por um operador.

Podemos ter displays simples que operam na forma digital, como seqüências de LEDs, displays que apresentam números (numéricos), como displays que apresentam também símbolos gráficos (letras e sinais) e que são denominados alfa-numéricos, como os mostrados na figura 134.



Figura 134 – Displays simples numéricos e alfa numéricos

Se bem que o termo correto, em português, seja “mostrador”, temos aqui mais um caso de termo técnico que se popularizou no nosso idioma na forma original em inglês. Assim, em eletrônica digital, é muito mais comum falarmos em “displays” do que em “mostradores”.

Na figura 135 temos alguns displays mais complexos capazes de apresentar informações contendo números, letras e símbolos diversos.

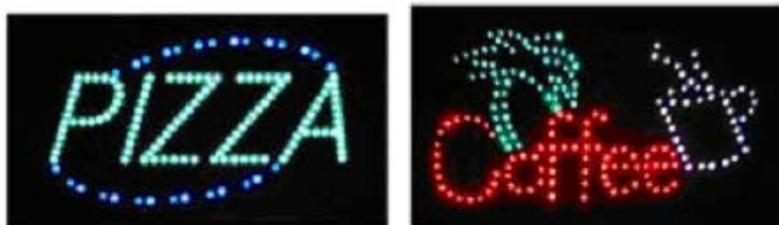


Figura 135- Displays complexos com símbolos diversos

Os mais sofisticados podem até apresentar imagens de objetos ou formas, como os usados em equipamentos mais complexos com recursos de microprocessadores, tais como games de bolso, telefones celulares, agendas eletrônicas, organizadores de informações, computadores portáteis e muitos outros.

O tipo mais comum de display usado nos projetos básicos de eletrônica digital são os numéricos de 7 segmentos de que já tratamos no item anterior.

A combinação do acionamento de 7 segmentos possibilita o aparecimento dos algarismos de 0 a 9 e também de alguns símbolos gráficos como os mostrados na figura 136.



Figura 136 – Outros símbolos que podem ser apresentados num display de 7 segmentos.

O tipo mais comum usado nos projetos digitais é o mostrador de LEDs (Diodos Emissores de Luz), onde cada segmento é um diodo emissor de luz (LED) e que tem a aparência mostrada na figura 137, assim como seu símbolo interno.

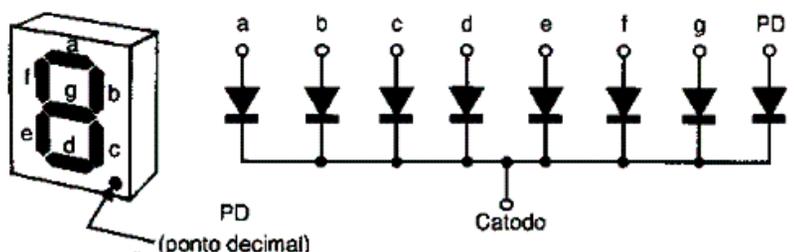


Figura 137 – Um display de LEDs de catodo comum

Os LEDs podem ser ligados de modo a ter o anodo conectado ao mesmo ponto, caso em que dizemos que se trata de um display de anodo comum (Common Anode, se adotarmos o termo inglês), como ainda, podem ter os catodos interligados, caso em que dizemos que

se trata de um display de catodo comum (Common Cathode, para o termo em inglês).

As correntes nos segmentos variam tipicamente entre 10 e 50 mA, conforme o tipo e tamanho, o que nos leva a concluir que, o consumo máximo ocorre, quando o dígito 8 é projetado (todos os segmentos acesos), podendo chegar a 400 mA por unidade (50 mA por segmento).

O consumo relativamente alto desse tipo de display não o torna muito conveniente para utilização em equipamentos alimentados por bateria. Os displays de LEDs são mais usados em equipamentos de uso embarcado (carro, barco, etc.) ou de mesa, onde se pode contar com fontes de energia mais potentes.

Alguns fabricantes podem juntar mais de um dígito num único bloco facilitando assim os projetos, já que na maioria dos projetos, os números que devem ser apresentados são maiores que 9, conforme mostra a figura 138.

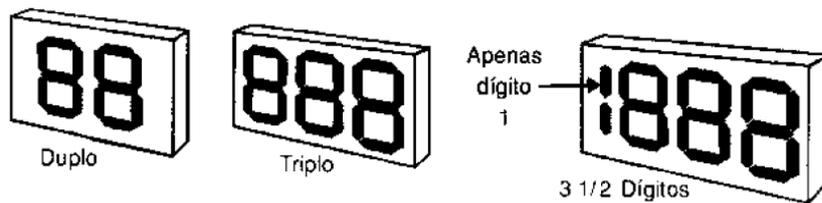


Figura 138 – Displays duplos, triplos e quádruplos de 7 segmentos

Outro tipo de display, que é também utilizado com bastante frequência nos projetos, é o de cristal líquido ou LCD (De Liquid Crystal Display, adotando o termo inglês).

Este display não “acende” quando excitado. O LCD é formado por eletrodos transparentes que, ao receberem excitação elétrica, pelo sinal do circuito, fazem com que o líquido interno se torne opaco, deixando assim de refletir a luz.

Desta forma, o fundo branco do material deixa de ser visto, aparecendo em seu lugar uma região preta, conforme mostra a figura 139.

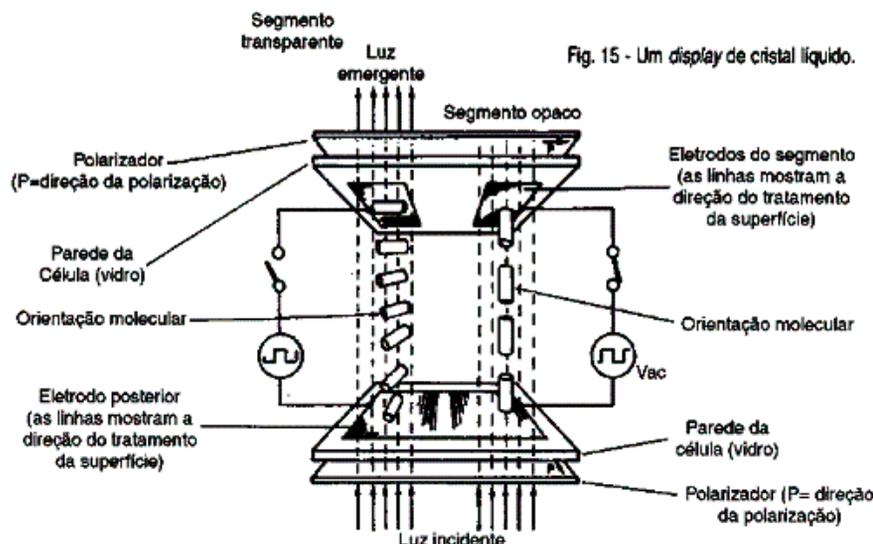


Fig. 15 - Um display de cristal líquido.

Figura 139 – Estrutura de um display de cristal líquido

As regiões pretas formam os segmentos e, conforme sua combinação, aparecem os dígitos.

No entanto, para os montadores comuns, é um pouco mais difícil trabalhar com estes mostradores, pois eles exigem circuitos de excitação especiais.

Existem, entretanto, casos de displays que já possuem internamente os decodificadores e que, por isso são mais fáceis de usar.

A principal vantagem do mostrador de cristal líquido, ou display de cristal líquido (LCD), é seu consumo de energia, centenas de vezes menor do que num mostrador de LEDs. Para as aplicações em que o aparelho deve ser alimentado por pilhas ou baterias, ou ainda ficar permanentemente ligado, é muito mais vantajoso usar o mostrador LCD.

Datasheets e manuais
 No site do autor, tanto podem ser encontrados artigos com informações sobre muitos dos CIs indicados neste livro, como na seção Localizar Data-sheet, podem ser acessadas informações de diversos fabricantes.

12.4 - Decodificadores e Codificadores Integrados (TTL e CMOS)

Podemos contar com uma boa quantidade de decodificadores, multiplexadores e demultiplexadores na forma tanto de circuitos integrados TTL, como CMOS. Será interessante para qualquer profissional que trabalhe com eletrônica digital contar com um manual que contenha as características dos princípios tipos.

No entanto, para mostrar aos leitores os principais tipos, de modo que eles possam analisar seu funcionamento, descreveremos alguns circuitos integrados que contém estas funções e que são os mais utilizados nos projetos e aplicações práticas.

a) 7442 - Decodificador BCD para 1 de 10

Este circuito integrado tem a pinagem mostrada na figura 140.

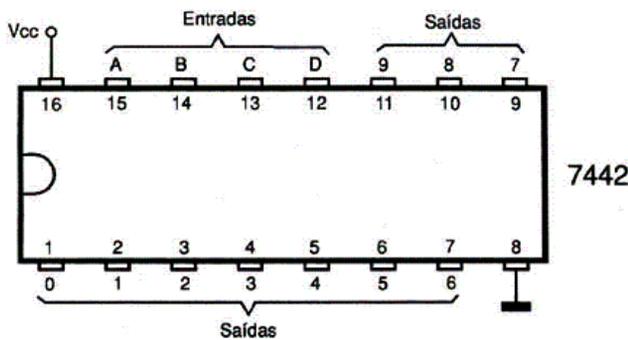


Figura 140 – Decodificar BCD 1 de 10

Conforme a combinação de níveis lógicos das entradas (codificadas em BCD), apenas uma das saídas irá para o nível lógico baixo. Todas as demais permanecerão no nível alto.

Se os níveis lógicos aplicados às entradas tiverem a combinação 1010 até 1111 (que correspondem de 11 a 15) nenhuma das saídas será ativada. Cada saída pode drenar, quando ativada, uma corrente de 16 mA.

Aterrando o pino 12, o mesmo circuito integrado funciona como um decodificador 1-de-8.

O circuito integrado TTL 7445 tem a mesma função, com a diferença de que possui transistores na configuração de coletor aberto na saída podendo, com isso, trabalhar com tensões de até 30 V e drenar correntes de até 80 mA. A pinagem é a mesma do 7442.

O tempo de propagação dos sinais por esse circuito integrado é de 17 ns, e cada um drena uma corrente de 28 mA.

b) 7447 - Decodificador BCD para 7 Segmentos

Este é um circuito integrado TTL que possui saídas em coletor aberto capazes de drenar correntes de até 40 mA sendo, portanto, indicado para excitar displays de LEDs de anodo comum.

Na figura 141 temos a sua pinagem.

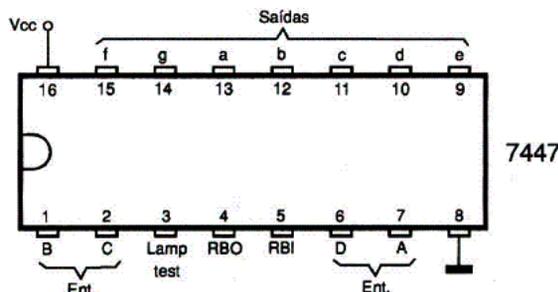


Figura 141 – Decodificador BCD para displays de 7 segmentos

Algumas características importantes devem ser observadas neste circuito.

Uma delas é o terminal Lamp Test, ou teste do display. Colocando esta saída no nível lógico baixo (em funcionamento normal ela deve ser mantida no nível alto), todas as saídas vão ao nível baixo, fazendo com que todos os segmentos do display acendam. Com isso é possível verificar se ele está em bom estado, funcionando corretamente.

Outra entrada importante é a RBI (Ripple Blank Input) que faz com que os zeros à esquerda sejam apagados, quando são usados diversos contadores, conforme mostra a figura 142.

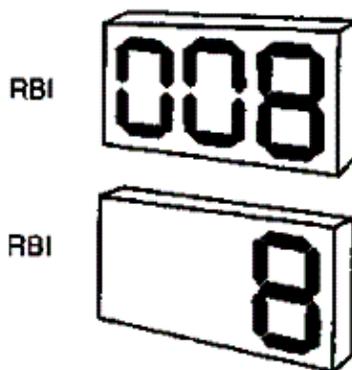


Figura 142 – Usando a entrada Ripple Blank Input

Assim, em lugar de aparecer o valor 008 numa contagem, aparece apenas 8.

Observe que a saída RB0 (Ripple Blank Output) serve para a ligação em série de diversos blocos contadores de modo a se obter um conjunto com vários dígitos, em que os zeros à esquerda são apagados.

O tempo de propagação do sinal por esse circuito integrado é de 45 ns e seu consumo é de 43 mA.

e) 4028 - Decodificador BCD para Decimal

Este é um circuito integrado CMOS com 10 saídas no qual, aquela que vai ao nível alto, depende da combinação dos níveis de entrada. As demais saídas permanecerão no nível baixo. A pinagem deste circuito integrado é mostrada na figura 143.

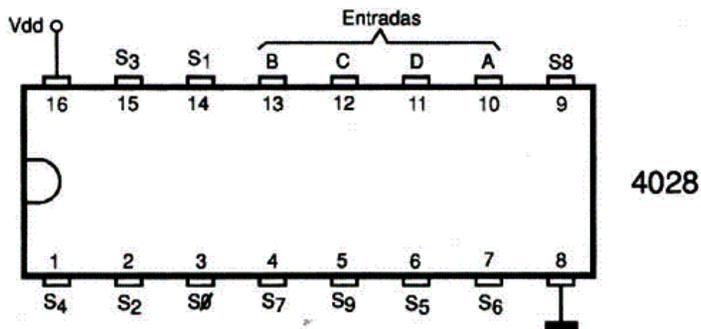


Figura 143 – 4028 – Decodificador BCD para decimal

As combinações de entrada entre 1010 e 1111 que correspondem aos números de 11 a 15 não serão reconhecidas e, com elas, todas as saídas permanecerão no nível baixo.

Na tabela abaixo damos as características desse CI:

Característica	Condições (Vdd)	Valor
Corrente drenada-fornecida na saída (tip)	5 V	1,0/0,4 mA
	10 V	2,6/1,0 mA
	15 V	8,8/3,0 mA
Tempo de Propagação (tip)	5 V	240 ns
	10 V	100 ns
	15 V	70 ns
Corrente quiescente (max)	5 V	1 mA
	10 V	2 mA
	15 V	4 mA
Faixa de tensões de alimentação	3 V a 15 V	

g) 4026 - Contador de Década com Saída de 7 segmentos

Esse importante circuito integrado CMOS tem um contador divisor por 10 e suas saídas são decodificadas.

A pinagem deste circuito integrado é mostrada na figura 144.

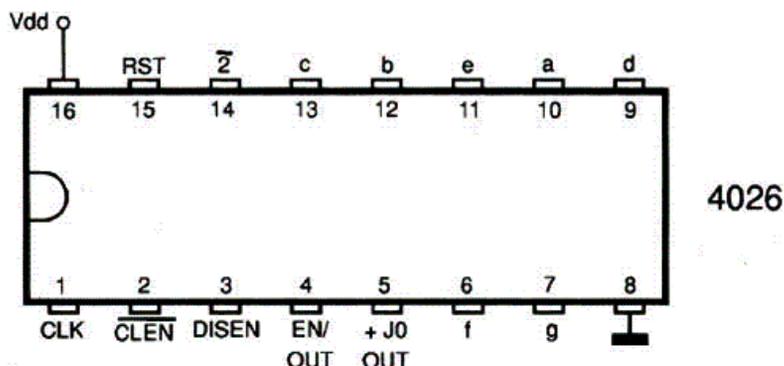


Figura 144 – Contador de década com saída em 7 segmentos

Na operação normal, a entrada RST (Reset) e CLEN devem ser mantidas no nível baixo. Um nível alto aplicado em RST resseta o contador levando o valor da saída a 0 e, ao mesmo tempo, impede a contagem.

Um nível alto aplicado em CLEN (habilitação do Clock ou Clock Enable) inibe a entrada dos sinais de clock. O contador é gatilhado nas transições positivas do sinal de clock.

No pino 5 é possível obter um sinal quadrado de 1/10 da frequência de clock, e no pino 14 temos um sinal que permanece no nível alto até o momento em que a contagem chega a 0010, quando passa ao nível baixo.

A entrada DISEN serve para habilitar o display, devendo permanecer no nível alto na operação normal. Quando esta linha vai ao

nível baixo as saídas vão todas para ao nível baixo. Este circuito é indicado para operar com displays de catodo comum e a corrente de saída máxima é de 1,2 mA para uma tensão de alimentação de 5 V, e 5 mA para 10 V.

A frequência máxima de operação é de 5 MHz para 10 V de tensão de alimentação e 2,5 MHz para 5 V.

Termos em inglês:

Mais termos em inglês para o leitor memorizar:

Decoder – decodificador

Multiplexer – Multiplexador

Demultiplexer – demultiplexador

Segment- segmento

Enable – habilitar

Disable – desabilitar

Select – selecionar

Termos para pesquisa:

- MUX e DMUX
- Decodificadores
- Displays de LEDs
- Displays de LCD
- Multiplexação de sinais

QUESTIONÁRIO

1. Um circuito que joga o sinal de uma entrada em uma de 4 saídas é denominado:
 - a) Multiplexador 1 de 4
 - b) Demultiplexador 1 de 4
 - c) Decodificador 4 por 4
 - d) Decodificador BCD para 1 de 4

2. Que tipo de decodificador tem apenas uma de 10 saídas ativas a partir de sinais BCD de entrada?
 - a) Decodificador 1 de 10
 - b) Demux 1 de 10
 - c) Contador Johnson
 - d) Decodificador BCD para 1 de 10

3. Em que tipo de display os catodos de todos os LEDs dos segmentos são interligados e conectados a um ponto comum?
 - a) anodo comum
 - b) cristal líquido ou LCD
 - c) catodo comum
 - d) duplo

4. Um seletor de dados é o mesmo que:
 - a) Um MUX
 - b) Um DEMUX
 - c) Um decodificador BCD
 - d) Um decodificador 1 de 10

5. Os Seletores de dados bilaterais (MUX/DEMUX), normalmente são circuitos:
 - a) TTL
 - b) Integrados
 - c) CMOS
 - d) De qualquer tipo



» Memórias, ADCs e DACs

No capítulo anterior estudamos os multiplexadores, demultiplexadores, decodificadores e displays, com destaque para seu princípio de funcionamento e suas principais aplicações. Também estudamos as pinagens e características de alguns circuitos integrados destas famílias tanto na tecnologia TTL como CMOS, muito comuns em projetos de eletrônica digital. Neste capítulo de nosso curso analisaremos outros blocos fundamentais para o projeto de equipamentos digitais. Veremos neste capítulo como podemos armazenar as informações na forma digital e depois utilizá-las e também como podemos interfacear os circuitos digitais com o mundo exterior que, predominantemente, é analógico. Assim, veremos como sinais analógicos podem ser convertidos para a forma digital e vice-versa, como os sinais digitais podem ser convertidos para a forma analógica. Isso será feito por importantes blocos denominados conversores analógicos-digitais e digitais-analógicos. Este capítulo conta com os seguintes itens:

Itens:

- 13.1 – As memórias
- 13.2 – Tipos de memórias
- 13.3 – Os conversores analógicos-digitais ou ADCs
- 13.4 – Os conversores digitais-analógicos ou DACs

Objetivos:

- Estudar o princípio de funcionamento das memórias
- Entender as diversas tecnologias usadas no armazenamento de informações
- Analisar o funcionamento dos conversores analógicos-digitais
- Entender o funcionamento dos conversores digitais-analógicos
- Conhecer os principais circuitos de ADCs e DACs

13.1 – As memórias

Todos os computadores usam, e além deles muitos outros aparelhos como secretárias eletrônicas, videocassetes, controles remotos, etc. Estes pequenos dispositivos eletrônicos, que podem guardar informações, são encontrados na forma de chips e operam segundo diversos princípios. Como funcionam as memórias e como reconhecê-las é o que veremos neste item.

Guardar informações é algo fundamental para a operação de computadores, máquinas fotográficas digitais, instrumentos de medida, automatismos e também de diversos outros aparelhos eletrônicos.

No entanto, as informações disponíveis num circuito se apresentam de uma forma especial, na forma de tensões ou impulsos e isso faz com que sejam exigidos também dispositivos especiais para seu armazenamento.

O computador não é um dispositivo novo, e desde que os primeiros tipos, aparelhos de grande porte, foram inventados, as memórias sofreram uma série de aperfeiçoamentos e modificações antes de chegar ao que conhecemos hoje e que usamos em diversos aparelhos eletrônicos modernos.

13.1.2 – Bits e Bytes

Conforme os leitores sabem, as informações que “rodam” num equipamento digital, como um computador, estão na forma digital, ou seja, são dois níveis de tensões que representam o zero ou nível baixo (LO) e o “um” ou nível alto (HI). Esses níveis são denominados “níveis lógicos” e um “zero” ou um “um” consiste na unidade mínima de informação ou “bit”.

Todas as informações que fazem parte de um programa, e com que os computadores e outros equipamentos trabalham, consistem em agrupamentos de zeros e uns que são denominados “palavras” ou “bytes”. Já estudamos isso nos primeiros capítulos deste curso.

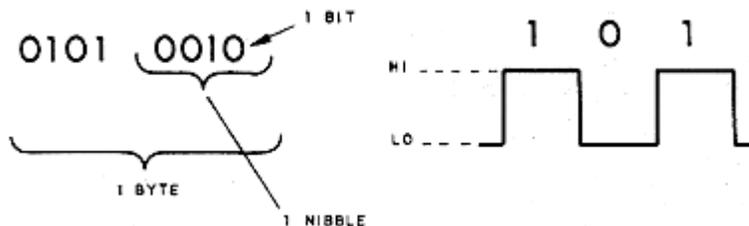


Figura 145 – As informações na forma digital

Os primeiros tipos de memórias que foram usadas para armazenar essas informações, na forma de bytes, eram formados por anéis magnetizáveis, na disposição que é mostrada na figura 146.

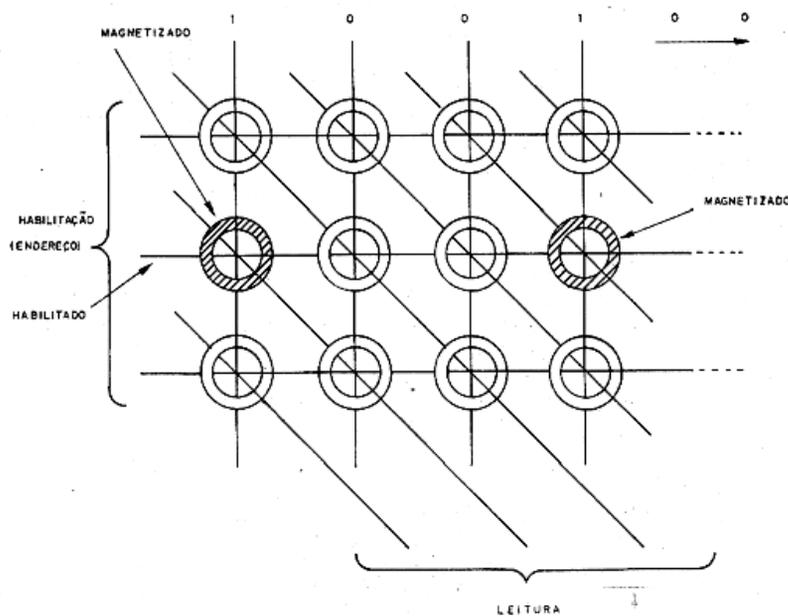


Figura 146 – Organização de uma memória de núcleos magnéticos

Assim, pequenos anéis de metal eram atravessados por fios nos quais os bits eram aplicados, ou seja, níveis de tensões correspondentes aos bits.

Para armazenar o byte 100100, por exemplo, por um instante o primeiro e o quarto fios eram percorridos por uma corrente, enquanto que os demais não.

Na carreira em que estariam os anéis que iriam armazenar essas informações, o fio horizontal era percorrido por uma corrente que “habilitava” o circuito. Desta forma, somente os anéis percorridos pela corrente vertical daquela carreira eram magnetizados, registrando assim a informação.

Naquela fila tínhamos então o primeiro e o quarto anel magnetizados, e os demais não, guardando assim a “palavra” digital 100100.

Para “ler” esta informação, bastava habilitar novamente esta fila com uma corrente apropriada e, aplicando impulsos apropriados na fila vertical, obtinha-se na fila oblíqua um sinal de leitura. Para os fios que passassem por um anel não magnetizado teríamos uma corrente de saída, mas ela seria diferente na saída dos anéis magnetizados, conforme mostra a figura 147.

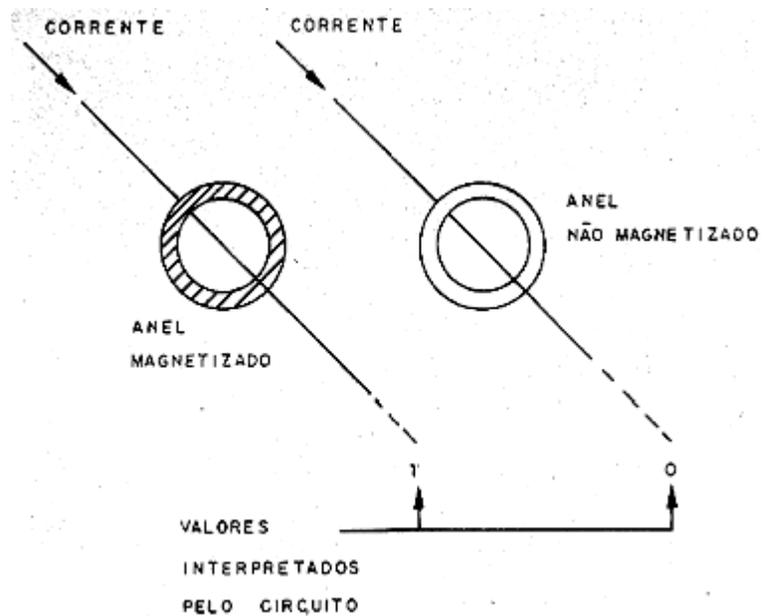


Figura 147 – O registro dos bits numa memória magnética

Na figura 148 temos a foto de uma memória antiga deste tipo.

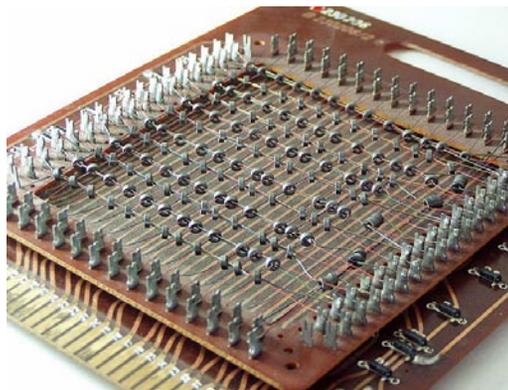


Figura 148 – Uma memória magnética de um computador dos anos 60 – Foto internet

Evidentemente, este processo, além de ocupar um espaço razoável, não era dos mais simples de operar, limitando a capacidade dos computadores antigos.

A vantagem desta memória é que ela podia guardar as informações mesmo depois que o computador fosse desligado. Tratava-se, portanto de uma “memória não volátil”.

Um tipo de memória que também foi usada nos primeiros computadores era a que armazenava as informações em circuitos. A desvantagem delas era que, ao ser desligado o computador, a informação dessas memórias se perdia. Tratava-se, portanto, de uma memória “volátil”.

Para armazenar uma informação no circuito eram usadas configurações que já estudamos em capítulos anteriores, os flip-flops.

Um flip-flop antigo, usando válvulas como nos primeiros computadores, é mostrado na figura 149. Já estudamos este circuito em capítulos anteriores de nosso curso.

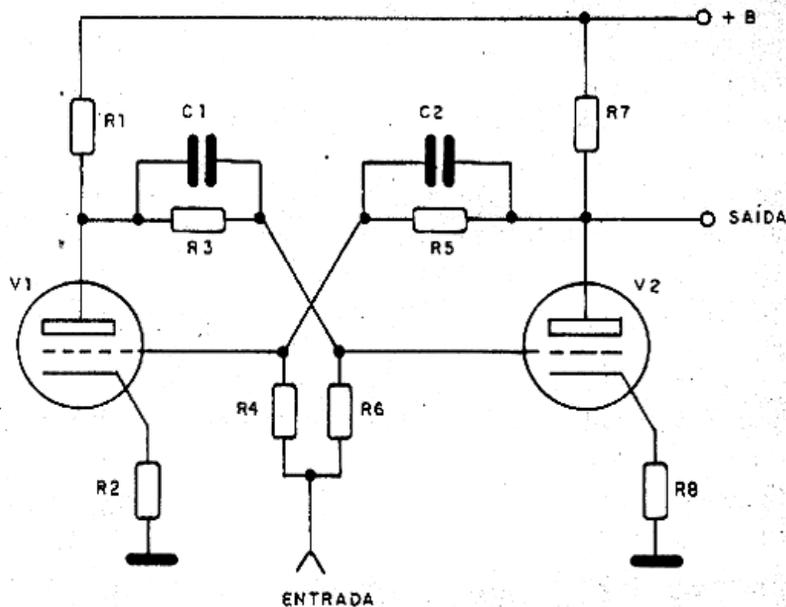


Figura 149 – Flip-flop ou biestável com válvulas triodo

Vejamos como ele funciona:

Nos primeiros tipos de flip-flops eram usadas duas válvulas na configuração indicada, mas depois com o aparecimento do transistor, passaram a ser usados dois transistores.

Este circuito funciona como uma espécie de “gangorra” eletrônica onde quando um lado está no nível alto o outro está no nível baixo. Isso significa que, quando um transistor (ou válvula) está conduzindo (nível baixo), o outro obrigatoriamente está sem conduzir ou no nível alto. (veja mais nos capítulos anteriores deste curso).

Para cada pulso de entrada o flip-flop “muda de estado”. Dessa forma, a saída do flip-flop pode estar no nível alto ou no baixo, conforme o comando que ele receba, armazenando assim um zero ou um (LO ou HI). Cada flip-flop é portanto uma “memória” de um bit.

Evidentemente, para memorizar uma grande quantidade de informações seriam necessários muitos flip-flops e muitos componentes.

Com a descoberta do circuito integrado, tivemos grandes avanços na fabricação de memórias, se bem que basicamente até hoje temos nos nossos computadores essas duas modalidades de armazenamento de informações.

Se para armazenar um simples bit precisamos de uma boa quantidade de componentes, o que não dizer da grande quantidade de informações com que trabalham os computadores, e a maioria dos equipamentos digitais modernos.

Um computador pessoal do tipo PC, por exemplo, pode ter

Eletrônica Analógica

Veja mais sobre este circuito na Curso de Eletrônica – Volume 2 – Eletrônica Analógica, capítulo que trata dos osciladores.

8, 16, 32 e 64 bits

Na época em que este livro escrito este era o valor comum para a capacidade de uma memória. Também é importante notar que nos computadores modernos, as unidades de informação não são constituídas de apenas um byte (8 bits), mas de 2 e até 8 bytes, como nos computadores e processadores de 16, 32 e 64 bits.

memórias capazes de trabalhar com 500 megabytes (500 milhões de bytes), e até mais, cada byte com 8, 16, 32 e até 64 bits.

Essa enorme capacidade de armazenamento só é possível com a utilização dos circuitos integrados.

O circuito completo de um flip-flop pode ser fabricado numa pastilha de silício de alguns milímetros. Mais do que isso: numa única pastilha de silício ou “chip” podemos montar milhares e até mesmo milhões de componentes formando milhares ou milhões de flip-flops já organizados de modo a armazenar informações. Podemos até fabricar outras configurações de componentes que sejam capazes de armazenar informações e algumas de modo permanente.

Temos então na forma de circuitos integrados dois tipos de memórias: voláteis e não voláteis, com grande capacidade de armazenamento e que são usadas não só em computadores, mas em muitas outras aplicações.

Para que os dados que devam ser gravados possam ser colocados numa memória e depois lidos, elas devem possuir uma organização que inclui a existência de pinos de acesso e também pinos de endereçamento, ou seja, pinos que possam dizer em que lugar as informações são gravadas.

Através destes pinos de endereçamento também podemos localizar a informação desejada quando ela precisa ser lida. Na figura 150 temos a organização típica de uma memória, com a utilização tanto dos termos em português como em inglês.

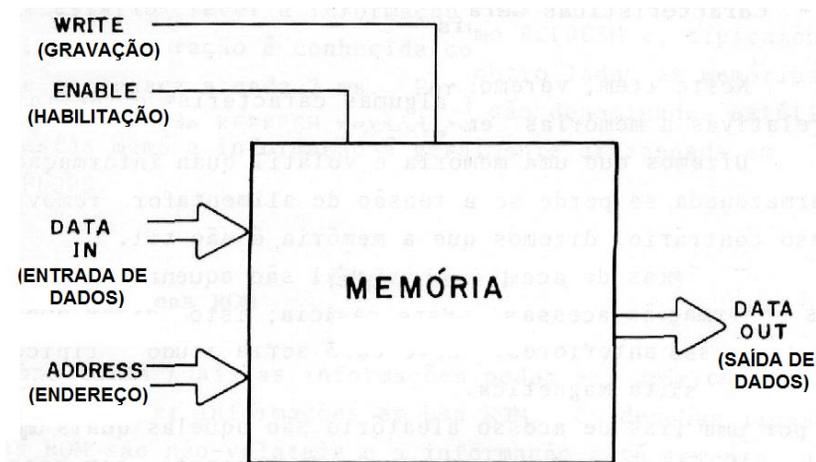


Figura 150 – Estrutura de uma memória

Kilobytes e Megabytes

Veja nos capítulos iniciais que kilobytes correspondem a 1024 bytes e não 1000. A maneira como os bytes são contados exige o uso de prefixos diferentes.

Uma memória é organizada de tal modo a conter um certo número de linhas e cada linha tem tantas posições quantos forem os bits gravados. Por exemplo, uma memória de 1024 linhas com 8 posições, pode gravar 1024 bits (1 kB) de 8 bits.

Para gravar a linha de gravação e ativada e os dados são colocados, um byte de cada vez, na linha de entrada de dados. Se a memória tiver 8 bits por linha, esta linha terá 8 entradas.

O local em que os dados devem ser gravados é então determinado pelos níveis da entrada de endereços. Por exemplo, para 1024 endereços, precisamos ter 10 linhas de endereço, para podermos alcançar todas as posições, pois $2^{10} = 1024$.

No momento em que a entrada de habilitação é ativada, os dados passam para a memória onde são gravados.

Para ler os dados, a entrada de gravação é desabilitada e, colocando o endereço da posição em que se encontra o dado na entrada de ENDEREÇO, o dado gravado aparece na saída.

Veja que, se ligarmos na entrada de endereço um circuito sequencial de contagem, a leitura dos dados será sequencial, e eles aparecerão na ordem que foram gravados, na saída da memória;

Termos em inglês

Na nomenclatura das memórias, é muito comum o uso dos termos originais em inglês, em lugar dos termos traduzidos, mesmo em documentação técnica em português.

13.2 – Tipos de Memórias

Existem diversas tecnologias para se armazenar informações em chips, levando a muitos tipos de memórias, empregadas numa infinidade de aplicações eletrônicas.

Analisemos os principais tipos de memórias:

13.2.1 - ROM

As Read-Only Memory, ou Memórias somente de leitura, são circuitos fabricados de tal forma que, no próprio processo de fabricação já são gravadas as informações que elas devem conter.

Isso é conseguido através de uma máscara que determina como vai ser o circuito integrado e que já tem em seu desenho a configuração com a informação que deve ser gravada.

A pequena pastilha de silício que contém as informações definitivas é colocada num invólucro, como o da figura 151, é utilizada.



Figura 151 – Chips de memória ROM comum

As informações contidas nesta memória, conforme o nome indica, só podem ser lidas, e não alteradas por qualquer tipo de ação externa. Em outras palavras o fabricante determina as informações que este tipo de memória vai conter antes dela ser fabricada.

AS ROMs dos computadores contém o BIOS (Basic Input Output System) que são os dados da configuração do computador.

Trata-se de uma memória não volátil, uma vez que as informações gravadas são retidas, mesmo depois que o circuito em que ela se encontra é desligado.

Na prática estas memórias encontram muitas aplicações como, por exemplo, reter informações importantes para o uso de um aparelho, mesmo quando ele é desligado, para que, depois ao ser ligado ele funcione normalmente.

Por exemplo, num celular elas retêm as informações sobre as configurações originais do fabricante, e nos computadores estas memórias contém as informações necessárias ao processo de partida (boot) no momento em que ele é ligado.

13.2.2 - PROM

A Programable Read-Only Memory ou Memória Programável Apenas de Leitura é uma memória não volátil, pois mesmo depois que desligamos sua alimentação ela mantém ainda gravados os dados de seu interior.

A diferença, em relação ao tipo anterior, está no fato de que elas podem ser programadas pelo usuário.

Nesta memória são usados micro transistores ou ainda linhas semicondutores de silício que funcionam como fusíveis e que, portanto, podem ser “queimados” por uma corrente especial.

Na prática, estes fusíveis se fundem com uma temperatura de 1000 °C o que é obtido com uma corrente da ordem de 15 mA. Esta é então a corrente de programação deste tipo de memória.

Desta forma, quando compramos uma memória deste tipo, todos os fusíveis estão em curto (bons) e, com isso, a memória só contém zeros.

A gravação é feita queimando-se numa mesma fila os microfusíveis em que se deseja gravar o nível HI ou 1, conforme mostra a figura 152.

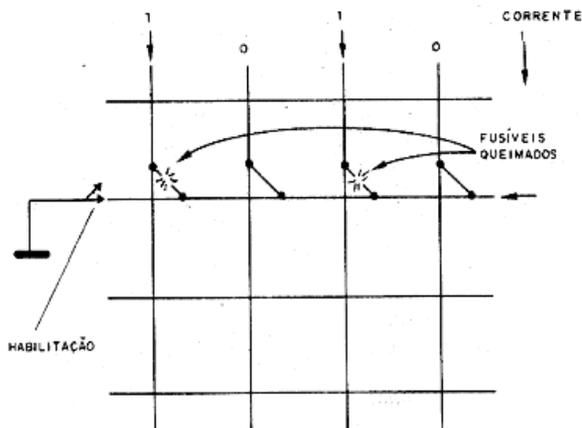


Figura 152 – Gravando uma linha de uma PROM

Com a passagem da corrente intensa os transistores-fusíveis “abrem” e neste ponto passamos a ter um nível alto ou 1 gravado.

Veja, portanto, que uma vez feita a gravação não é possível “desgravar” esta memória para fazer uma correção. Uma vez “queimado” o transistor não tem volta!

É por este motivo que dizemos que se trata de uma memória apenas de leitura se bem que possa ser gravada (programada) uma só vez: uma vez gravada não é possível alterar o seu conteúdo.

Na automação, estas memórias podem ser usadas para armazenar a rotina de funcionamento de uma máquina, determinando a sequência das funções que ela deve realizar.

Memórias deste tipo também podem ser usadas no computador para armazenar informações que vem do fabricante como, por exemplo, a inicialização do computador, pois essa informação não pode ser perdida e nem alterada pelo usuário.

As capacidades destas memórias variam muito, devendo o projetista de um circuito integrado digital escolher uma de acordo com a informação que deve armazenar.

13.2.3 - RAM

A Random Access Memory ou Memória de Acesso Aleatório é uma memória que tanto pode ser gravada como lida a qualquer momento. O termo “aleatório” significa que podemos ler ou gravar a qualquer momento uma informação que esteja em qualquer lugar desta memória.

Este tipo de memória é muito importante nos equipamentos digitais, pois ela é utilizada para guardar os dados que estão sendo usados e, portanto, estão mudando a cada instante conforme o programa “roda”.

Nos computadores elas armazenam as informações que estão mudando constantemente durante a execução de um programa, a digitação de um texto, recepção de dados da internet, ou ainda o processamento de uma imagem

Estas memórias são voláteis, pois quando o computador, ou qualquer outro equipamento em que ela esteja presente é desligado, toda a informação que contém é perdida, o que significa que, se precisamos ter estas informações de modo permanente, devemos antes transferi-las para outro tipo de memória que não seja volátil.

É o que fazemos quando transferimos o resultado de um trabalho no computador para o disco rígido, para um CD ou para um pen drive.

Estas memórias são basicamente formadas por uma grande quantidade de flip-flops do tipo CMOS que são montados numa minúscula pastilha de silício, conforme mostra a figura 153.

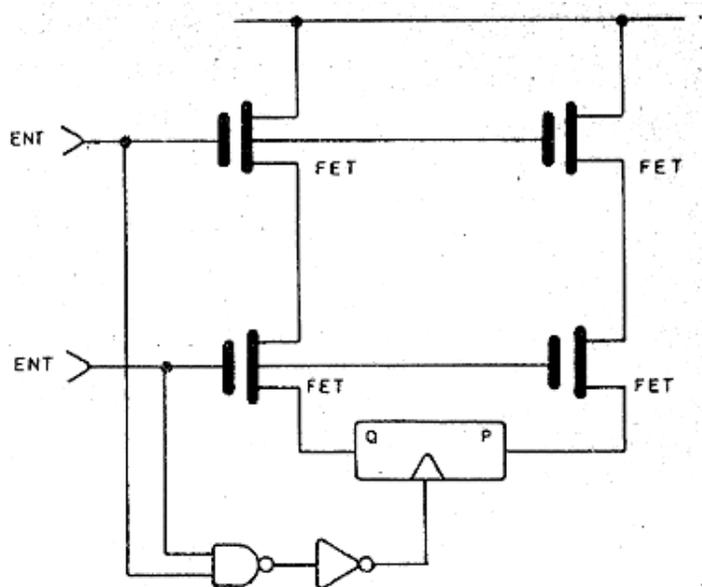


Figura 153- Flip-flop CMOS de uma célula de memória RAM

Cada flip-flop conforme vimos, armazena 1 bit, o que quer dizer que, para armazenar 1 megabyte ou 1 milhão de bytes de 16 bits numa memória deste tipo precisamos de 16 milhões de flip-flops! A tecnologia moderna consegue “fabricar” esta enorme quantidade de flip-flops numa pastilha de silício de poucos milímetros. (Lembramos que 1 Megabyte não é exatamente 1 milhão de bytes)

Esta pastilha é colocada num invólucro, como o da figura 154, onde os pinos dão acesso aos flip-flops e a outros circuitos de controle interno.

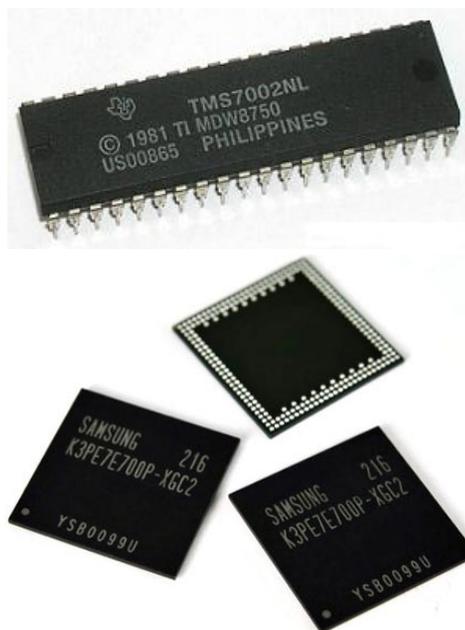


Figura 154 – RAM em invólucro DIL e SMD. As da direita têm capacidade de 2 GB.

Veja que não é preciso ter um pino para cada flip-flop. O que se faz é “organizar” os flip-flops de modo que eles possam ser ativados por meio de endereços, conforme vimos ao analisar o funcionamento.

Por exemplo, se queremos gravar ou ler o conteúdo de um determinado byte, o que fazemos é ativar os pinos que dão seu endereço com o código correspondente, por exemplo 1010 1001. Ao mesmo tempo, informamos ao pino R/W (leitura ou gravação) se estamos lendo ou gravando uma informação.

Com isso o circuito interno, coloca nos pinos de saída o que está contido no “endereço” solicitado, tudo conforme mostra a figura 155.

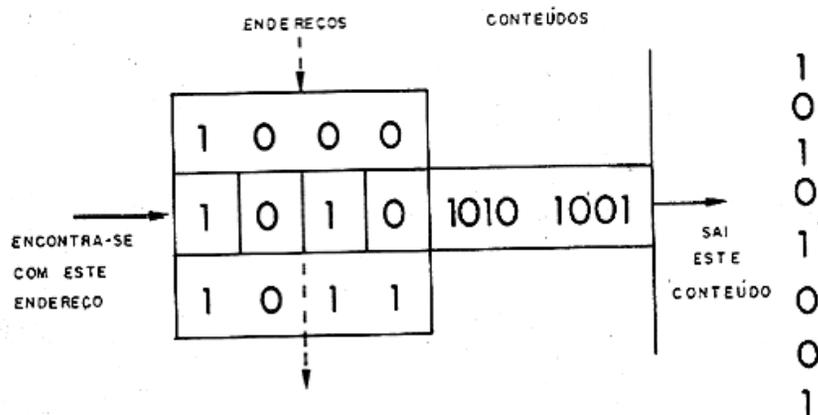


Figura 155 – O processo de endereçamento

A velocidade com que isso é feito é enorme, de tal forma que podem ser realizados milhões de ciclos de leitura e gravação em cada segundo.

Pentes de memórias

Nos casos em que grande capacidade de armazenamento é comum o uso de diversos chips de memórias montados numa pequena placa de encaixe, como no caso dos computadores. Na foto, um exemplo de pente deste tipo.



Pente de memória da SAMSUNG

13.2.4 – EPROM

O nome desta memória vem da abreviação de Erasable/Programmable Read-Only Memory ou Memória Programável e Apagável Somente de Leitura.

De uma maneira simples, trata-se de uma EPROM que pode ser apagada. Por este motivo, estas memórias são bastante populares entre os projetistas, pois podemos reutilizá-las muitas vezes, gravando e apagando as informações desejadas.

Esta memória é fabricada de tal forma que uma radiação ultravioleta forte pode modificar o estado de condução dos elementos do chip que armazenam a informação.

Normalmente, estes elementos contem cargas elétricas que se fixam de maneira mais ou menos definitiva em determinadas regiões quando ela é programada, determinando assim se a saída da célula vai ser um “zero” ou um “um” conforme o bit armazenado.

Para que essa informação possa ser apagada o circuito integrado possui uma janela de quartzo que deixa passar a radiação ultravioleta, conforme mostra a figura 156.



Figura 156 - EPROMs comuns com suas janelas de quartzo expondo o chip

Para apagar a informação gravada, expomos as memórias à radiação de uma lâmpada ultravioleta (UV) especial, o que é feito através de um aparelho apropriado, conforme mostra a figura 157.



Figura 157 – Um apagador de EPROM

Veja a gaveta onde são colocadas as memórias que devem ser apagadas. O botão na parte superior programa o tempo de exposição.

Na figura 158 temos um apagador de EPROM de construção caseira. Observe que as lâmpadas usadas são de tipo especial, e nunca devem ficar expostas, pois a radiação é altamente perigosa, principalmente se incidir nos olhos.

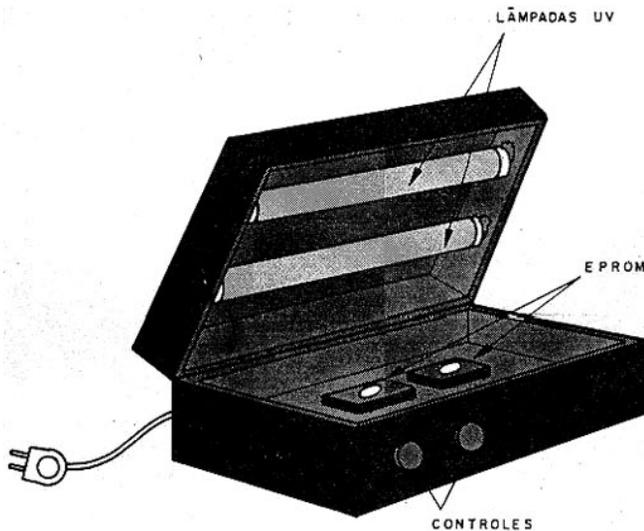


Figura 158 – Um apagador de EPROM de construção caseira

Uma série popular de EPROMs é a formada pelos tipos 2708, 2716 e 2732, 2764, 27128 e 27512 com diversas capacidades e organizações. Vamos analisar as características de algumas delas de forma introdutória, já que para informações mais completas, o leitor deve consultar seus datasheets.

2716

Dependendo do fabricante e da tecnologia empregada podemos encontrar prefixos e letras intermediárias que indicam as características dos componentes. Os detalhes, evidentemente, devem ser consultados nos datasheets de cada uma, antes de se fazer sua utilização.

A 2716, conforme o nome sugere é uma memória de 16k onde temos 2k linhas de 8 bits. Trata-se de uma memória 2k x 8, como indicado nos manuais ou nos circuitos.

São então 2048 posições de memória que podem ser acessadas por 11 linhas de endereços (address lines), conforme mostra a pinagem com a tabela de informações da figura 159.

Radiação UV

A radiação ultravioleta das lâmpadas de baile ou luz negra, como são também chamadas, é do tipo “soft” não tão penetrante quanto a radiação ultravioleta mais penetrante e perigosa, que é usada nos apagadores e EPROMs.

Pin Number	Description
1	A7 - Address Input
2	A6 - Address Input
3	A5 - Address Input
4	A4 - Address Input
5	A3 - Address Input
6	A2 - Address Input
7	A1 - Address Input
8	A0 - Address Input
9	Q0 - Data Input
10	Q1 - Data Input
11	Q2 - Data Input
12	Vss - Ground
13	Q3 - Data Input
14	Q4 - Data Input
15	Q5 - Data Input
16	Q6 - Data Input
17	Q7 - Data Input
18	EP - Enable Programming
19	A10 - Address Input
20	G - Output Enable
21	Vpp - Program Supply
22	A9 - Address Input
23	A8 - Address Input
24	Vcc - Positive Power Supply

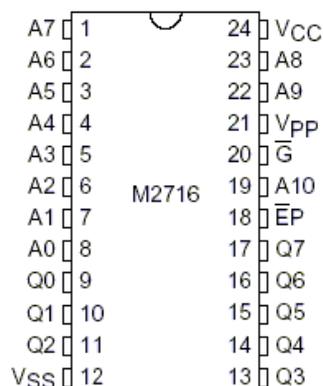


Figura 159 – pinagem da memória 2716

Esta memória tem saídas tri-state, devendo ser alimentada por uma tensão de 5 V. As linhas A0 a A10 são as linhas de endereço, devendo as entradas G e EP ser colocadas no nível 0 para se ter acessos aos dados na saída.

As entradas e saídas desta memória são compatíveis com tecnologia TTL e ela pode ser encontrada em diversas versões com sufixos

diferentes que indicam o tempo de acesso. Os tempos de acesso que podem variar entre 350 ns e 650 ns são parâmetros importantes ao se trabalhar com uma memória.

Eles indicam quanto tempo precisamos para transferir uma informação para a memória e quanto tempo precisamos para ler esta informação, sendo expressos em nanossegundos;

Outra memória desta família é a 2764 que tem 8 k linhas de 8 bits, conforme pinagem e tabela mostradas na figura 160.

Pin Number	Description
1	Vpp - Program Supply
2	A12 - Address Input
3	A7 - Address Input
4	A6 - Address Input
5	A5 - Address Input
6	A4 - Address Input
7	A3 - Address Input
8	A2 - Address Input
9	A1 - Address Input
10	A0 - Address Input
11	Q0 - Data Input
12	Q1 - Data Input
13	Q2 - Data Input
14	Vss - Ground
15	Q3 - Data Input
16	Q4 - Data Input
17	Q5 - Data Input
18	Q6 - Data Input
19	Q7 - Data Input
20	E - Chip Enable
21	A10 - Address Input
22	G - Output Enable
23	A11 - Address Input
24	A9 - Address Input
25	A8 - Address Input
26	NC - Not Connected
27	P - Program
28	Vcc - Positive Power Supply

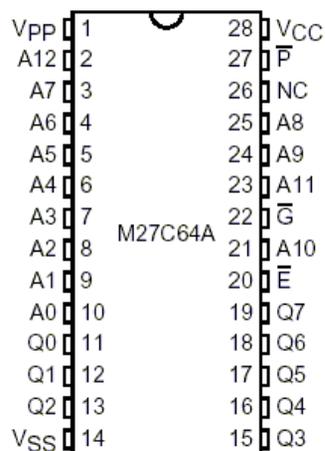


Figura 160 – Pinagem da 2764

Conforme podemos ver, precisamos de 13 pinos de endereçamento (A0 a A12) para acessar todas as linhas disponíveis e temos 8 pinos de dados para endereçar os dados que devem ser gravados e depois acessá-los.

Neste caso também temos diversos controles externos para programar ou ler, ou ainda habilitar o chip e os tempos de acesso ou programação são dados por sufixos. A saída também é tri-state compatível com tecnologia TTL.

13.2.5 - EEPROM

O que temos é a abreviação de Electrically Erasable/Programable Read-Only Memory ou Memória somente de leitura apagável e programável eletricamente.

Estas memórias encontram cada vez maior quantidade de usos em circuitos digitais, e em muitos casos elas estão incluídas em outros chips como, por exemplo, de microcontroladores e microprocessadores.

Desta forma, muitos dispositivos que usam chips com estas memórias não necessitam de memórias externas para gravação de dados que devem permanecer mesmo depois que eles sejam desligados.

Microcontroladores, por exemplo, usados no controle de máquinas e muitos outros tipos de automação, incluem estas memórias onde um programa que determinam o que deve ser feito, mais dados, já estão gravados numa EEPROM interna.

Para programar esta memória basta usar sinais elétricos do próprio circuito, como no caso de uma RAM, e para apagar estas informações, basta aplicar um sinal elétrico de determinadas características.

Além disso, trata-se de uma memória não volátil, ou seja, uma memória que mantém as informações mesmo depois que sua alimentação seja desligada. Na figura 161 temos um exemplo de EEPROM.

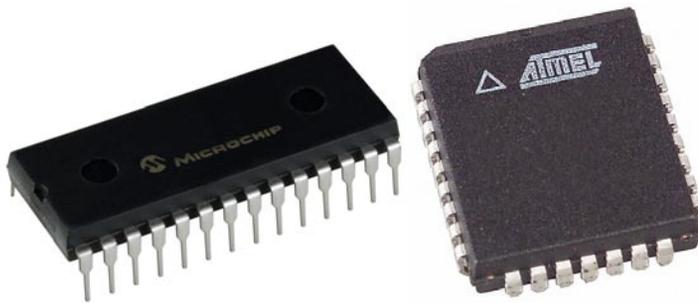


Figura 161 – Dois exemplos de chips de EEPROM

Devemos ainda observar que à medida que a capacidade de armazenamento aumenta, o número de pinos também, o que pode tornar o chip muito grande, o que é um inconveniente para certas aplicações.

Assim, também existem memória deste tipo em que a gravação e a leitura podem ser feitas da forma serial, ou seja, utilizando-se apenas um pino. Conforme estudamos em itens anteriores, são usados shift registers para aplicar a informação serialmente, e depois para fazer sua leitura.

Na figura 162, temos exemplo uma memória deste tipo.



Figura 162 – EEPROM de 4k com acesso serial

13.3 - Os Conversores A/D

Equipamentos digitais, microcontroladores, controles industriais, computadores e muitos circuitos que processam dados obtidos de sensores operam exclusivamente com sinais digitais. Assim, se na saída de um sensor tivermos um sinal analógico e precisarmos transferir este sinal para um circuito digital, como de um computador será preciso “convertê-lo”.

Para converter um sinal da forma analógica para a forma digital, usamos uma configuração denominada conversor analógico/digital, ADC ou simplesmente conversor A/D. Estes conversores são largamente usados em placas de aquisição de dados e controle que interfacem computadores com dispositivos de medida.

Nos laboratórios, por exemplo, é possível usar um conversor deste tipo num sistema de aquisição de dados para converter as indicações de um sensor de temperatura, numa forma digital que o com-

Outras tecnologias

Atualmente estão em estudos diversas outras tecnologias para armazenamento de dados, como as que fazem uso de bolhas magnéticas, dispositivos plasmônicos e muitos outros, mas ainda não estão acessíveis ao público.

putador possa processar, e tomar decisões no sentido de ativar circuitos externos, ou simplesmente armazenar as temperaturas em horários programados na memória, conforme sugere a figura 163.

NTC

Sugerimos voltar ao Curso de Eletrônica Volume 1 - Eletrônica Básica se tiver dúvidas sobre o princípio de funcionamento dos NTCs

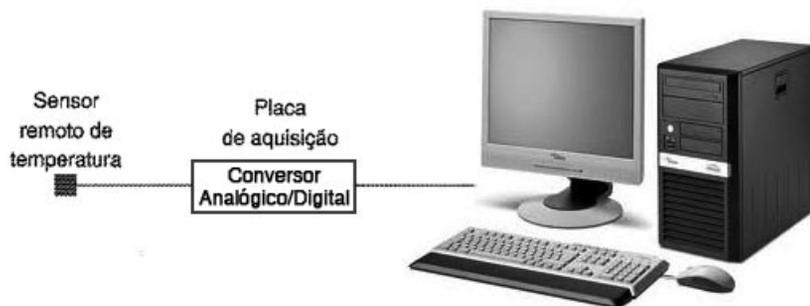


Figura 163 – Exemplo de aplicação para um conversor A/D

Para entender como funcionam os conversores analógicos/digitais ou analógicos-para-digitais precisamos, em primeiro lugar, entender as diferenças entre os dois tipos de grandezas.

Se usarmos um sensor, como um NTC (Negative Temperature Coefficient Resistor), para medir temperaturas, temos um sinal analógico em sua saída, ou seja, uma tensão análoga a uma determinada temperatura. Neste sensor, conforme mostra o gráfico da figura 164, temos uma correspondência direta entre a temperatura e a resistência apresentada.

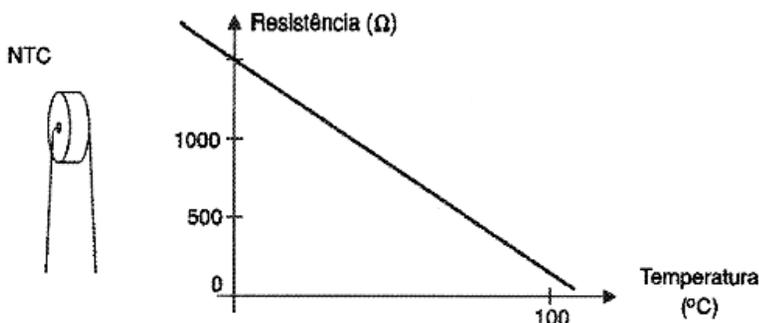


Figura 164 – Curva de um NTC em função da temperatura

Na faixa de uso do sensor, existe uma correspondência dentro de uma faixa contínua de valores entre a resistência e a temperatura. Assim, para cada valor possível da temperatura existe uma correspondência da resistência que o dispositivo apresenta. Não importa quão pequena seja a variação da temperatura que ocorra a partir de um valor, teremos sempre uma variação correspondente da resistência.

Isso significa que, entre os dois extremos de temperatura em que este sensor pode ser usado, existem infinitos valores possíveis. Dizemos, nestas condições, que a faixa de cobertura deste tipo de sensor é contínua e que existe uma analogia entre a temperatura e a resistência.

Trata-se, portanto, de um sensor que fornece uma saída analógica.

Podemos converter esta saída de resistência em outras grandezas que também possam variar de maneira contínua, como pressão, nível de um reservatório, etc., em outras grandezas elétricas que possam variar também em faixas contínuas como a tensão e a corrente.

Podemos perfeitamente fazer com que a tensão varie de modo contínuo entre dois valores, entre os quais este sensor deve operar, conforme mostra a figura 165.

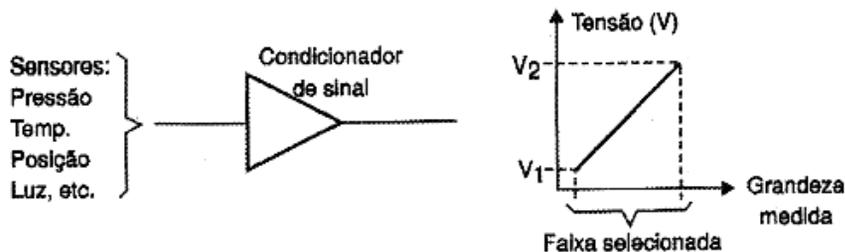


Figura 165 – Variação da tensão numa faixa da grandeza medida

Evidentemente, nem sempre as coisas são assim simples: vamos supor que em lugar de convertermos a temperatura em resistência, desejemos fazer sua indicação por uma escala de LEDs, conforme mostra a figura 166.

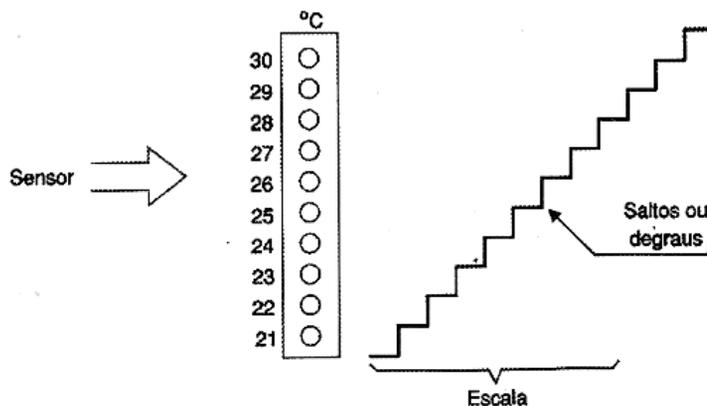


Figura 166- A escala em valores discretos formando uma escada

Se cada LED indicar um grau, e tivermos 10 LEDs para medir as temperaturas de 20 a 30 graus centígrados, é evidente que não podemos ter uma indicação de valores de temperaturas que não sejam representados por números inteiros. O sistema não consegue indicar 22,4 ou 22,6 graus centígrados. Ou ele indica 22 ou 23.

Se quisermos ter maior precisão na indicação com este tipo de indicador, precisamos de mais LEDs. Com 20 LEDs podemos ter a indicação de meio em meio grau na escala indicada. No entanto, o que fica claro é que, com este sistema, as indicações só podem ocorrer “aos saltos”, e que estes saltos têm valores bem definidos.

Dizemos que, neste caso, a indicação ocorre de uma forma discreta e os LEDs acesos podem ser associados quantidades bem definidas ou dígitos. Assim, se vamos usar uma representação digital na forma binária, podemos associar os 10 estados indicativos dos LEDs por uma escala de 10 LEDs.

Como temos 10 estados possíveis para os LEDs, quatro bits são suficientes para representá-los todos. No entanto, se precisarmos de uma definição maior para as indicações, por exemplo, com 20 LEDs e indicação de meio em meio grau precisaremos de pelo menos 5 bits.

Na prática, as indicações que fazem a cobertura de uma escala com poucos pontos não é interessante, pois não significam uma boa precisão. Quanto mais pontos possuir a “escada” de indicações, melhor será a precisão na conversão da grandeza, por exemplo, a resistência de um sensor.

O circuito que faz este tipo de conversão é um conversor A/D ou um conversor analógico digital. Um bargraph como os usados em aparelhos de som pode ser considerado um conversor A/D simplificado.

Tanto melhor será o conversor A/D quanto mais bits de saída ele tiver.

Um conversor A/D que tenha uma saída de 4 bits tem 16 “degraus” de indicação, ou pode definir uma escala de 16 valores diferentes. Já, um indicador de 8 bits de saída, pode definir uma escala com 256 valores diferentes, um de 12 bits pode definir uma escala de 4096 pontos e um de 16 bits pode definir uma escala de 65 536 pontos, conforme mostra a figura 167.

Conversor de dados ADCD - na forma de CIs

Na figura abaixo temos um exemplo de conversor A/D ou ADC disponível na forma de circuito integrado. Na foto um ADC de 12 bits da Analog Devices, recomendado para o uso de controle de motores.

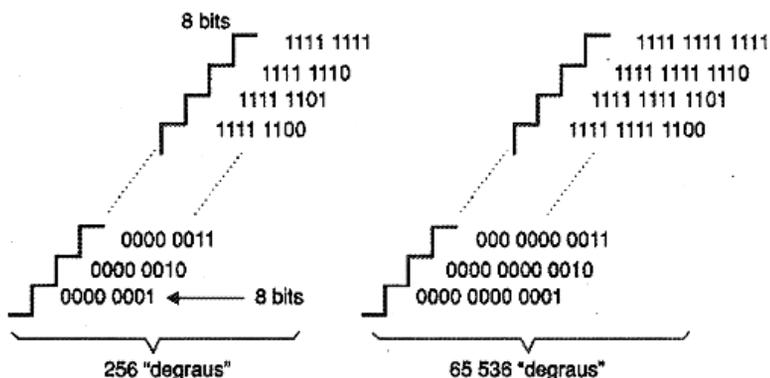


Figura 167 – Mais bits significam maior definição e, portanto, precisão na escala

Veja então que para um conversor A/D que possa definir 256 valores diferentes numa escala de medidas tem uma precisão melhor que 0,4% e com 4096 valores diferentes numa escala de medidas temos uma precisão melhor que 0,024%.

Os conversores A/D existentes no mercado possuem justamente essas características.

13.3.1 – Os Conversores na Prática

Evidentemente, a escala de LEDs não corresponde ao que desejamos na prática para um conversor. Para 10 LEDs teremos uma saída para cada LED que farão seu acionamento direto. No entanto, não podemos ter 4096 saídas num conversor que trabalhe com uma escala de 16 bits.

Será melhor termos acesso direto aos bits e com isso dotar o circuito de 16 saídas. Na figura 168 temos um exemplo de como isso pode ser feito.

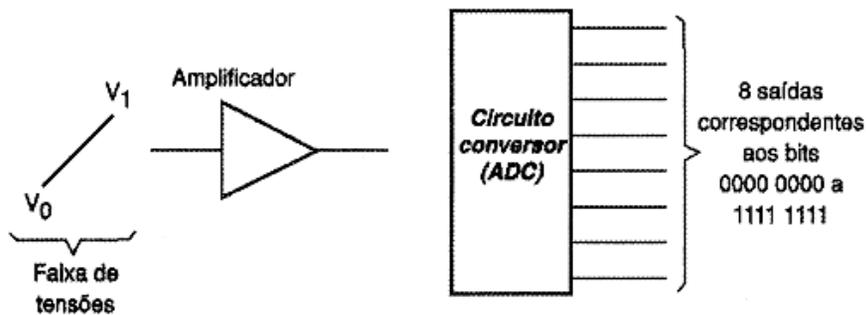


Figura 168 – O ADC de 8 saídas digitais

O circuito conta então com uma entrada em que aplicamos o sinal analógico, sendo especificada normalmente uma faixa de tensões para a conversão. Por exemplo, se o circuito converte sinais na faixa de 0 a 1 Volt, devemos cuidar para que o sensor usado (ou a fonte de informação analógica) trabalhe nesta faixa.

Um amplificador operacional pode ter seu ganho programado para fazer justamente isso. As saídas consistem, então, em 16 pinos nos quais os níveis lógicos 0 ou 1 são obtidos conforme a tensão de entrada.

Para a maioria dos tipos de conversores A/D existentes no mercado, estas saídas são compatíveis com tecnologia TTL (nível alto com 5V e nível baixo com 0V) podendo ser conectadas diretamente na porta I/O de um computador, conforme mostra a figura 169, ou ainda CMOS onde os 5 V de nível alto também pode ser usado sem problemas.

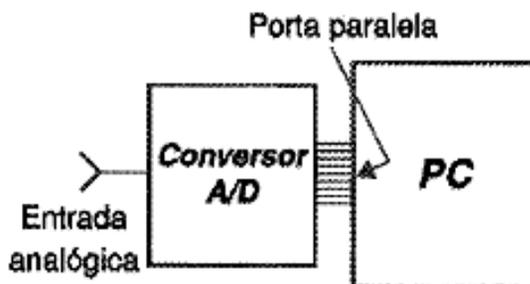


Figura 169 – Interfaceando um ADC ou conversor A/D com um PC

4-20 mA

Um tipo de especificação de entrada muito usada é a 4-20 mA usada na indústria no interfaceamento de máquinas. Sensores que fornecem uma faixa de corrente de saídas são menos afetados pelo comprimento do fio até o circuito de processamento. Assim, eles trabalham numa faixa de correntes de 4 a 20 mA, que deve então ser convertida para a forma digital.

Basta então programar o computador para “ler” os valores da porta no instante desejado, e fazer a conversão para a escala desejada. Por exemplo, se a faixa de entrada que corresponde à temperaturas de 0 a 30 graus centígrados e, que por sua vez levam à tensões na entrada do conversor de 0 a 1 Volt, o conversor vai gerar na sua saída valores digitais entre 0 e 4096 (se for de 12 bits).

O computador deve então ser programado para dividir a escala de 0 a 30 graus centígrados em 4096 valores (cada unidade lida corresponderá a 0,00732 graus).

O valor 010010010010 (binário) lido na entrada I/O ou saída do conversor que corresponde 1070 (decimal), é equivalente a uma temperatura de 8,5644 graus centígrados.

13.3.2 – Quantização

Os valores instantâneos da tensão do sinal de entrada, que são obtidos na saída do circuito de amostragem e retenção, precisam ser convertidos para a forma digital. Esse processo recebe o nome de “quantização”.

Os DSPs (Processadores Digitais de Sinais – que estudaremos no próximo capítulo) processam os sinais analógicos convertidos para a forma digital fazendo uso desse processo. O que um DSP pode fazer com o sinal dependerá justamente da precisão com que a quantização é feita.

A representação dos valores instantâneos amostrados pelos circuitos anteriores depende do nível de quantização realizado, ou seja, quantos bits são usados para representar cada valor amostrado.

Assim, conforme vimos, se usamos 2 bits teremos uma precisão menor do que se usarmos 4 bits para fazer a quantização, conforme mostra a figura 170.

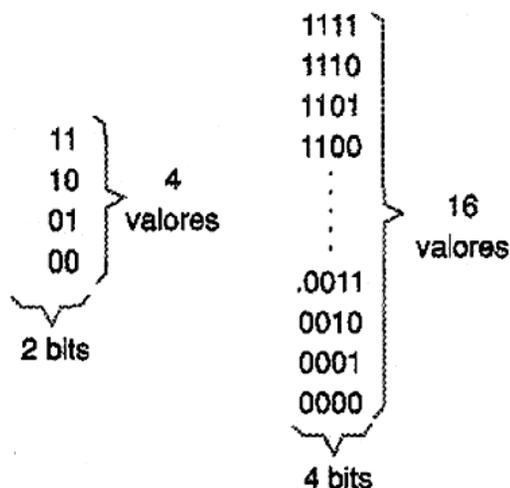


Figura 170 – A precisão depende da quantização

Comparando, em cada caso, os níveis quantizados nos dois exemplos, podemos perceber facilmente os erros introduzidos no processo, conforme mostra a figura 171.

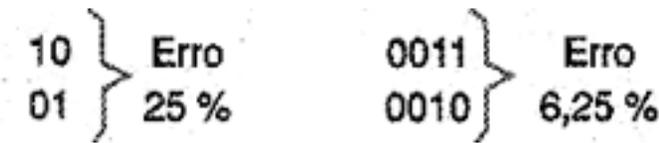


Figura 171 – Porcentagem de erro introduzida com 2 e 4 bits

Nos exemplos que demos, os níveis de quantização foram muito baixos, aparecendo então grandes erros. Na prática, os DSPs usam níveis de quantização de 10 ou 12 bits e até mais, obtendo-se com isso um erro desprezível.

Lembramos que esta é uma das desvantagens de se operar com sinais na forma digital, pois a sua representação só pode ser feita em “degraus” cuja altura vai determinar o grau de precisão. Quanto maior o número de degraus que pode ser usado, maior é a precisão no valor analógico que é representado

13.3.3 – Os circuitos do Conversores A/D ou ADC

Para fazer uma conversão A/D como na escala de LEDs podemos ter circuitos relativamente simples. Uma simples escala de comparadores que tenham tensões de referência diferentes pode ser usada conforme mostra a figura 172.

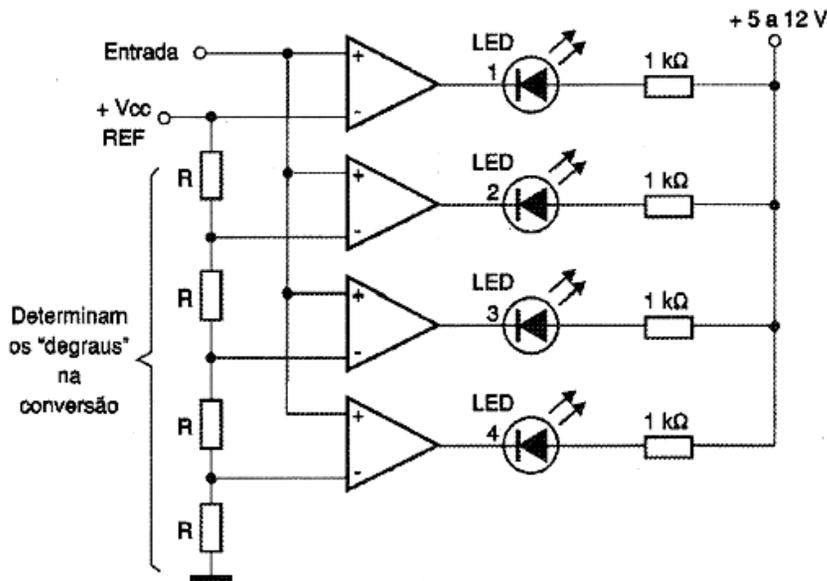


Figura 172 – Um ADC de 4 LEDs usando comparadores de tensão

Cada vez que a tensão de entrada atinge o nível de disparo de um dos comparadores do conjunto, ele comuta, passando a acionar o LED correspondente ou mudando o nível lógico de sua saída.

Processamento de voz
Os DSPs convertem sons (voz e música) em sinais digitais para gravação em CDs, computadores, MP3, etc. Na prática, quando o DSP trabalha com o processamento de voz, os efeitos dos erros na quantização são mais sensíveis havendo então modos de correção que são adotados para se evitar isso, por exemplo, o uso da compressão que compensa os efeitos da largura constante dos passos usados na quantização, fazendo com que os sons mais altos de certas vogais e consoantes sejam trabalhados de uma forma mais real.

Este tipo é seqüencial com um comportamento que não é muito interessante nas aplicações mais críticas: cada vez que um comparador comuta porque seu nível de acionamento é atingido, o anterior que estava comutado não volta ao estado inicial.

Com um circuito mais sofisticado podemos obter esta comutação e assim passar de um sistema de barra móvel para ponto móvel, conforme mostra a figura 173.

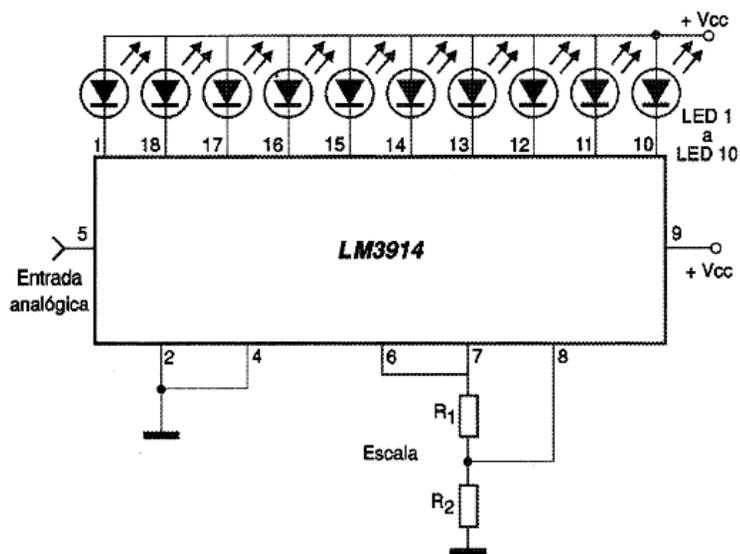


Figura 173 – Um conversor A/D tipo ponto móvel com circuito integrado

Mas, para as aplicações que envolvem a aquisição de dados, este tipo de conversor não atende às necessidades mais críticas: precisamos converter os níveis em indicações em decimal codificado em binário, binário puro, ou mesmo hexadecimal, para obter maior definição possível e compatibilizar o circuito com a tecnologia digital mais comum.

Isso pode ser feito com ajuda de circuitos mais complexos, que além dos comparadores envolvem configurações lógicas e também outros circuitos que facilitem seu uso.

Para entender melhor como funcionam estes circuitos devemos começar como o modo como a amostragem do sinal deve ser feita que é um bloco comum a todos os conversores que é o circuito de amostragem e retenção (sample and hold):

13.3.4 - O circuito de captura e retenção ou “sample and hold”:

O valor dos sinais analógicos que devem ser convertidos para a forma digital, corresponde a um determinado instante cuja duração, em alguns casos não vai além de alguns milionésimos de segundo.

Assim, um primeiro bloco importante do conversor é um circuito que lê o valor do sinal a ser convertido num determinado instante, e o armazena.

Com isso, mesmo que o sinal varie depois, os circuitos que fazem a conversão têm numa memória seu valor. Esse circuito é mostrado em blocos na figura 174.

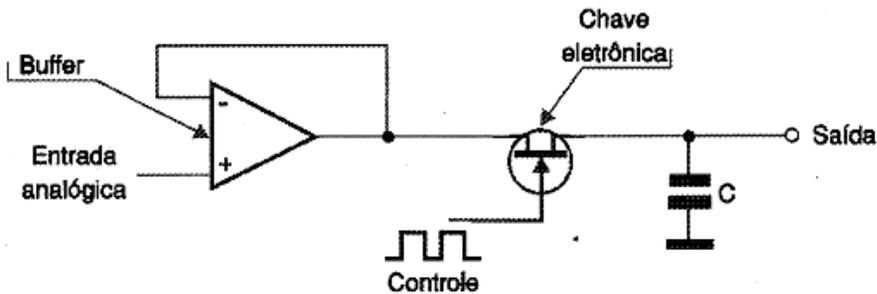


Figura 174 – O circuito de amostragem e retenção

O sinal a ser amostrado é amplificado por um buffer de entrada, cuja finalidade é não carregar o circuito externo e, ao mesmo tempo, proporcionar isolamento do circuito de conversão.

Na saída desse circuito temos uma chave eletrônica, ou chaveador, que determina o instante exato em que a leitura do sinal deve ser feita. A chave fecha por uma fração de segundo (numa frequência que depende da velocidade de amostragem), permitindo que o sinal carregue o capacitor C.

Assim, quando a chave abre, esperando a leitura seguinte, o capacitor tem armazenado o valor da grandeza analógica a ser convertida. Esta tensão no capacitor é mantida no circuito conversor através de um buffer de saída, durante o tempo que ele necessita para isso.

Na figura 175 mostramos um gráfico onde representamos o modo como a tensão de entrada varia, e o circuito de amostragem e retenção mantém a saída constante, durante os intervalos de conversão (que correspondem aos “degraus”).

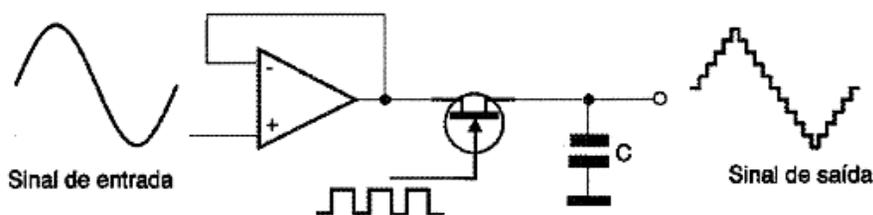


Figura 175 – A amostragem de um sinal senoidal

Para fazer a amostragem e retenção de um sinal, para depois termos sua conversão para a forma digital existem diversos sistemas. Estudaremos a partir de agora os principais sistemas.

13.3.5 – Os sistemas de conversão

a) Sistema de conversão simultânea

O sistema de conversão simultânea (que é o mais simples) tem a configuração mostrada na figura 176.

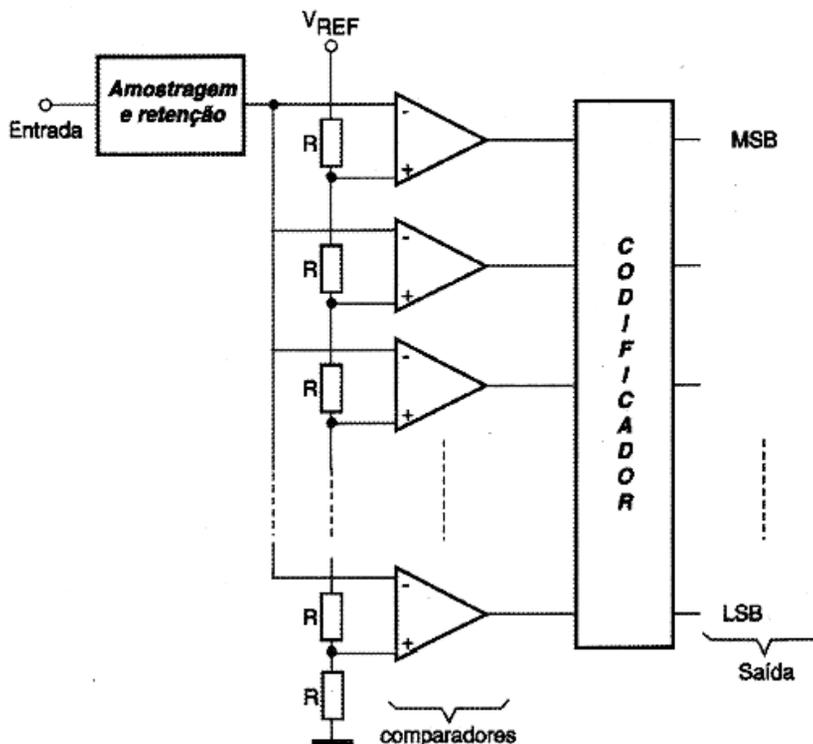


Figura 176 – O sistema de conversão simultânea

Nesse circuito, temos uma escala de 8 valores possíveis de saída, o que pode ser coberto por um sistema de 3 bits. Trata-se, portanto, de um conversor A/D de 3 bits.

Os comparadores possuem em suas entradas de referência tensões escalonadas que determinam o instante em que eles devem comutar. Assim, para 8 níveis de acionamento, temos 7 tensões escalonadas de $1/8$ a $8/8$ de V_{cc} , que é a máxima tensão que o circuito pode medir em sua entrada.

Evidentemente, este tipo de circuito está seriamente limitado pela quantidade de comparadores que podemos usar. Para um sistema de 16 bits, por exemplo, seriam necessários 4095 comparadores!

Voltando ao circuito, os níveis lógicos obtidos nas saídas dos comparadores são sequenciais, conforme vimos. Para se obter uma saída codificada em binário, precisamos usar uma matriz codificadora.

Esta matriz pode ser elaborada nesta configuração mais simples a partir de inversores, portas AND e portas OR. Obtemos, com isso, na sua saída sinais que correspondem aos 8 níveis de tensão possíveis, a saber:

000
001
010
011
100
101
110
111

Neste circuito temos um sistema adicional de RESET e porta de leitura (READ). A porta de leitura é interessante, pois ela permite transferir os dados digitais ao circuito externo somente no instante que desejarmos. Assim, podemos dar tempo ao circuito para se estabilizar.

Isso pode ser importante se usarmos sensores rápidos, impedindo que, na saída, os valores oscilem rapidamente, o que causaria uma interpretação errática do computador ou microprocessador onde ele está ligado.

Aplicando nessa entrada (READ) um pulso de curta duração, lemos o valor digitalizado naquele instante. No circuito indicado, este valor é armazenado em um registrador formado por um conjunto de flip-flops.

Assim, este valor se fixa na entrada e pode manter acionado, por exemplo, um indicador. Para a leitura seguinte, o valor armazenado no registrador precisa ser apagado antes de ser feita nova leitura. Isso é conseguido por meio de um pulso de RESET.

b) Circuito de Conversão Por Contador

Na figura 177 temos um diagrama de blocos de um conversor que usa esta técnica.

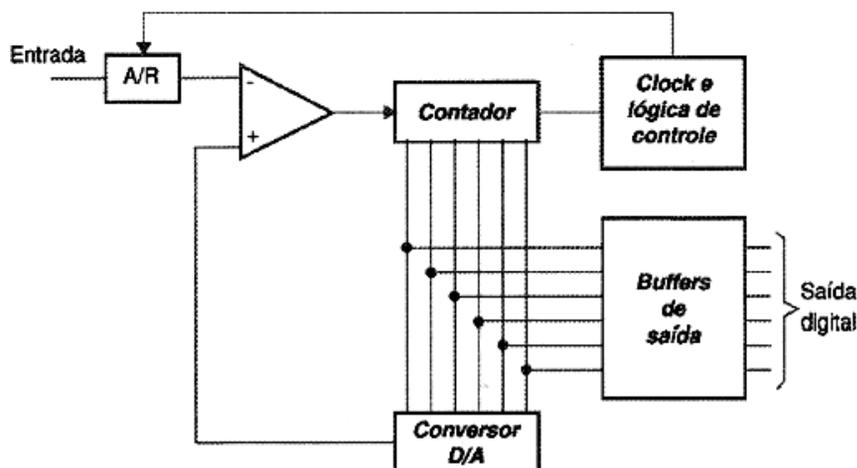


Figura 177 – Um conversor por contador

Destaca-se neste circuito o comparador único que tem duas entradas. Numa entrada é aplicado o sinal que vai ser medido (uma tensão dentro de uma determinada faixa de valores). Na outra entrada aplicamos um sinal que é produzido por um gerador especial denominado “gerador de escada”.

Esse sinal consiste numa tensão que sobe “aos saltos”, com tantos degraus quanto sejam necessários à saída digital. Por exemplo, num conversor de 8 bits, esse sinal consiste em 256 “degraus” iguais de tensão.

Um sinal deste tipo pode ser gerado facilmente por um oscilador de clock que aplica seu sinal a um contador ligado a uma rede R/2R, conforme mostra a figura 178.

Gerador de escada

Na seção “Circuitos Simulados” no site do autor, o leitor poderá encontrar a simulação de um gerador de escada, visualizada no Multisim.

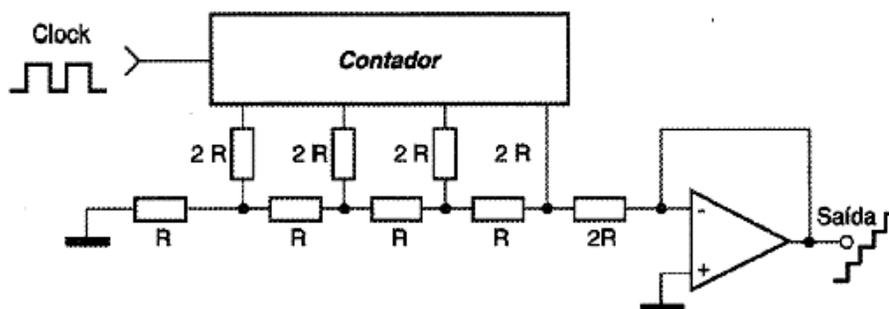


Figura 178 – O gerador de escada

Observamos que o clock deste circuito é habilitado pelo próprio circuito comparador. Assim, supondo que exista uma certa tensão na entrada, e a conversão é habilitada, o oscilador de clock entra imediatamente em funcionamento. Supondo que o contador esteja zerado, começa então a produção da “escada” de tensão que passa a ser aplicada ao comparador.

No instante exato em que a escada gera um degrau que se iguala à tensão de entrada, o comparador comuta. O resultado disso é a parada do clock e, portanto, da contagem. Neste instante o contador terá registrado o número de degraus contados, ou seja, ele saberá em que valor binário ocorreu a comutação.

Basta então transferir este valor para o circuito externo, o que pode ser feito da mesma forma que no processo anterior através de um registrador. Para nova conversão, o que pode ser feito uma fração de segundo depois, ou quanto tempo for necessário, basta reresetar o contador e reabilitar o clock.

c) Conversor de aproximações sucessivas

Na figura 179 temos um diagrama de blocos que representa este tipo de conversor e por onde faremos a análise de seu funcionamento.

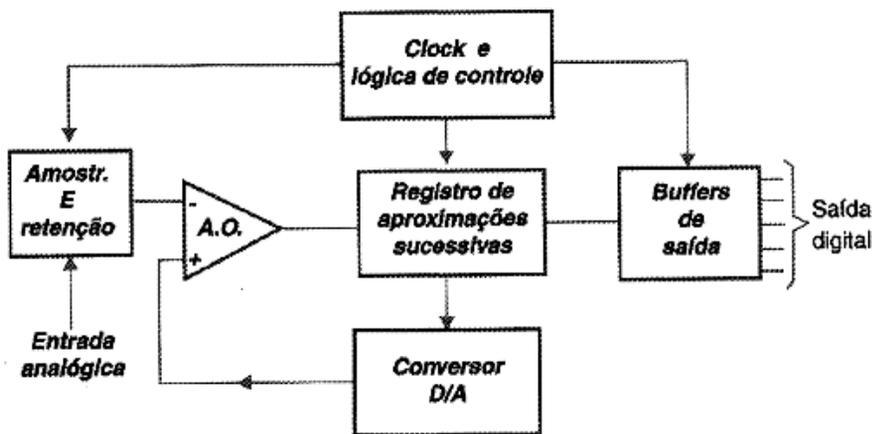


Figura 179 – O conversor de aproximações sucessivas

Conforme podemos observar, o que diferencia este circuito do anterior é a troca do contador por um registrador de aproximações sucessivas, que o torna muito mais rápido, não só reduzindo os tempos de conversão, mas uniformizando-os, ou seja, tornando-os iguais independentemente do ponto da escala em que o sinal de entrada se encontre.

O sinal aplicado a entrada é retido pelo circuito de amostragem e retenção, ligado à entrada do comparador e, ao mesmo tempo, dispara o circuito de clock do setor de conversão digital.

Ao iniciar a conversão, o registrador de aproximações sucessivas começa colocando a 1 o bit mais significativo (MSB) da saída, aplicando este sinal no conversor D/A. Se, com este procedimento, a tensão aplicada pelo conversor D/A à entrada de referência do comparador for maior que a de entrada, isso será sinal de que o valor que este bit representa é maior que o que se deseja converter.

O comparador informa isso ao registro de aproximações, que então volta o MSB a zero e coloca o bit que o segue imediatamente a 1. Uma nova comparação é feita. Se agora o valor da tensão for menor que a de entrada, este bit é mantido, testando-se o seguinte, colocando a 1. Se novamente o valor for ultrapassado, o comparador informa isso ao registro e o bit volta a zero, passando o seguinte a 1 que é testado.

Quando todos os bits forem testados, teremos na saída do registro um valor binário muito próximo do desejado, dependendo da resolução do circuito. Testando todos os bits desta forma, a conversão se torna muito rápida, já que não será preciso esperar a contagem até o final, conforme mostra o gráfico da figura 180.

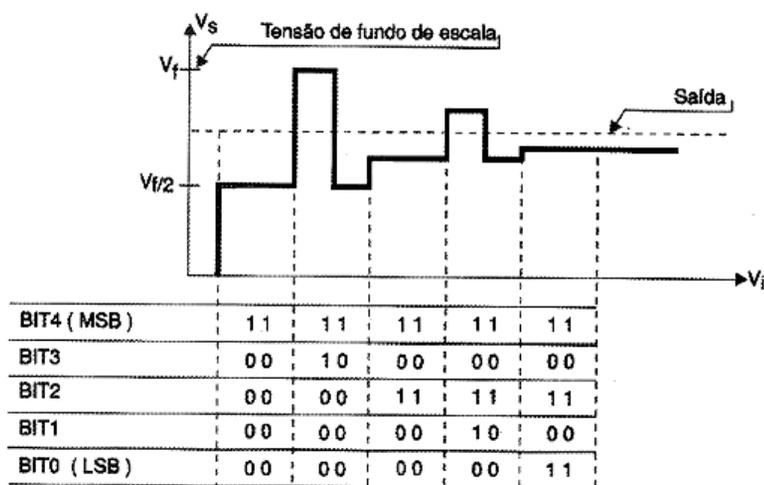


Figura 180 – Neste processo, o valor da saída converge para o valor desejado

Veja que, enquanto num conversor de 8 bits pelo método de rampa em escala é preciso esperar a contagem até 256, neste conversor é preciso esperar que apenas 8 testes e comparações sejam feitos. O circuito equivalente é portanto 32 vezes mais rápido.

d) Conversores de Rampa Única

Este tipo de conversor se enquadra numa nova categoria formada pelos que utilizam integradores, sendo mais simples que os anteriores, pois não precisam de conversores D/A. Os voltímetros digitais, em sua maioria, utilizam circuitos deste tipo.

Na figura 181 temos um diagrama de blocos que corresponde a um conversor deste tipo, e que serve de referência para nossa análise de funcionamento.

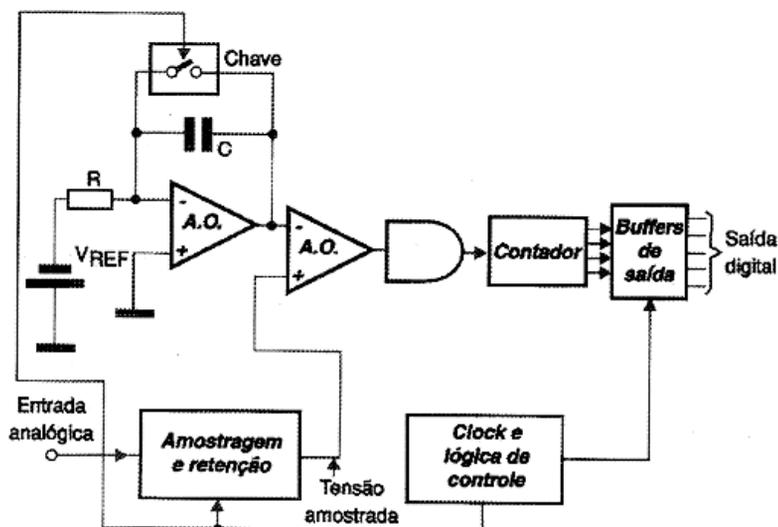


Figura 181 – Diagrama de blocos de um conversor de rampa única

O sinal analógico retido do circuito de amostragem e retenção também controla um interruptor que aciona um integrador. A tensão do integrador e a tensão amostrada são aplicadas, ao mesmo tempo, no comparador.

No instante em que tudo isso ocorre, um contador entra em funcionamento, produzindo uma saída digital progressiva.

O integrador está ligado a uma fonte de tensão de referência de tal forma que, a tensão em sua saída sobe linearmente até se igualar a tensão amostrada. No instante em que isso ocorre pára a contagem.

A velocidade de subida da tensão na saída do integrador determina a taxa de conversão, juntamente com a contagem. Faz-se com que na faixa de operação do integrador, esta tensão suba linearmente, e a frequência do clock contada pelo contador corresponda digitalmente aos valores da grandeza a ser convertida.

Por exemplo, se temos um contador de 8 bits (até 256), faz-se com que a tensão do integrador suba, de um extremo a outro da escala de tensões analógicas de entrada, num tempo que corresponda a 256 ciclos de clock.

Quando a contagem é paralisada, ao se obter o valor digital, este pode ser aplicado à saída do circuito. Na figura 182 temos as formas de onda deste circuito.

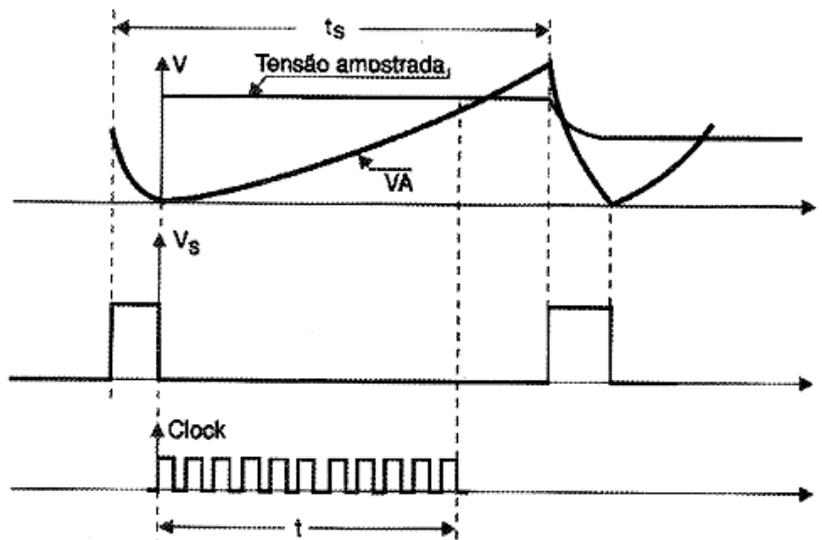


Figura 182 – Funcionamento de um conversor de rampa única

e) Conversores de Rampa Dupla

Um tipo que tem um desempenho melhor que o anterior é o conversor de rampa dupla, cujo diagrama de blocos é mostrado na figura 183.

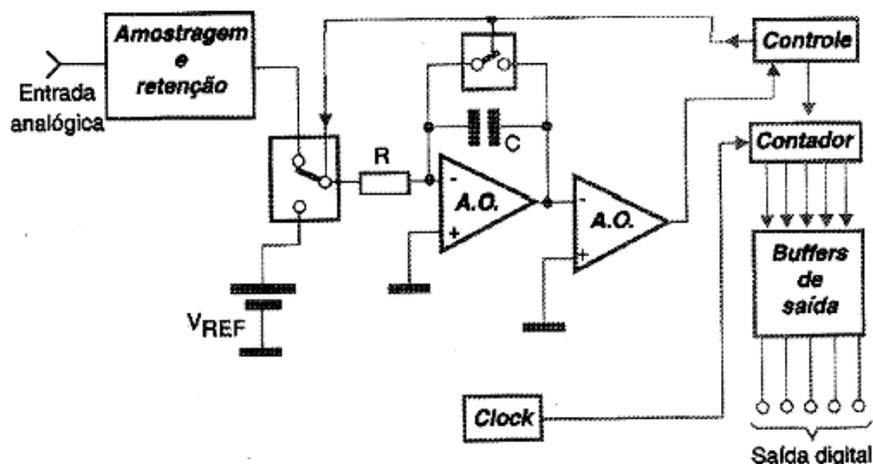


Figura 183 – O conversor de rampa dupla

Nesse circuito, o sinal amostrado e o sinal de uma fonte de referência são chaveados pelo clock de controle, sendo então aplicados à entrada de um circuito integrador.

A rampa gerada pelo sinal da entrada é negativa, enquanto que a rampa gerada pelo sinal de referência é positiva. Como as duas são chaveadas, a rampa final tem uma inclinação que depende das duas. Como uma é fixa, e a outra corresponde ao sinal de entrada, pode-se usar o sinal de saída para chavear o contador. A partir do contador o funcionamento é como no tipo anterior.

f) Sigma -Delta

Este tipo de conversor foi criado em 1962, mas somente usado em maior escala com os progressos obtidos com as tecnologias VLSI.

A principal vantagem deste tipo de conversor é a sua operação, na maior parte do circuito, feita da forma digital. É justamente por essas características, além de outras vantagens, que se torna possível sua integração fácil na mesma pastilha dos DSPs.

Outra vantagem que deve ser ressaltada neste tipo de conversor é que ele trabalha com um ADC com quantização de apenas 1 bit, operando numa frequência mais alta que o limite de Nyquist, seguindo-se uma decimação no domínio digital que abaixa a frequência de saída, aumentando assim a precisão.

Como este tipo de conversor é mais importante para as aplicações que envolvem DSPs, componente de vital importância na eletrônica moderna, dedicaremos um pouco mais de espaço para explicar seu princípio de funcionamento. Os ADCs do tipo sigma-delta operam baseados num método que é empregado principalmente na modulação de sinais em amplitude denominado “modulação delta”.

Nele, o que se faz, não é converter os valores absolutos amostrados, mas sim as variações de valores entre as amostragens sucessivas. Na figura 184 representamos isso de uma forma simples.

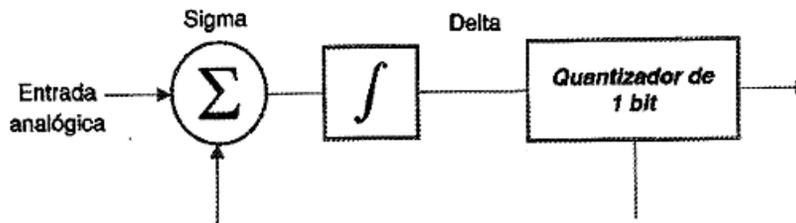


Figura 184 – O conversor A/D do tipo sigma-delta

Um integrador é usado para esta finalidade, e como este tipo de circuito é linear, sua implementação é simples. Veja então que, para um sinal senoidal amostrado em (a), temos apenas a quantização das variações, o que nos leva à representação de um bit apenas em (b) e, além disso, permite chegar a reprodução do sinal em (c). O nome sigma-delta vem do sinal de soma (sigma) seguido do modulador delta.

Para se chegar ao ADC sigma-delta completo, agregamos um ADC e um DAC de 1 bit e um filtro de decimação, conforme mostra o diagrama de blocos da figura 185.

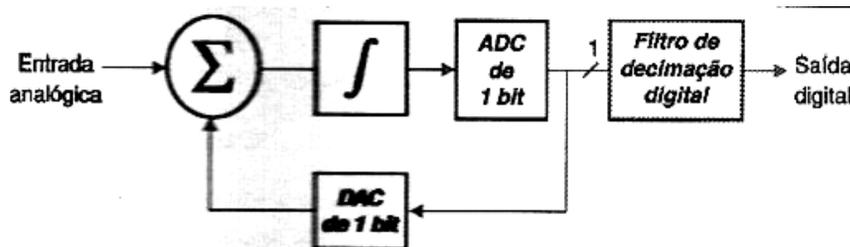


Figura 185 – ADC Sigma-Delta

A finalidade do filtro de decimação é diminuir a frequência com que os valores digitais são produzidos.

Um ponto muito importante a ser considerado neste tipo de filtro é que eles podem ser implementados pelos próprios DSPs.

Encontramos, na prática, muitos circuitos integrados que fazem as operações que indicamos e que possuem as mais diversas características.

Assim, na procura de um conversor A/D para uma determinada aplicação, devemos analisar as seguintes especificações:

a) número de saídas ou bits

Conforme já vimos, este número é importante pois determina a resolução na conversão A/D. Valores entre 4 e 24 bits são comuns no mercado, havendo até casos especiais em que mais saídas podem ser obtidas.

Com a disponibilidade de microprocessadores de 32 bits e 64 bits, é possível contar com conversores compatíveis.

Conforme já vimos, um conversor de 8 bits pode ser suficiente para aplicações comuns e mesmo industriais menos críticas, contando

DSP

Digital Signal Processor ou Processador Digital de Sinais - trata-se de um circuito que converte sinais analógicos para a forma digital para poder processá-los na forma numérica. Depois de feito o processamento destes sinais, eles podem novamente ser convertidos para a forma analógica e então utilizados. Um exemplo de aplicação está nos telefones celulares, onde a voz (analógica) é convertida para forma digital e transmitida, depois de um processamento que comprime os dados correspondentes. No receptor, os dados na forma digital são processados e novamente convertidos para a forma analógica onde ocorre a reprodução. Estudaremos os DSPs no próximo capítulo.

Critério de Nyquist

A velocidade com que fazemos a amostragem determina a frequência máxima do sinal que pode ser amostrado. Não podemos fazer uma amostragem de um sinal numa velocidade menor do que duas vezes a frequência deste sinal. Este é o critério de Nyquist, que deve ser adotado quando escolhemos a velocidade máxima de um conversor A/D em função da frequência do sinal que deve ser convertido para a forma digital.



Harry Nyquist (1889 - 1976)
 – Engenheiro da Bell Telephonic, contribuiu com diversas descobertas na teoria da informação, entre elas, o critério que recebe seu nome.

com 256 pontos de escala e de 12 bits para 4096. Os de 8 bits são especialmente interessantes por se “casarem” com as características das portas paralelas dos computadores comuns (PCs).

b) número de entradas

Os exemplos que demos, foram de conversores simples em que aplicamos na entrada um único sinal. No entanto, existem conversores A/D na forma de circuitos integrados que possuem diversas entradas. Tipos de 2, 4 e 8 entradas são os mais comuns.

Estes tipos fazem a leitura sequencial das tensões nas suas entradas, convertendo os valores encontrados para a forma digital e, jogando-os sequencialmente nas saídas. Eventualmente, se pode selecionar digitalmente por entradas apropriadas quais sensores (ou entradas de dados) serão lidas, jogando-se os valores na saída, conforme mostra a figura 186.

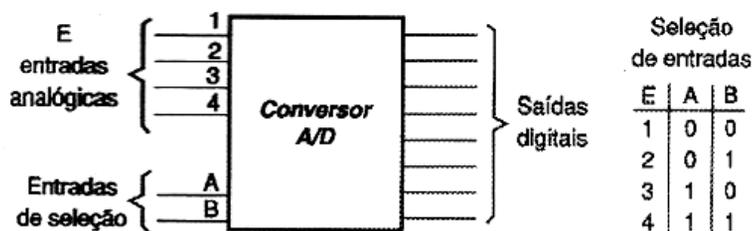


Figura 186 – Um conversor A/D com diversas entradas

c) velocidade

Na prática, podemos encontrar aplicações em que a velocidade de conversão é muito importante. Se desejamos processar um sinal que varia rapidamente de intensidade como, por exemplo, uma forma de onda de alta frequência e desejamos projetá-la na tela de um computador de modo a usá-lo como osciloscópio.

Outra aplicação consiste em converter um sinal de áudio para a forma digital, para fazer sua transmissão a um circuito de processamento remoto, caso em que é necessário ter uma velocidade muito grande de resposta do conversor.

Ele deve ser capaz de obter no mínimo 2 amostragens por ciclo do sinal que deve ser visualizado, ou seja, deve ter uma frequência de amostragem no mínimo 2 vezes maior que a maior frequência de sinal de entrada. Conversores com muitos megahertz de frequência de amostragem são disponíveis para estas aplicações.

d) faixa de operação

A faixa de operação não é na realidade muito importante, pois ela pode ser adequada por circuitos externos ligados à fonte de sinal. No entanto, é preciso conhecer esta faixa, para que os circuitos possam ser projetados.

e) compatibilidade lógica

Se vamos usar o conversor com microcontroladores, computadores ou outros dispositivos, precisamos saber se ele é compatível com esta aplicação. A maioria dos conversores A/D possui características de entrada e saída que permitem sua conexão direta aos computadores, microprocessadores e microcontroladores.

f) linearidade

A curva de conversão da grandeza analógica para a forma digital deve ser linear para um bom conversor. Isso significa que não existem desvios na correspondência entre o valor analógico e a saída digital ao longo da escala de valores em que o conversor deve trabalhar. No entanto, na prática podem ocorrer pequenos desvios, conforme mostra a figura 187.

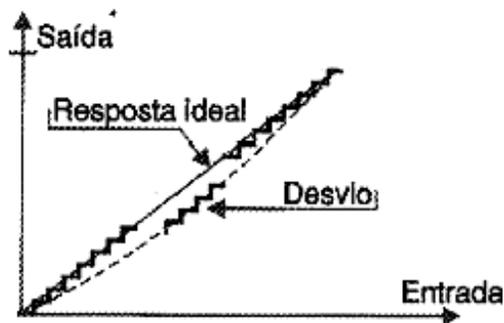


Figura 187 – A linearidade de um ADC

Isso significa que, em determinadas faixas de valores, a conversão pode ser menos precisa. Esta imprecisão é mais grave nos tipos de maior definição, pois os desvios podem ter a mesma ordem de grandeza que os “degraus” da escada de conversão, afetando assim a precisão final da conversão.

13.4 – Os DACs

Um DAC ou Conversor Analógico-para-Digital, converte sinais digitais para uma forma analógica sendo, portanto, o inverso do ADC. Os DACs são geralmente formados por uma rede R-2R, conforme mostra o circuito básico da figura 188.

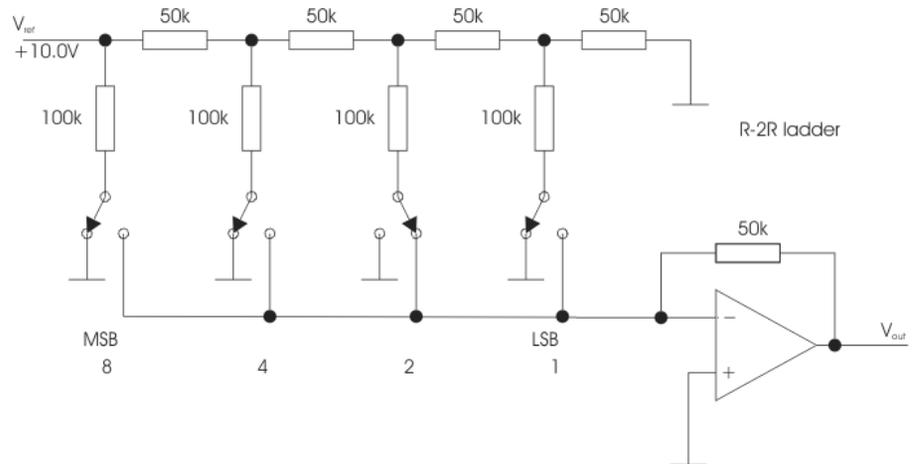


Figura 188 – Circuito básico de um DAC

Em lugar das chaves mecânicas, como indicado nesse circuito, podem ser usados os próprios níveis digitais de um circuito.

A comunicação com o circuito de controle pode ser tanto paralela, com cada chave eletrônica acionada por uma linha de controle, como serial em que existe uma entrada e o sinal digital é decodificado para acionamento das chaves.

Nas aplicações em que a velocidade é um fator importante, o uso da comunicação paralela é melhor. No entanto, se a velocidade não for importante pode ser usada a interface serial, mas mesmo assim, com tecnologias modernas, podemos chegar a velocidades superiores a 20 MHz, sem problemas. Uma interface de dois fios chega a mais de 3 MHz.

Os DACs possuem amplificadores integrados o que lhes permite excitar cargas de baixa impedância.

Termos em inglês:

Conforme indicamos no início deste item, encontramos muitos termos em eletrônica digital que são mantidos na forma original em inglês e, em especial quanto tratamos de memórias e conversores de dados (DACs e ADCs). Mas, sempre é importante saber o que eles significam.

Read only – somente de leitura

Random – aleatório

Access – acesso

Hold – manutenção, manuseio

Sample – amostragem

Signal – sinal

Processor – processador

Ramp – rampa

Linearity – linearidade

Step - degrau

Converter - conversores

Analog – analógico

Termos para pesquisa

- Nyquist
- Quantização
- Aquisição de dados
- Memórias
- Apagadores de EPROM
- Programadores de EPROM
- DSP

Questionário

1 - Numa memória de anéis magnéticos, as informações ficam armazenadas de que modo?

- a) Em correntes que circulam pelos anéis
- b) No campo magnético criado nos anéis
- c) Na indutância dos anéis
- d) Nos fios que cruzam os anéis

2 - Numa memória ROM, o que ocorre quando a alimentação é desligada?

- a) As informações são mantidas
- b) As informações se alteram
- c) As informações apagam
- d) As informações são transferidas para um circuito externo

3 - Numa PROM, depois que é feita a programação:

- a) Podemos apagar os dados gravados
- b) Podemos alterar os dados gravados.
- c) Não podemos apagar os dados gravados
- d) Dependendo do tipo de PROM, os dados podem ser apagados

4 - Luz ultra violeta é usada para apagar as informações em que tipo de memória?

- a) PROM
- b) RAM
- c) EEPROM
- d) EPROM

5 - Quantos pontos de resolução possui um ADC de 4 bits?

- a) 2 b) 4 c) 8 d) 16

6 - O processo segundo o qual convertemos uma grandeza num valor digital é denominado:

- a) Decimação
- b) Quantização
- c) Simples Conversão
- d) Amostragem

7 - Não podemos amostrar um sinal numa velocidade menor que duas vezes a frequência do sinal amostrado, este critério deve-se a:

- a) Maxwell
- b) Boole
- c) Pascal
- d) Nyquist



» Microprocessadores, Microcontroladores, DSPs e FPGAs

No capítulo anterior estudamos as memórias, os conversores analógicos para digitais e os digitais para analógicos. Neste último capítulo de nosso curso daremos uma introdução à diversas tecnologias que fazem uso de tudo que aprendemos em eletrônica digital de uma forma muito intensa. Reunindo milhares ou mesmo milhões de funções lógicas digitais, os microprocessadores, microcontroladores. DSPs e FPGAs estão presentes numa infinidade de aplicações práticas. Estudar cada um em profundidade seria impossível, pois são assuntos que exigem longos cursos completos. Alguns destes cursos estão programados para fazerem parte da sequência de cursos que disponibilizamos na forma de livros (e-books). Assim, neste capítulo teremos uma pequena introdução a cada um, dando uma visão geral ao leitor de como o que foi aprendido neste curso pode ser utilizado nestes dispositivos. Este capítulo constará então dos seguintes itens:

14.1 – Os microprocessadores e microcontroladores

14.2 – Os DSPs

14.3 – Os FPGAs

Objetivos:

- Entender as diferenças que existem entre os microprocessadores e os microcontroladores
- Ter uma idéia básica do que são microcontroladores e onde podem ser usados
- Conhecer os tipos de linguagem de programação dos microcontroladores
- Ter um primeiro contato com os DSPs e saber onde eles são usados
- Familiarizar-se com os FPGAs e saber como e quando são usados

14.1 – Os microprocessadores e os microcontroladores

Os microprocessadores e os microcontroladores pertencem a uma categoria de circuitos integrados capaz de processar informações complexas, realizando operações matemáticas, armazenando dados e programas, para utilização nas mais diversas aplicações.

Se bem que muitos confundam os dois dispositivos, eles possuem estruturas e finalidades diferentes.

Um microcontrolador é um dispositivo completo, podendo ser comparado a um computador com diversos recursos embutidos num único chip, apresentando características específicas.

Assim, os microprocessadores possuem uma unidade de processamento central, também conhecida por CPU e que é capaz de executar programas. No entanto, o que o microprocessador faz exige a utilização de dispositivos complementares.

Isso ocorre porque o microprocessador não foi criado para uma finalidade única. Dizemos que se trata de um dispositivo de propósito geral ou, se usarmos o termo em inglês “general purpose”.

Na figura 189 temos a estrutura interna de um microprocessador comum, onde são mostrados os diversos blocos.

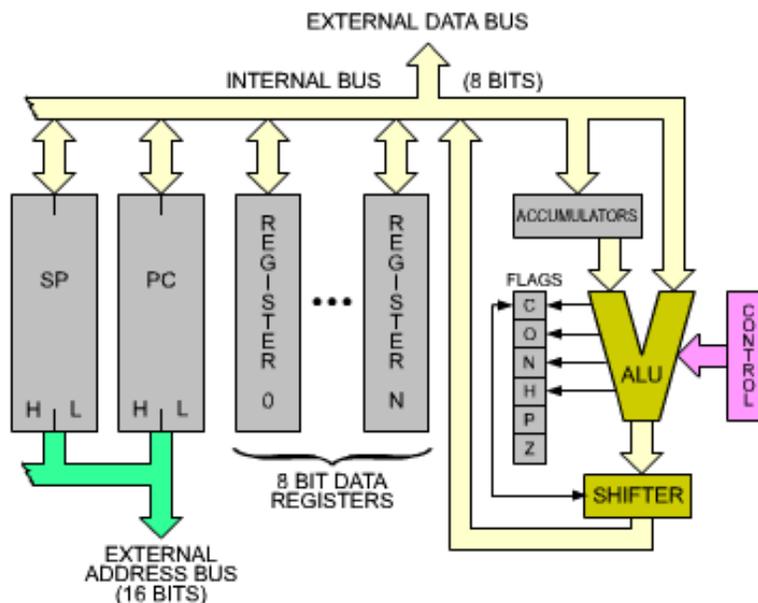


Figura 189 – Blocos internos de um microprocessador comum

Temos então diversos blocos que são responsáveis pelo processamento dos dados, observando-se que esses dados passam de um bloco a outro através de um barramento interno (internal bus).

Para interfacear com o mundo externo temos um barramento de dados externo (external data bus) e para o endereçamento dos dados temos um barramento de endereços (external address bus).

A ALU é a unidade lógica aritmética ou Arithmetic Logic Unit, responsável pelos cálculos aritméticos e outros que são realizados com os dados, a partir do programa.

Na figura 190 temos o modo como um microprocessador, como o Z80 se comunica com o mundo exterior, e alguns dos circuitos externos usados na sua operação.

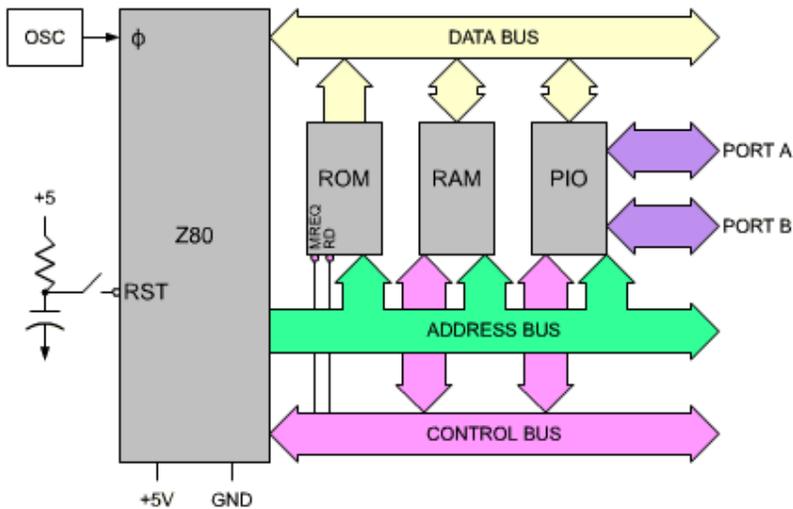


Figura 190 – Conexões do Z80 com o mundo exterior

Temos então um oscilador (OSC) que determina a velocidade de sua operação, sendo este denominado oscilador de clock. O circuito de reset (RST) resseta o microprocessador quando necessário. Os barramentos de dados, controle e endereços se comunicam com as portas e com as memórias RAM e ROM.

Na memória ROM são armazenadas informações fixas, como aquelas com que o microprocessador deve operar e um programa. Na RAM ficam as informações que mudam ou são adquiridas durante o processamento, desaparecendo quando o circuito é desligado.

Veja então, por esta estrutura que, ao se utilizar um microprocessador num computador precisamos ter o apoio de diversos elementos, inclusive alguns adicionais como um disco rígido externo, uma memória RAM, dispositivos de entrada e saída, dispositivos para implementar um teclado, um monitor, uma impressora, o mouse e eventualmente outros.

Os microcontroladores são diferentes, pois eles são fabricados para uma finalidade específica (specific purpose), já contendo tudo que é preciso para a aplicação em que eles vão ser usados.

Assim, os microcontroladores são normalmente embutidos em algum tipo de equipamento de modo a controlar todas as funções, e para isso, integram a maioria dos recursos necessários.

Os microcontroladores possuem então em seu interior um processador (uma CPU) e demais recursos para que ela opere na aplicação desejada, por exemplo, uma memória ROM, uma memória EEPROM ou de outro tipo e circuitos de entrada e saída.

Na figura 191 temos a estrutura interna de um microcontrolador.

Z80

O Z80 é um microcontrolador bastante antigo, mas tradicional, tendo sido usado por muitos anos como base de muitos projetos. Assim como ele, temos o 8080, também popular na época.

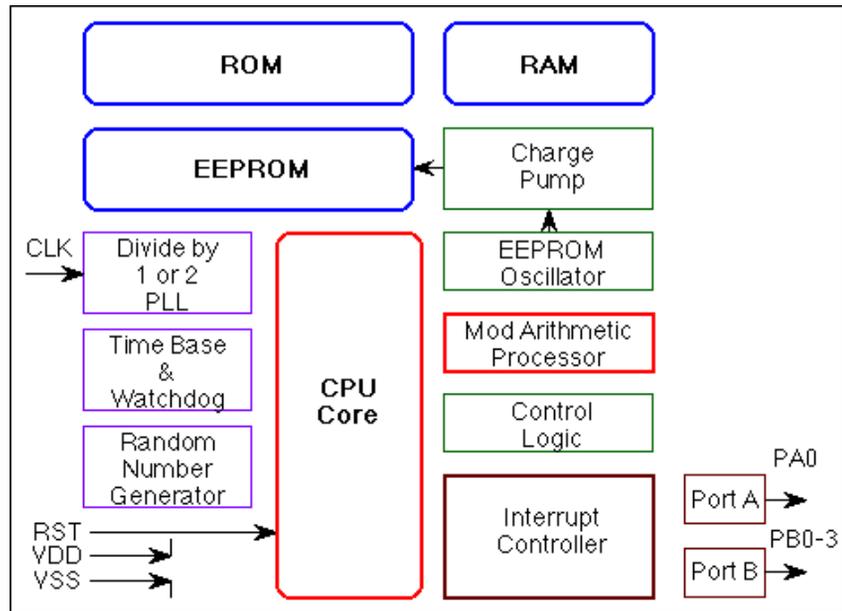


Figura 191 – A estrutura interna em blocos de um microcontrolador

Veja que além da CPU (Central Processing Unit) ou unidade central de processamento, existem diversos blocos internos que permitem ao microcontrolador ser um sistema completo de controle, com a necessidade de muito poucos elementos externos.

Enquanto os microprocessadores são usados num computador, que pode realizar diversos tipos de tarefas, os microcontroladores são encontrados em equipamentos comercializados, automações, ou outros que só rodam um único programa que depende do que eles devem fazer exigindo poucos elementos externos.

Conforme mostra a figura 192, o microcontrolador reúne num único chip as funções de processador e diversas outras necessárias a aplicações de controle.

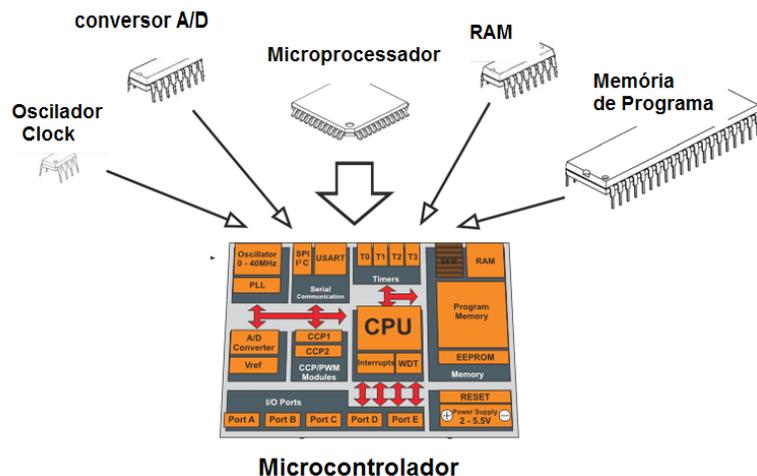


Figura 192 – O microcontrolador é mais do que um microprocessador

Para poder operar de uma forma mais eficiente na aplicação a que se destinam, os microcontroladores são dispositivos encontrados em diversas versões, com diversas capacidades de processamento, sempre visando o menor custo e o menor consumo de energia.

Numa máquina industrial, por exemplo, o microcontrolador re-tém o programa que deve controlar as funções dessa máquina e, ao mesmo, possui recursos para fazer o controle da máquina e receber os comandos de um controle remoto, de um painel ou de sensores.

Num robô, o microcontrolador controla seus movimentos a partir de sinais obtidos de sensores, de um controle remoto, ou ainda de uma programação que automatize seus movimentos.

Como os microcontroladores operam em aplicações específicas, dependendo do ambiente em que isso ocorra, eles podem ser dotados de recursos que os torna mais robustos. Isso ocorre, por exemplo, no caso de microcontroladores que vão trabalhar em máquinas industriais, em eletrodomésticos sujeitos a umidade (máquinas de lavar, por exemplo), ou dentro de veículos (barcos, carros ou aviões).

Na figura 193 temos um microcontrolador Arduino que pode ser usado em diversas aplicações de automação e controle.

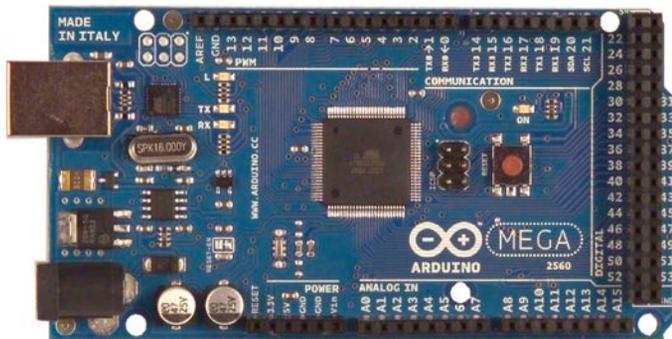


Figura 193 - Placa com o Arduino

Dentro de um microcontrolador podemos então encontrar um processador, cuja capacidade de processamento dependerá de sua aplicação.

Numa automação de uma máquina ou de uso predial, por exemplo, é possível encontrar processadores de famílias antigas mais simples, como os Z80, 80C51, enquanto que em aplicações mais complexas, processadores como os da série 80386, 80486 e Pentium, podem ser necessários.

Quando temos um produto automatizado, como uma máquina de lavar, um forno de microondas onde poucas funções são controladas, podemos usar microcontroladores populares ou de baixo custo como os da Atmel, Microchip, Texas, Freescale. Os microcontroladores PIC da Microchip, em especial, pela facilidade de obtenção e programação, são muito usados em projetos de automação e controle. Também podemos incluir nesta relação os microcontroladores da série MSP430 da Texas Instruments.

14.1.1 - Programação

Os microcontroladores são fabricados sem conter nada em sua memória, assim, eles não conseguem fazer nada num circuito se não forem programados.

Para programar um microcontrolador deve ser usada uma linguagem especial e recursos especiais.

Existem duas possibilidades para a programação. Os primeiros tipos, podiam ser programados manualmente, havendo para esta finalidade uma placa onde os microcontroladores eram encaixados em suporte especial e, depois, através de chaves tipo dip switches, eram colocados os códigos a serem transferidos para o microcontrolador e o endereço onde isso ocorria.

Este tipo de programação servia para o caso de programas muito simples, com poucas linhas e que, portanto, poderiam ser transferidos para o microcontrolador em pouco tempo.

Hoje em dia são usadas placas conectadas à USB ou porta serial de um computador de modo a se criar o programa neste computador e então fazer a transferência para o microcontrolador.

Na figura 194 uma placa deste tipo, observando-se o soquete especial em que é encaixado o microcontrolador que a ser programado.



Figura 194 - Uma placa típica de programação de microcontrolador

Uma vez programado, o microcontrolador pode então ser colocado na placa da aplicação definitiva, ou seja, na placa que contenha os demais elementos com que ele vai interfacear, ou seja, sensores, circuitos de controles de potência, etc.

Vamos dar um pequeno exemplo de como criar uma aplicação com um microcontrolador.

Inicialmente definimos o que desejamos controlar e como, por exemplo, um circuito que ligue uma ventoinha quando a temperatura supera os 50° C e ligue um aquecedor quando a temperatura cai abaixo de 10° C. Ao mesmo tempo, se a temperatura subir muito, por exemplo, acima de 70° C ou cair de demais, menos de 5° C, o circuito deve fazer soar um alarme.

Começamos por determinar no microcontrolador qual é a entrada que vai ler o sensor de temperatura e em quais são as tensões que correspondem às temperaturas em que o acionamento dos dispositivos externos devem ser feitos.

Determinamos depois quais saídas vamos usar para os controles, uma para a ventoinha, outra para o aquecedor e finalmente, uma terceira para o alarme.

Criamos então através de um fluxograma, a estrutura de nosso programa.

Depois, a partir deste fluxograma, escrevemos o programa usando para isso as diversas linguagem possíveis, de acordo com o programa do computador que trabalha com o microcontrolador.

Veja então que o leitor que vai trabalhar com microcontroladores precisa:

- Conhecer os tipos de microcontroladores de modo a saber fazer a escolha de acordo com o tipo de aplicação
- Ter a placa de programação e um computador com o programa que emula a placa, ou seja, um compilador que transfere os dados para um microcontrolador instalado nesta placa.
- Conhecer a linguagem de programação de modo a poder criar ou transferir um programa pronto para esta placa e o microcontrolador usando o computador

Para trabalhar com os microcontroladores os leitores têm duas possibilidades. Uma consiste em aprender sozinhos, usando placa de baixo custo e microcontroladores simples, partindo de aplicações menos complexas e lendo livros ou artigos sobre o assunto.

Outra consiste em se fazer cursos presenciais de treinamento, os quais podem ser encontrados em algumas localidades.

14.1.2 – Os Microcontroladores mais comuns

Hoje em dia os leitores que desejarem trabalhar com microcontroladores podem contar com uma grande quantidade de tipos, disponibilizados por diversos fabricantes. A escolha do tipo ideal para uma aplicação depende de diversos fatores como:

- a) Disponibilidade do microcontrolador no mercado
- b) Disponibilidade da placa de programação
- c) Custo do microcontrolador, se a aplicação for num produto que deve ser industrializado
- d) Conhecimento do processo específico de programação

Damos a seguir a descrição de alguns fabricantes de microcontroladores e os tipos que disponibilizam.

a) Microchip

A linha de PICs da Microchip possui uma grande quantidade de tipos, com características as mais variadas possibilitando sua utiliza-

Mais microcontroladores

As marcas que daremos a seguir são apenas as principais, com representantes no Brasil, o que facilita tanto a obtenção dos microcontroladores como também os compiladores.

ção em muitas aplicações. O destaque dos PICs é a disponibilidade de tipos muito simples, que facilita a implementação em projetos de baixo custo ou com finalidades didáticas. Na figura 195 temos a família PIC. Acesse www.microchip.com para mais informações.

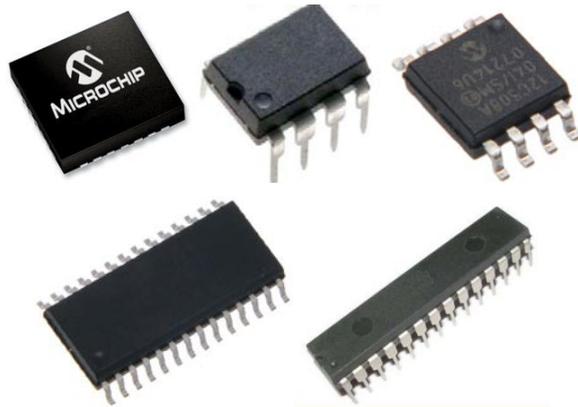


Figura 195 – Invólucros de alguns microcontroladores PIC

b) Atmel

A Atmel possui uma ampla linha de microcontroladores de baixo custo, destacando-se os Atmega. Mais informações sobre os microcontroladores desta empresa podem ser obtidas no site <http://www.atmel.com/>.

c) Texas Instruments

Na linha de microcontroladores da Texas Instruments, destacamos os MSP430, de baixo consumo, que possui placas de programação acessíveis. Mais informações no site www.ti.com.

d) Freescale

Com uma ampla linha de microcontroladores pode ser acessada em: <http://www.freescale.com/>.

e) Renesas

Os microcontroladores da Renesas se caracterizam pelo seu baixo custo e simplicidade. Mais informações em: <http://am.renesas.com/>

14.1.3 – Linguagens de programação

Para programar um microcontrolador deve-se conhecer uma das diversas linguagens utilizadas nos programas compiladores. As principais linguagens utilizadas são:

a) Assembly

Assembly em inglês significa montar, referindo-se esta linguagem à montagem de um programa utilizando a linguagem binária, que

Termos em inglês

Os termos em inglês, de uma forma muito mais patente, são mantidos no original nos documentos que tratam de programação e mesmo na linguagem diária. Existem até tentativas de se aporuguesar alguns deles, como o caso de ressetar derivado de reset. Assim, já ouvimos da boca de alguns programadores o termo “assemblar”, derivado de assembler, para indicar o que deveríamos chamar de “montar”. Pobre Aurélio...

Abaixo temos um exemplo de um programa em assembly;

```

ORG 0H      ;start (origin) at location 0
MOV R5,#25H ;load 25H into R5
MOV R7,#34H ;load 34H into R7
MOV A,#0    ;load 0 into A
ADD A,R5    ;add contents of R5 to A
            ;now A = A + R5
ADD A,R7    ;add contents of R7 to A
            ;now A = A + R7
ADD A,#12H  ;add to A value 12H
            ;now A = A + 12H
HERE:SJMP  HERE ;stay in this loop
END        ;end of asm source file

```

aprendemos nos primeiros capítulos deste livro. O programa utilizado para se criar um programa com esta linguagem é chamado de “assembler”, ou traduzindo, “montador”.

A linguagem C não é compilada, ou seja, os programas gerados pelo programador vão diretamente para o microcontrolador na forma binária.

b) Linguagem C

As linguagens são classificadas em níveis. As de níveis mais baixos, “conversam” diretamente com os microcontroladores, como a linguagem assembly. A linguagem C está num nível intermediário, no sentido de que o programa criado não vai diretamente para o microcontrolador, mas precisa antes passar por um programa denominado “compilador”.

O programa fonte que é criado pelo programador nesta linguagem, passa por um programa denominado compilador que gera então a linguagem binária que o microcontrolador entende.

Uma desvantagem desta linguagem, em relação ao assembly, está no fato de que ela exige mais memória. Isso ocorre pela necessidade de se ter um número maior de instruções para se realizar a tarefa desejada.

c) Pascal

Trata-se de uma linguagem de alto nível, sendo bastante utilizada pelo fato de usar uma sintaxe amigável e comandos que podem ser memorizados com facilidade.

Sintaxe

É a maneira como escrevemos o programa, ou seja, como as diversas operações são indicadas através de palavras ou símbolos e, da mesma forma que no português, existem regras que devem ser seguidas.

d) Basic

O Basic é uma das linguagens mais antigas, tendo sido criada em 1963 com a finalidade de facilitar o ensino de programação. Esta linguagem foi utilizada de maneira ampla até os anos 80 com a popularização dos primeiros microcomputadores pessoais, ressurgindo depois com versões mais poderosas, mais adaptadas as tecnologias de microcontroladores atuais.

Basic é o acrônimo para Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code ou “código de instruções simbólicas para todos os propósitos”.

Ainda hoje, existem muitos programadores que usam esta linguagem com finalidade didática como, por exemplo, nos microcontroladores da série Basic Stamp.

e) Ladder

Esta é uma linguagem alternativa, tendo sido criada para aplicações em controladores lógicos programáveis ou CLPs, visando o acionamento de relés a partir de sinais obtidos de sensores.

Muito utilizada nos processos de automação a partir dos anos 80, depois ela passou a ser mais utilizada em processos industriais.

14.2 – Os Processadores de Sinal Digitais ou DSPs

Se convertermos sinais analógicos tais como sons, imagens, sinais obtidos a partir de sensores lineares como termistores, LDRs e outros em sinais digitais, além de termos muito mais facilidade em trabalhar com eles, existe a possibilidade de modificarmos suas características, acrescentando uma vantagem de controle a partir de um microprocessador.

Isso significa que, nos modernos equipamentos que trabalham com sinais analógicos, tais como amplificadores de áudio, televisores, modems, equipamentos de telecomunicações, telefones celulares, TV a cabo e digital, o uso de um dispositivo que seja capaz de converter sinais analógicos em digitais, e depois converter os sinais digitais em analógicos, é essencial.

A tecnologia que permite desenvolver circuitos com a capacidade de converter sinais analógicos em digitais não é complicada. O problema surge quando se deseja operar com sinais que precisam manter suas características de fidelidade, mas em frequências muito altas.

Podemos dizer que dispositivos comuns que poderiam ser usados com esta finalidade se tornam inadequados, exigindo dos fabricantes o desenvolvimento de tecnologias avançadas.

Hoje é possível contar com circuitos integrados que reúnem todos os elementos necessários a conversão de sinais analógicos para a forma digital em frequências muito elevadas e, além disso, incorporar os microprocessadores e diversos circuitos de apoio que podem trabalhar com estes sinais digitalizados. A partir deles, aplicações em

equipamentos, como os que citamos como exemplos no início deste item, podem ser desenvolvidas com facilidade.

É claro que a montagem do próprio DSPs não interessa ao nosso leitor que pode contar com o componente pronto. No entanto, para saber usá-lo e para saber como reparar, ou simplesmente instalar estes dispositivos nas aplicações modernas, é preciso conhecer seu princípio de funcionamento.

14.2.1 – Convertendo sinais analógicos em digitais

Vamos partir de uma forma de onda de um sinal comum como, por exemplo, um som qualquer e que pode ser representada conforme mostra a figura 196.



Figura 196 – Sinal que varia entre -1 e +1 V

Esta forma de onda corresponde a um sinal analógico já que, instante a instante, a intensidade do sinal varia, assumindo valores que mudam segundo saltos infinitamente pequenos.

Isso é diferente de um sinal digital em que a intensidade do sinal varia instante a instante, mas segundo saltos discretos e que, portanto, podem ser representados por valores finitos ou dígitos, conforme mostra a figura 197.

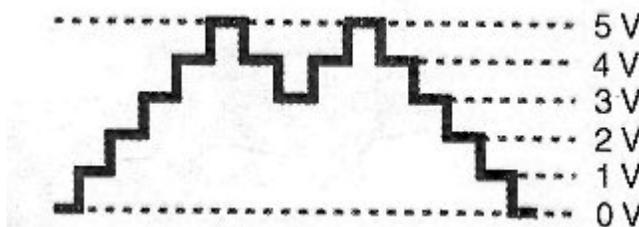


Figura 197 – Um sinal que varia segundo passos discretos, ou seja “aos saltos”

A conversão de um sinal analógico para a forma digital pode ser feita tomando-se certa quantidade de amostras da sua intensidade em diversos instantes de modo que cada amostra tenha um valor numérico que possa ser representado na forma digital.

O nosso sinal analógico tomado como exemplo pode ser “amostrado” um certo número de vezes tomando-se valores que correspondem a “altura” de cada retângulo, ou seja, o seu valor em cada instante conforme mostra a figura 198.

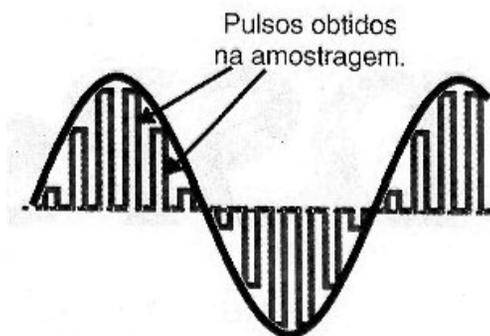


Figura 198 – Podemos obter em cada instante um valor do sinal, dado pela altura do pulso amostrado

Representando o valor instantâneo de cada amostragem na forma digital, um ciclo de nosso sinal analógico pode se converter em uma sequência de números binários conforme mostra a figura 199.

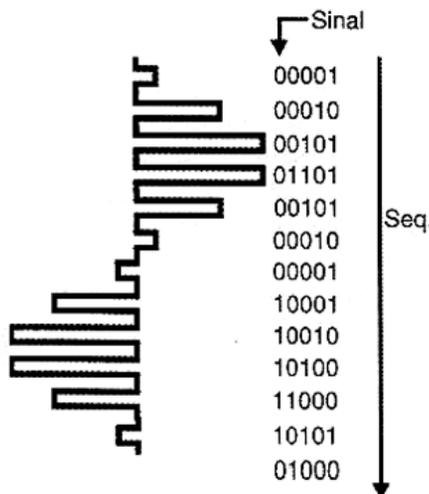


Figura 199 – Sequência de bits correspondentes a amostragem de um sinal

Amostragem e retenção
 Veja no capítulo anterior como funcionam os circuitos que fazem a amostragem e retenção de um sinal.

É claro que estes valores binários podem facilmente ser trabalhados por um microprocessador que seja programado para realizar algum tipo de operação que nos interesse.

Um sinal na sua forma analógica original não poderia sequer se aplicado a um microprocessador, quanto mais ser trabalhado de uma determinada forma por seus circuitos.

14.2.2 – Requisitos mínimos

Um ponto importante a ser considerado, quando convertemos um sinal analógico qualquer numa sequência de valores digitais, é a precisão que estes valores representam o sinal original.

Se representarmos um sinal senoidal, por exemplo, com apenas duas amostragens, uma para o valor máximo positivo e outra para o

valor máximo negativo estará claro que na “recuperação” da forma de onda original não teremos uma boa fidelidade, conforme sugere a figura 200.

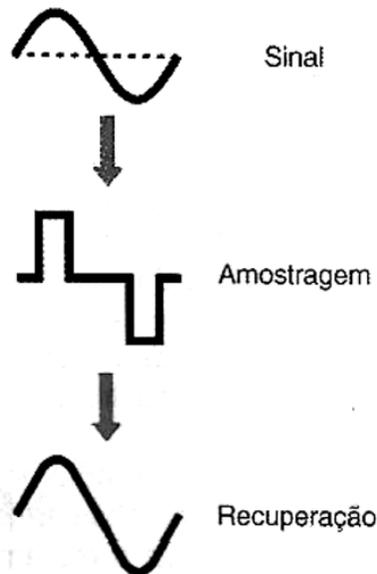


Figura 200 – Duas amostragens por ciclo são suficiente para se obter fidelidade na conversão

Fica claro, pela figura 198 que a precisão na recuperação do sinal original e, portanto, em qualquer tratamento digital que dermos ao sinal, depende da quantidade de amostragens: tanto melhor ela será quanto mais amostragens conseguirmos obter para o sinal.

Define-se o limite de Nyquist como a menor frequência de amostragens que podemos utilizar para converter um sinal e que ainda se pode obter precisão. Este limite estabelece que a frequência mínima de amostragens que podemos usar na conversão é de 2 vezes a frequência do sinal amostrado.

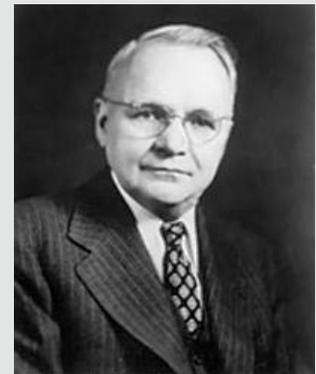
É claro que, na prática, é conveniente usar frequências muito maiores do que 2 vezes a do sinal e isso ocorre, por exemplo, quando possível. No caso dos CDs em que a frequência de amostragem é de 44,1 kbytes por segundo ondeo que nos leva a 2 vezes a frequência máxima que podemos ouvir que é de 20 kHz.

A coisa começa a complicar-se um pouco se levarmos em conta que para representar um valor instantâneo de uma amostragem com uma definição de 1 byte (8 bits), o que levaria a 256 valores diferentes, precisamos transmitir 8 bits por amostragem.

Assim, se tivermos um sinal de 10 MHz e desejamos amostrá-lo 10 vezes em cada ciclo, isso significa 100 milhões de amostragens por segundo e em cada segundo a produção de 800 milhões de bits, conforme sugerido pela figura 201.

Critério de Nyquist

A velocidade com que fazemos a amostragem determina a frequência máxima do sinal que pode ser amostrado. Não podemos fazer uma amostragem de um sinal numa velocidade menor do que duas vezes a frequência deste sinal. Este é o critério de Nyquist, que deve ser adotado quando escolhemos a velocidade máxima de um conversor A/D para um DSP, ou outra aplicação, em função da frequência do sinal que deve ser convertido para a forma digital.



Harry Nyquist(1889 – 1976)
– Engenheiro da Bell
Telephonic, contribuiu com
diversas descobertas na teoria
da informação, entre elas, o
critério que recebe seu nome.

Sigma-Delta

Já tratamos um pouco deste processo de conversão de dados no capítulo anterior. Agora vemos como ele pode ser usado nos DSPs.

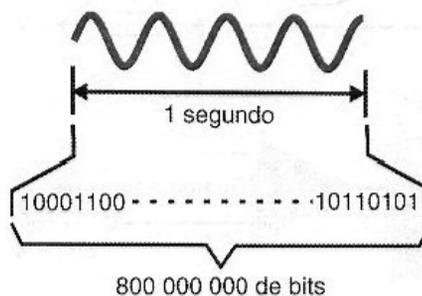


Figura 201 – Quanto maior a taxa de amostragem maior a fidelidade na recuperação do sinal

O leitor já pode ter uma idéia das dificuldades que ocorrem se desejarmos processar um sinal de vídeo, por exemplo, ou o sinal produzido por um sistema de telecomunicações que opere com várias centenas de megahertz.

Usando apenas um byte por amostragem de um sinal de vídeo, por exemplo, limitamos as suas intensidades a 256 níveis e se isso for feito com um sinal de cor teremos a mesma limitação em relação a sua quantidade.

Uma maneira interessante de se fazer conversão com uma taxa amostragem usando apenas um bit é a chamada sigma-delta que é usada nos conversores dos CD-players. Já estudamos esta técnica no capítulo anterior, mas revisamos seu conceito, pois é importante.

A idéia é simples: a partir do momento em que o sinal a ser amostrado passa por zero, o circuito simplesmente verifica se na amostragem seguinte sua intensidade modificou-se o suficiente para se alterar um único bit.

Se a intensidade ainda se mantém aproximadamente a mesma (dentro da faixa de resolução), o bit enviado ao circuito é zero e a intensidade é mantida. No entanto, se o sinal aumentou o suficiente para ser alterado de um bit, este bit é somado à intensidade anterior.

Assim, no ciclo do sinal amostrado, somando-se ou subtraindo-se um bit pode-se ter sua digitalização com boa precisão, conforme mostra a figura 202.

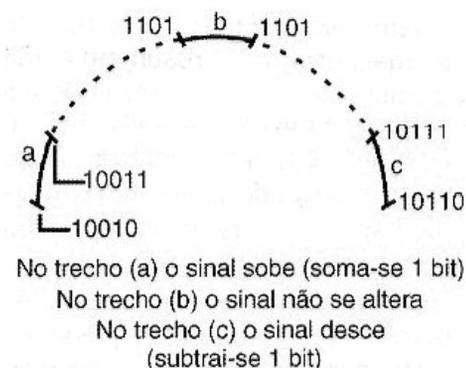


Figura 202 – A conversão sigma-delta

Mas existem ainda outros requisitos importantes para a digitalização dos sinais que devem ser considerados.

Uma das aplicações mais importantes dos DSPs atualmente é nos sistemas de telecomunicações móveis e nos microcomputadores portáteis com aplicações especiais, como os que reconhecem a caligrafia (reconhecedores de letras).

Nestes equipamentos alimentados por bateria o consumo do dispositivo é um requisito muito importante. Como a complexidade de um DSP aumenta em função da quantidade de amostragens que ele pode fazer e a potencialidade do microprocessador usado, os fabricantes trabalham arduamente tendo em vista este requisito com resultados práticos surpreendentes. De fato, DSPs que podem operar tanto com sinais digitais como analógicos são usados em telefones digitais. Além destes fatores devem ser considerados os custos e a facilidade de uso.

Algumas taxas de amostragem utilizadas na prática:

Taxa de amostragem (amostragens por segundo)	Uso
8k	Walk-talkies, intercomunicadores, microfones sem fio
11,025 k	Áudio MPEG, subwoofer e outros de menor fidelidade
16k	Extensão para telefone, VoIP e VVoip
22,050 k	PCM e MPEG de baixa qualidade
32k	NICAM, Rádio Satélite, e microfones sem fio de alta qualidade
44,056k	Áudio do sistema NTSC de TV
44,1 k	Áudio CD, MPEG1 em MP3, VCD. SVCD. PAL e microfones sem fio encriptados
47,5	Gravador de som PCM – primeiros tipos
48 k	Som do vídeo digital profissional, TV digital, som do DVD e filmes – SDI e HD-SDI, compressores e outros equipamentos de som
50 k	Primeiros gravadores de som digital como os da 3M dos anos 70
50,4 k	Gravador Mitsubishi X-800
88,2 k	Equipamentos de som digital, visando CDs de 44,1 k, mixers, equalizadores, câmaras de eco, etc.
176,4 k	Gravadores de som HD-CD e produção de CDs
192 k	Áudio em DVD, DVD LPCM, Som Blu-ray e som HD-DVD
352,8 k	Digital eXtreme Definition usado na gravação de Super Audio CDs
2 822,8 k	SADC com modulação delta-sigma processo conhecido como Dirrect Stream Digital da Sony e Philips
5 644,8 k	RSD de Taxa dupla, no sistema de 1 bit Direct Stream Digital x2 – Usado em gravadores profissionais DSD

14.2.3 – Como a conversão do sinal é feita

Existem diversas técnicas para a conversão de sinais analógicos em digitais e que podem ser encontradas em DSPs.

Na figura 203 temos um circuito denominado “flash converter” e que pode ser encontrado na entrada de um DSP tendo por base conversor digital-analógico.

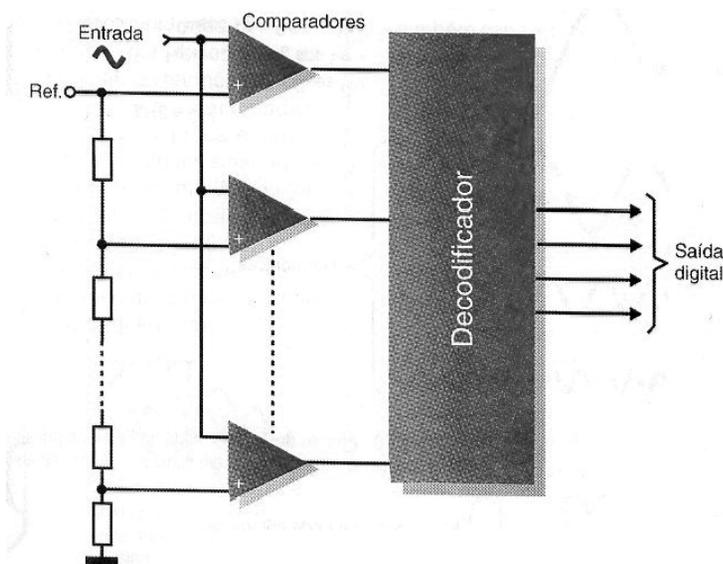


Figura 203 – Blocos de um conversor flash

Para um circuito de 8 bits o que se faz é ligar 256 comparadores em série, tendo cada um em sua entrada de referência aplicada uma tensão que vai determinar seu ponto de disparo.

Estes circuitos são ligados a um decodificador que entrega em sua saída os valores digitais correspondentes ao sinal aplicado na entrada.

Em funcionamento, o circuito é habilitado, por um instante, no momento exato em que se deseja fazer a amostragem do sinal.

A tensão instantânea do sinal é então aplicada ao divisor de tensão ligado à entrada de referência dos comparadores de tensão.

Os comparadores, que vão comutar, são aqueles em que a tensão instantânea do sinal amostrado é maior ou igual à tensão de referência, ou seja, uma quantidade proporcional à intensidade do sinal.

Assim, teremos certo número de sinais de entrada que vão determinar o valor digital que o decodificador vai entregar na saída.

Uma desvantagem deste tipo de conversor é que são necessários tantos comparadores quantos sejam os níveis de sinais que devem ser detectados. A vantagem está na sua alta velocidade de operação.

Existem outras técnicas para se converter o sinal como, por exemplo, os conversores de aproximação sucessiva, o dual slope converter, este último mostrado em blocos na figura 204.

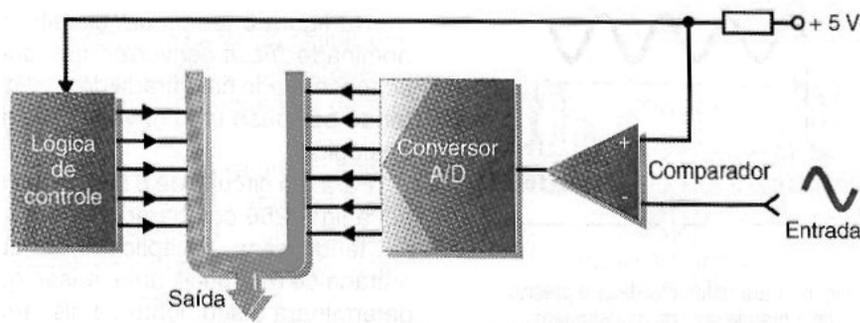


Figura 204 – O conversor de aproximações sucessivas

14.2.4 – O microprocessador

O sinal digital obtido pelo conversor é aplicado a um microprocessador que vai submetê-lo a uma série de processamentos, de acordo com a finalidade do projeto. Assim, no chip do DSP além do conversor A/D encontramos um microprocessador.

O uso de microprocessadores específicos para o DSP, e não tipos comuns, deve-se principalmente ao fato de que os sinais precisam ser processados em velocidades muito altas. Um microprocessador comum não tem uma faixa passante suficientemente larga para operar num DSP.

Além disso, normalmente as funções mais usadas se resumem a adição, multiplicação e outras funções simples que devem ser aplicadas rapidamente de forma repetitiva, o que é uma modalidade diferente da operação esperada para os microprocessadores comuns.

Isso significa que os microprocessadores usados nos DSPs possuem características especiais, que os diferenciam dos microprocessadores comuns.

Uma delas é a utilização de circuitos especiais que são capazes de multiplicar números com velocidade muito grande.

Outra característica especial incorporada aos microprocessadores dos DSPs e que leva em conta sua principal aplicação que é com sinais de áudio e vídeo é a incorporação de um modo especial de endereçamento denominado bit-swapped addressing.

Como o nome sugere, a ordem de processamento dos bits na entrada e saída é invertida. Assim com esta arquitetura, os bits são armazenados na mesma ordem que eles são gerados pela amostragem, mas endereçados na mesma ordem em que eles são requisitados, sem a necessidade de se fazer cálculos internos de endereçamento.

No entanto, uma das principais funções encontradas num DSP é o cálculo das transformadas de Fourier.

Através da transformada de Fourier é possível representar uma forma de onda em termos de frequência (pela intensidade relativa do fundamental e harmônicas). Na figura 205 mostramos o que ocorre.

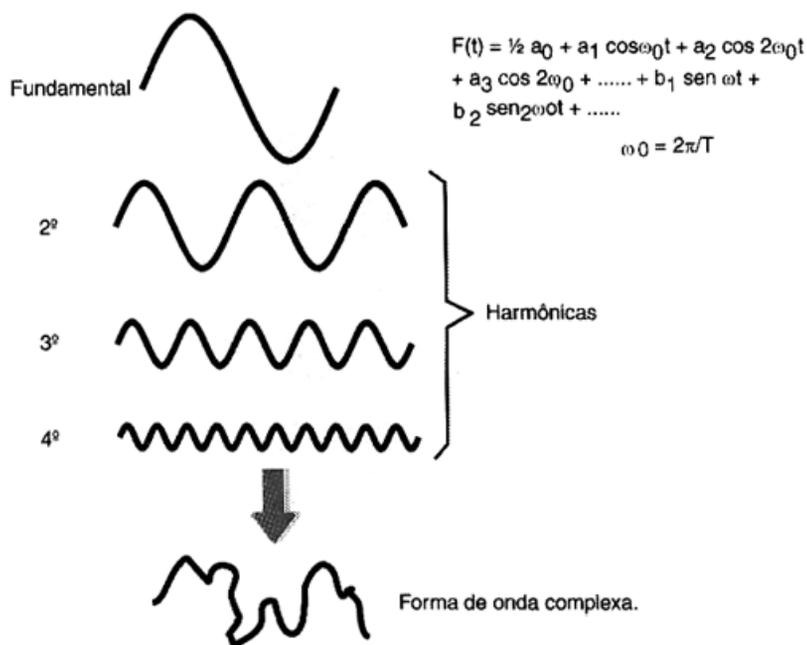
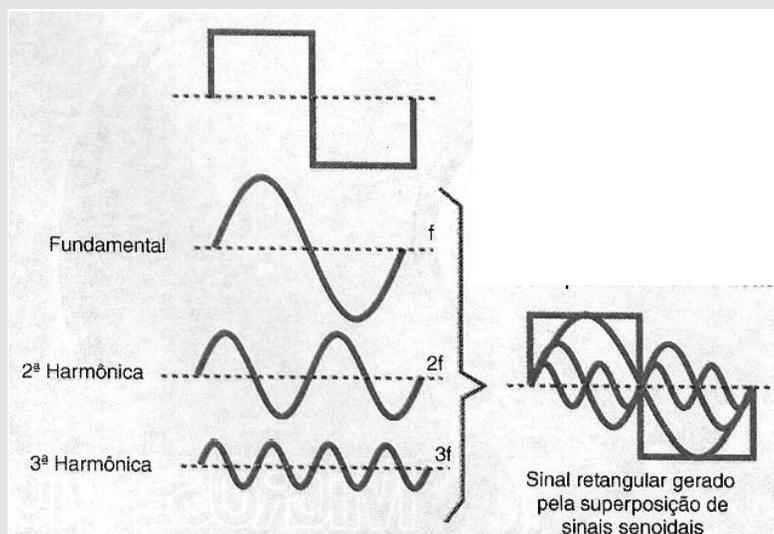


Figura 205 – Usando a Transformada de Fourier

Esta forma de representação torna simples a implementação de funções de processamento como, por exemplo, a de um filtro capaz de remover uma componente de frequência que leve o DSP a operar como um filtro passa faixas ou rejeita faixas.

Transformada de Fourier

A idéia básica de Fourier é que qualquer tipo de sinal, independentemente de sua forma de onda, é na realidade formado por um sinal senoidal de determinada frequência e uma quantidade (que pode ser infinita) de sinais senoidais de intensidades menores e de frequências múltiplas (harmônicas).



Isso significa que, tanto um sinal de qualquer forma de onda pode ser sintetizado por um sinal senoidal de certa frequência e sinais senoidais de frequências harmônicas e intensidades selecionadas, como a recíproca é verdadeira: qualquer sinal, independentemente de sua forma de onda pode ser decomposto num sinal senoidal de frequência fundamental e sinais senoidais de frequências harmônicas.

14.2.5 – Os DSPs comerciais

Diversos fabricantes possuem na sua linha de produtos DSPs. Daremos a seguir alguns exemplos. Observamos que o ideal é que o leitor entre nos sites das empresas citadas para ter informações sobre os seus produtos. Isso ocorre, porque sempre estão sendo lançados novos DSPs com características cada vez mais avançadas.

Assim, começamos pela Analog Devices que possui uma ampla linha de DSPs destacando-se tipos que são usados em brinquedos, sintetizadores de música, além de outras aplicações.

Informações sobre os DSPs da Analog Devices podem ser obtidas na Internet no endereço: <http://www.analog.com>

A Motorola tem também DSPs em sua linha de produtos como, por exemplo, tipos que podem executar uma instrução por ciclo de clock com baixa potência de consumo. A frequência máxima destes dispositivos pode superar os 80 MHz. Dentre as aplicações dos DSPs da Motorola temos: DVD, HDTV, Dolby, etc.

Uma linha de DSPs muito utilizada atualmente em projetos é a do TMS320 da Texas Instruments.

Os DSPs da Texas são fabricados segundo a arquitetura de Harvard que permite acessos simultâneos a instruções e operadores de dados.

O TMS320 da Texas Instruments é encontrado em diversas gerações e em versões tanto para operação com ponto fixo como com ponto flutuante.

Mais informações sobre os DSPs da Texas podem ser obtidas no site da Internet: <http://www.ti.com>

DSPs comerciais

Sugerimos visitar os sites dos fabricantes de DSPs digitando DSP em algum mecanismo de busca na internet (Google, por exemplo), pois eles estão constantemente lançando novos tipos, cada vez mais poderosos.

14.3 - FPGA

Muitas são as alternativas modernas para a criação de um novo produto. Microcontroladores, DSPs, FPGAs, ASICs e mesmo circuitos integrados de funções comuns podem ser utilizados.

Tudo dependerá de diversos fatores que o projetista deve considerar ao fazer a escolha. Esta escolha deve ser a melhor, para atender às necessidades do projeto, para que o produto seja um sucesso.

Uma solução comum que se adota na indústria de grande porte é o ASIC, (Application Specific Integrated Circuit), ou seja, o circuito integrado para uma aplicação específica que é criado com todos os recursos para se fazer o que se deseja. Telefones celulares, CD e DVD

players, câmeras digitais são alguns exemplos de produtos que fazem uso de ASICs.

A vantagem deste produto está no fato de se ter um componente único para aquela aplicação, com todos os recursos e apenas eles, minimizando custos e espaço numa placa, pois não há desperdício. A desvantagem está no tempo de desenvolvimento e custo, que só permite que este tipo de aplicação seja adotado numa linha de produção de larga escala.

Outra solução é o microcontrolador, que pode ser programado para se fazer o que se deseja. Existem centenas de soluções no mercado que permitem escolher um microcontrolador com características que sejam mais apropriadas a um projeto. No entanto, este tipo de solução também tem suas desvantagens.

Os microcontroladores, mesmo os que estejam mais próximos do que se deseja, nem sempre têm todas as funções necessárias à aplicação, exigindo que circuitos externos de certa complexidade sejam agregados. Por outro lado, sobram sempre funções que não são usadas, o que também significa um desperdício. O microcontrolador vem com suas funções implementadas na fábrica.

Uma solução cada vez mais adotada é aquela que não vem programada ou com todas as funções já disponibilizadas de fábrica. Trata-se da solução em que as funções são implementadas pelo usuário. Trata-se do FPGA, de que trataremos a seguir.

FPGA é o acrônimo para Field Programmable Gate Array consistindo num dispositivo ou hardware que pode ser reconfigurado ou programado pelo usuário. Trata-se de um circuito integrado que vem com um grande conjunto de blocos que, através de programação, podem ser configurados de tal forma que o conjunto exerça um determinado número de funções específicas.

Em outras palavras, trata-se de um chip que pode ser programado pelo usuário para fazer o que se deseja. Diferentemente de um microcontrolador que vem com os blocos prontos já numa estrutura definida e que pode ser programado para determinadas funções, o FPGA vem com os blocos desligados, sendo então interconectados por programação pelo usuário para fazer o que ele deseja. O microcontrolador vem com os blocos de funções fixos, enquanto que no FPGA o usuário os cria, conforme sugere a figura 206.

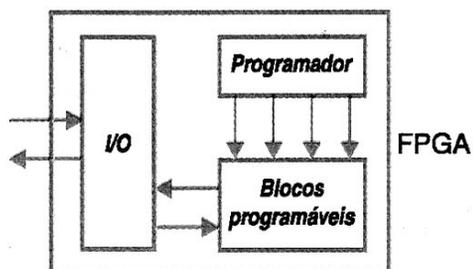


Figura 206 – Programando um FPGA

O FPGA foi criado pela Xilinx em 1983, mas hoje existem muitas empresas que disponibilizam em suas linhas de produtos este tipo de componente como a Altera, Actel, etc.

Um FPGA típico conta com três tipos de blocos, mostrados em sua disposição básica na figura 207. Estes blocos são:

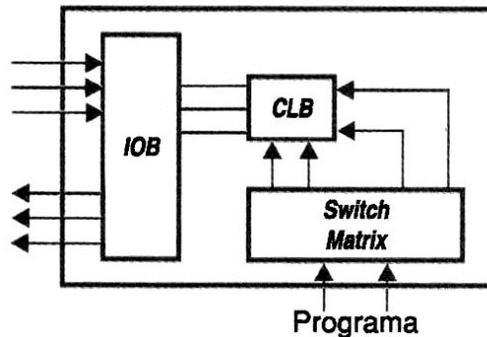


Figura 207 – Os blocos que formam um FPGA

CLB- Configuration Logical Blocks ou Blocos Lógicos de Configuração. Trata-se do coração do FPGA, consistindo em circuitos formados pela reunião de flip-flops além de lógica combinacional. Com eles é possível criar funções lógicas. Diversas são as configurações para estas células, dependentes do fabricante e do que se denomina “granulação” (grain).

Assim, nos FPGAs em que os grãos são grandes, os blocos lógicos podem ser complexos contendo pequenos microprocessadores, memórias, unidades lógicas e aritméticas, etc. Nos PFGAs com granulação média, já encontramos blocos lógicos menos complexos como funções lógicas de média complexidade. Finalmente, nos FPGAs de granulação fina ou grãos pequenos, encontramos funções simples em cada bloco como multiplexadores, flip-flops, etc.

Para cada empresa encontramos arquiteturas típicas com diversos tipos de granulação que influem na velocidade do dispositivo. Podemos então em primeiro lugar citar os FPGAs da Altera que utilizam LUTs ou Look-Up Table em que temos células de armazenamento que são empregadas para implementar as funções. Nesta arquitetura, cada bloco armazena apenas um bit, ou seja, um nível lógico 0 ou 1. Esta arquitetura também é usada pela Xilinx, conforme mostra um bloco típico na figura 208.

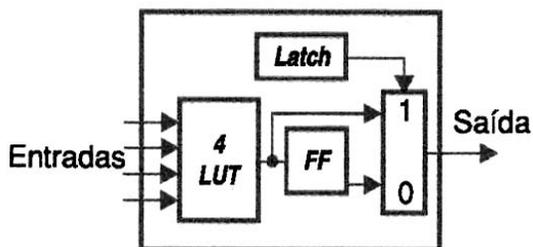


Figura 208 – Arquitetura com LUTs

Neste bloco temos diversas entradas que entram numa matriz programada determinando que tipo de função o bloco executa. Cria-se uma tabela verdade para o bloco, conforme a vontade do usuário. A saída deste bloco é então armazenada num flip-flop e utilizada quando solicitada pelo clock.

Outro tipo de configuração é a usada pela Plessey, mostrada na figura 209, e que consiste em portas NAND de duas entradas que são conectadas a outros blocos de funções de modo a implementar a função desejada.

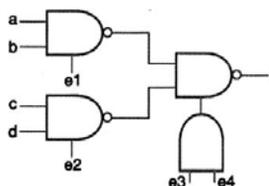


Figura 209 – Arquitetura com blocos NAND

Este bloco é do tipo de granulação fina, assim como o denominado “crosspoint” (ponto de cruzamento) que é mostrado na figura 210.

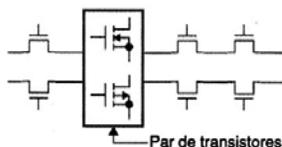


Figura 210 – Crosspoint

Num dos tipos possíveis temos um par de transistor em filas que são dispostos em linhas paralelas.

A Actel utiliza outro tipo de configuração que é mostra a figura 211.

Nela temos as entradas de multiplexadores conectadasde tal forma a permitir a implementação de diversas funções lógicas. Por exemplo, um multiplexador de duas entradas(a) e (b) selecionadas pode ser usado para implementar a função $ac+bc$.

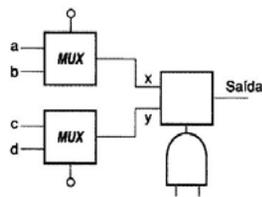


Figura 211 – Usando MUXs

IOB – Input/Output Blocks – Estes são os circuitos que têm por finalidade fazer o interfaceamento do FPGA com o mundo exterior. Eles levam às entradas dos CLBs os sinais externos e depois trazem de volta o resultado de suas operações. Basicamente, estes circuitos funcionam como buffers, exatamente como no caso de microcontroladores e DSP, trabalhando com sinais nos dois sentidos, conforme a programação.

Switch Matrix – São as chaves que fazem as interligações dos diversos blocos ou o roteamento dos sinais. Conforme podemos ver pela figura 212, os blocos lógicos formam uma matriz.

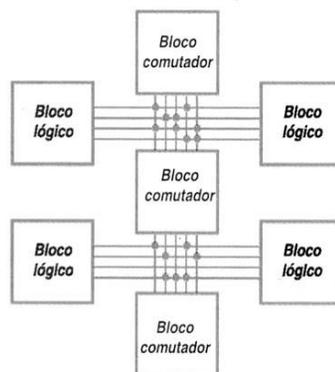


Figura 212 – Os blocos comutadores

Para que o circuito funcione, os diversos blocos devem ser interligados de forma apropriada o que é conseguido através de uma programação externa. Esta programação determinará exatamente o que o conjunto de blocos do FPGA vai fazer, ou seja, o modo final de seu comportamento.

As interligações dos blocos são chamadas também de roteamento, e existem diversas maneiras de se fazer isso, sendo as metodologias adotadas pelas diversas empresas próprias, dotando cada produto de características próprias pois elas influem na capacidade de processamento do dispositivo, na sua velocidade e em outros fatores que devem ser observados quando se realiza um projeto.

Na figura 213 temos um exemplo de roteamento utilizado pela Xilinx. Nele, as conexões são cruzadas havendo aquelas que se destinam à interligação dos blocos (passando os sinais de um para o outro) e as que se destinam à programação, ou seja, que determinam o que o bloco vai fazer.

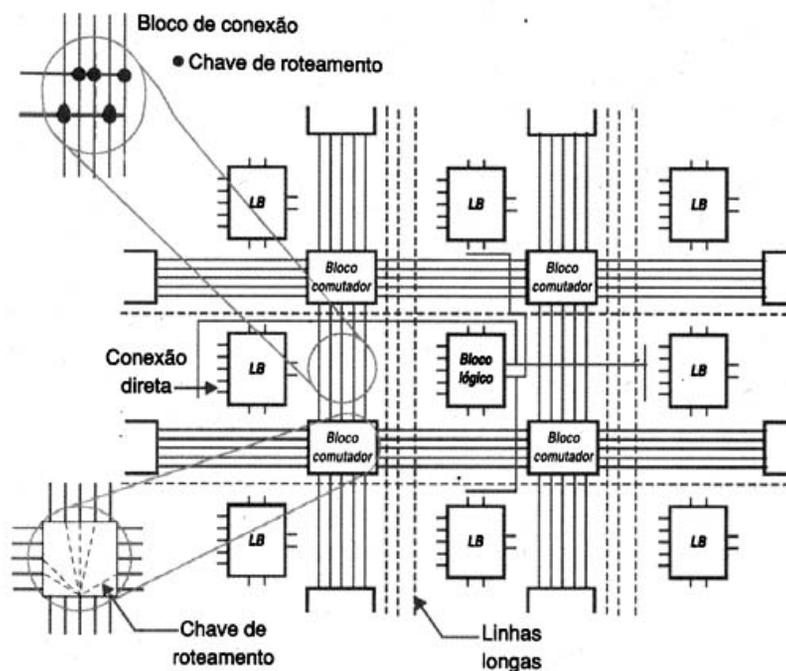


Figura 213 – Exemplo de roteamento

Para fazer as conexões, são utilizados transistores que funcionam como chaves ligando as diversas linhas de programação dos blocos, conforme elas devam ser utilizadas. Transistores também transportam os sinais para as linhas em que eles devem ser encaminhados.

Analisando estas linhas de interligação, podemos encontrar quatro funções diferentes: as linhas de uso geral que passam de um bloco para outro, conectando chaves. As linhas de conexão direta que tem a função de ligar um bloco a outro diretamente. As linhas longas, cuja finalidade é fornecer retardos para sincronizar os circuitos, e as linhas de clock que enviam os sinais que sincronizam todas as funções do FPGA.

Outras metodologias podem ser encontradas. A Actel, por exemplo, utiliza mais segmentos ou conexões no sentido horizontal do que no sentido vertical, conforme mostra a figura 214.

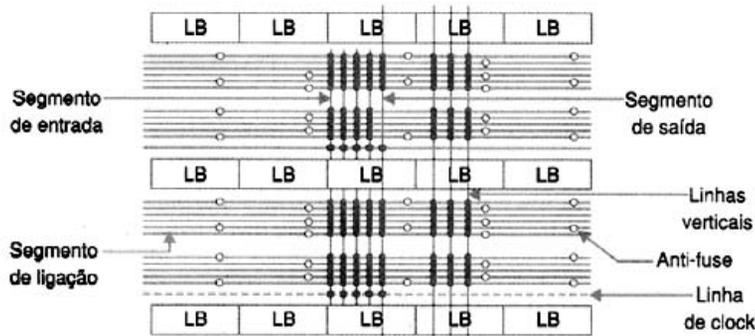


Figura 214 – Tecnologia usada pela Actel

Nesta tecnologia as linhas horizontais conectam os blocos comutadores enquanto que as linhas verticais correspondem aos blocos que devem ser comutados.

14.3.1 - As Tecnologias de Roteamento

As características das chaves programáveis de roteamento determinam muito do comportamento do dispositivo. Capacitâncias, resistências e a própria tecnologia segundo as quais são fabricadas vão influir em certas características como a velocidade, volatilidade e consumo de energia do dispositivo.

Por exemplo, uma capacitância mais elevada reduz a velocidade de propagação do sinal e, além disso, causa um aumento do consumo do dispositivo. Existem basicamente três tecnologias disponíveis para os FPGAs quanto aos dispositivos que são integrados no chip.

a) SRAM (Static Access Memory). Trata-se da mesma tecnologia usada para a fabricação de outros tipos de memórias. Nela, a chave que faz o roteamento dos sinais é um transistor que é controlado por uma memória SRAM, ou seja, uma memória estática. A principal desvantagem desta tecnologia está no fato de que a memória SRAM é volátil, ou seja, seus dados desaparecem quando o circuito é desligado. Para superar esta característica, os FPGAs deste tipo devem usar uma memória externa FLASH que contenha o programa. Com isso, temos de usar componentes adicionais na placa, significando custos e espaço adicionais na placa.

b) Antifuse – trata-se de uma tecnologia em que temos um dispositivo de dois terminais, semelhante a um fusível, conforme mostra a figura 215. O dispositivo apresenta uma alta impedância quando em condições normais, mas passa a apresentar uma resistência muito baixa quando lhe é aplicada uma tensão de programação entre 11 e 20 V. Antifuse ou antifusível, porque diferentemente dos fusíveis comuns que “abrem” com a corrente, este dispositivo “fecha” o circuito quando a corrente de programação é aplicada. Trata-se da mesma tecnologia usada na programação de PROMs.

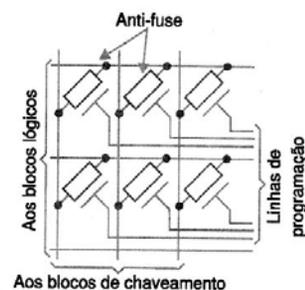


Figura 215 – O anti-fuse

c) Floating Gate (Comporta Flutuante) – nesta tecnologia temos a existência de transistores MOS, como os utilizados nas memórias EEPROM e EEPROM. Estes transistores possuem duas comportas para programação e controle. A maior vantagem desta tecnologia está no fato de que os dados são retidos, mesmo depois de cortada a alimentação, podem ser reprogramados por tensão (EEPROM) e, além disso, esta operação pode ser feita com o CI instalado na própria placa, recurso denominado ISP (In System Programmability).

Conforme pudemos ver, existem diversas tecnologias disponíveis e dentro de uma mesma tecnologia, o modo de construção pode variar, por exemplo, o tamanho dos blocos lógicos. O que isso significa para a performance de um FPGA? Como levar em conta estes fatores. Damos a seguir alguns itens importantes que devem ser considerados:

Comparação com outras tecnologias

Pelo que vimos a respeito dos FPGAs, o leitor já pode ter uma visão geral do que estes dispositivos podem fazer e como são utilizados. No entanto, sua escolha pode ser feita de uma maneira melhor, se fizermos uma comparação com outras tecnologias.

Por exemplo, o tamanho dos blocos lógicos é um primeiro ponto que deve ser observado na escolha de um FPGA para uma aplicação. Um bloco grande implementa mais funções, exigindo-se assim menor número de blocos para o equipamento. No entanto, um bloco maior exige mais espaço. Existe, portanto, um compromisso entre o tamanho do bloco e o número de funções implementadas, devendo o projetista escolher a melhor relação entre os dois para o seu projeto.

A área lógica ativa é menor do que a área lógica total, incluindo a de programação e de saídas/entradas e também as conexões de roteamento. Na verdade, de 70 a 90% da área de um FPGA consiste em conexões de roteamento. Assim, o tipo de roteamento deve ser considerado na escolha de um FPGA para uma aplicação.

A granulação também é importante. Maior granulação (grãos maiores) significa um menor retardo dos sinais. Com o aumento da granulação também temos menor número de percursos para os sinais (entre blocos).

Os FPGAs também não devem ser confundidos com os CPLDs. Enquanto os FPGAs são formados por uma grande quantidade de pequenos blocos, os CPLDs são formados por pequena quantidade de grandes blocos. Os FPGAs são baseados em RAMs, o que significa que eles precisam ser reprogramados quando ligados novamente, existindo uma memória externa para isso.

Os CPLDs são baseados em EPROM, não sendo, portanto, voláteis. Os CPLDs são mais rápidos, por terem menos blocos, mas em compensação são menos flexíveis. Os FPGAs podem ser facilmente roteados para implementar funções aritméticas e RAM, o que não

ocorre com os CPLDs. Os CPLDs são mais indicados para projetos simples, enquanto que os FPGAs podem ser usados em projetos complexos.

Comparando com os microcontroladores, vemos que estes componentes já vêm com todas as funções prontas e podemos apenas mexer no software. Se o projeto que desejamos não puder usar o hardware existente precisaremos de componentes externos, o que pode encarecer o projeto.

Da mesma forma, os DSPs já vêm com todas as funções prontas devendo as mesmas serem aproveitadas apenas por programação. Se não puderem comportar o que se deseja, devem ser empregados circuitos externos adicionais.

Finalmente temos o caso de circuitos integrados comuns, que certamente serão necessários em grande quantidade, pois cada um só pode conter poucas funções e além do custo, vão ocupar uma área muito grande na placa de circuito impresso, se a implementação do projeto exigir um circuito de alguma complexidade. Esta solução se aplica apenas a circuitos muito simples.

Visita aos fabricantes

A maioria dos fabricantes disponibiliza tutoriais e ampla documentação sobre o uso de seus FPGAs. Evidentemente, os interessados devem dominar o inglês. E, para implementação dos projetos, devem ter os recursos necessários como os programas e as placas.

Termos em inglês

Na literatura técnica em português, também no caso dos microcontroladores, microprocessadores, DSPs e FPGAs, uma boa quantidade de termos são mantidos na sua forma original em inglês, se bem que possamos fazer sua tradução. Alguns destes termos:

Bus – barramento
Architecture – arquitetura
Arithmetic – aritmética
Logical – lógico
Crosspoint – ponto de cruzamento
Fuse – fusível
Floating – flutuante
Swap – troca
Stream - corrente

Termos para pesquisa

- Microcontroladores
- PIC
- MSP430
- Automação com microcontroladores
- PLC ou CLP
- DSP
- FPGA
- Fourier

Questionário

1 - Os microcontroladores:

- a) Exigem mais componentes externos que os microprocessadores
- b) Exigem menos componentes externos que os microprocessadores
- c) São mais poderosos do que os microprocessadores
- d) São mais rápidos que os DSPs

2 - Para programar um microcontrolador precisamos de:

- a) Um FPGA
- b) Um DSP
- c) Uma placa de programação
- d) Uma placa de compilação

3 - Os DSPs:

- a) Processam sinais digitais de forma analógica
- b) Processam sinais digitais na forma digital
- c) Convertem sinais digitais em analógicos
- d) Processam digitalmente sinais analógicos

4 - Qual é a característica principal de um DSP no processamento de um sinal?

- a) Fidelidade
- b) Precisão
- c) Potência
- d) Velocidade

5 - Na entrada de um DSP encontramos:

- a) Um conversor A/D
- b) Um conversor D/A
- c) Um circuito equalizador
- d) Um amplificador

6 - Que tipo de programação contém um FPGA antes de ser usado?

- a) Um código digital
- b) Vem vazio
- c) Um programa com portas NAND
- d) Um programa em Pascal



» RESPOSTAS

» LINKS

Respostas

- 8) 1-a, 2-a, 3-d, 4-c 5-b
- 9) 1-b, 2-c, 3-a, 4-b, 5-d
- 10) 1-d, 2-d, 3-a, 4-d
- 11) 1-c, 2-a, 3-b, 4-b, 5-d, 6-c
- 12) 1-b, 2-d, 3-c, 4-b, 5-c
- 13) 1-b, 2-a, 3-c, 4-d, 5-d, 6-b, 7-d
- 14) 1-b, 2-c, 3-d, 4-d, 5-a, 6-b

Links

Artigos no site do autor (www.newtoncbraga.com.br)

- MEC052 – Controle programável
- ART380 – Usando circuitos integrados CMOS pouco conhecidos
- ART273 – Automação residencial
- ART128 – Neon & CMOS
- ART066 – Sequencial de 6 canais
- ART144 – Conheça o 4013
- ART183 – Automatismo biestável
- ART147 – Chaves digitais seqüenciais
- INS020 – Gerador Senoidal Digital
- ART1300 - Módulo digital didático de contagem
- ART566 – Divisores com ciclos ativos de 50%
- ART478 – Indicador de precedência
- ART238 – Gerador de números aleatórios
- ART355 – Contador até 19
- ART411 – Sequencial multi-uso
- ART152 – Módulo contador de 3 dígitos
- ART087 – Conheça o LM3914
- ART063 – Contador binário até 99



» TEMPORIZAÇÃO DE PRECISÃO COM O 4020

» CONHEÇA O 4017

TEMPORIZAÇÃO DE PRECISÃO COM O 4020

Os circuitos integrados de temporização, como o 555, não atendem às aplicações mais críticas que exigem longos intervalos de tempo ou temporização precisa. Para esses casos, em que tempos de mais de uma hora são necessários, circuitos especiais devem ser projetados, quer seja com base na frequência de referência da rede de energia, como dos sinais gerados por osciladores controlados a cristal.

Para gerar temporizações longas, circuitos integrados baseados em constante de tempo RC, como o 555 não oferecem a precisão exigida por aplicações mais críticas, como as encontradas na indústria.

Os circuitos desse tipo dependem de fugas dos capacitores, precisão dos componentes usados e em temporizações acima de 1 hora não oferecem segurança alguma de funcionamento.

Para temporizações longas e com precisão a melhor tecnologia é a que faz uso de bases de tempo precisas, como a rede de energia e divisores de frequência com circuitos digitais, conforme mostra a figura 1.

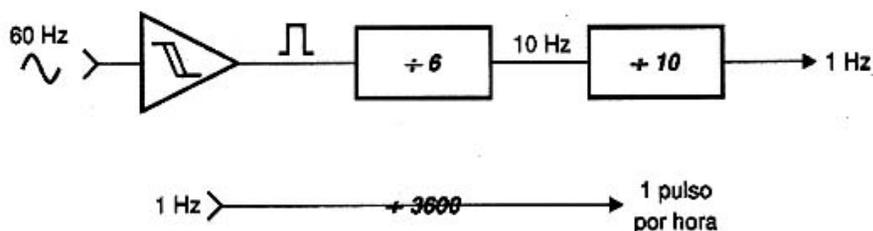


Figura 1

Por exemplo, para obter uma temporização de 1 hora (3 600 segundos), simplesmente utilizamos um oscilador preciso de 1 Hz e um divisor de frequência por 3 600. No final do circuito obtemos um pulso a cada 3 600 de entrada, ou seja, um pulso por hora, que pode ser utilizado para disparar a aplicação desejada.

Obtendo os Circuitos

Com componentes comuns não temos grandes dificuldades em obter osciladores de 1 Hz controlados a cristal e nem de obter essa frequência a partir dos 60 Hz da rede de energia.

Começamos por um circuito que permite obter 1 Hz a partir dos 60 Hz da rede de energia.

Na figura 2 temos então uma etapa que transforma o sinal senoidal de 60 Hz obtido no secundário de um pequeno transformador, num sinal retangular compatível com a tecnologia CMOS.

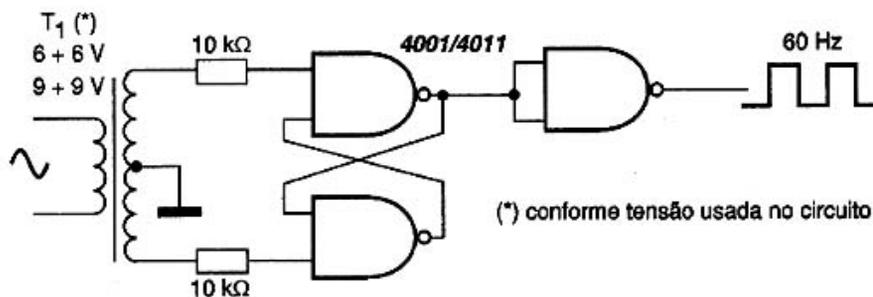


Figura 2

Esse sinal é aplicado num divisor por 6 e depois num divisor por 10, obtendo-se dessa forma, um sinal de 60 Hz.

O ciclo ativo do sinal obtido não é de 50%, mas isso não é tão importante na aplicação, pois ele será usado apenas para excitar os blocos seguintes de contagem que farão as temporizações mais longas.

Podemos ir além, para o caso de não precisarmos de uma definição de 1 segundo na temporização e fazer nova divisão por 10, conforme mostra a figura 3.

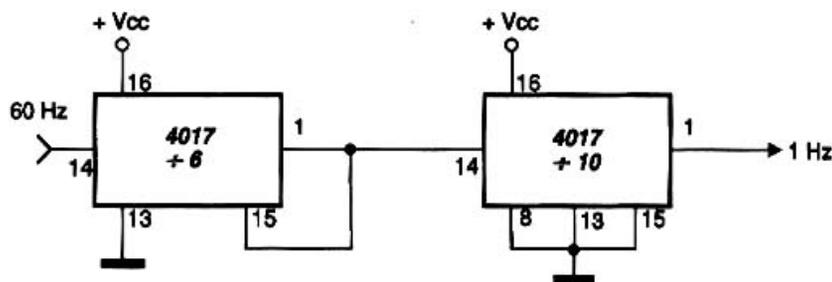


Figura 3

Nesse caso, temos um pulso a cada 10 segundos, o que nos leva à possibilidade de projetar um temporizador com passos de 10 segundos.

Veja que a contagem feita com o circuito integrado 4017 pode ser programada para qualquer valor entre 2 e 10, o que significa que podemos criar diferentes passos de temporização num circuito, conforme mostra a figura 4.

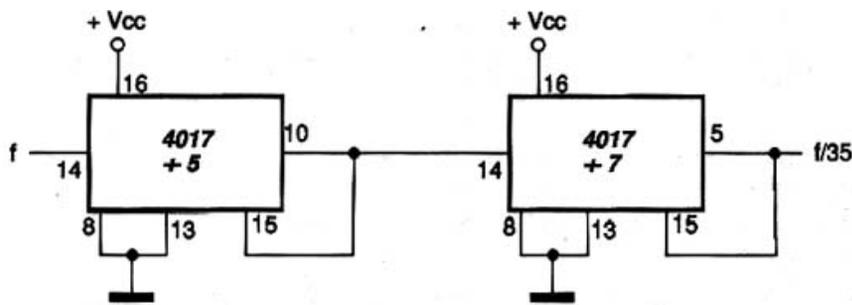


Figura 4

Por exemplo, se quisermos passos de 35 segundos, bastará fazer a divisão por 5 e por 7.

Num CI ligamos a quinta saída ao reset e noutra a sétima saída ao reset. Com isso, temos a produção de 1 pulso de saída a cada 35 de entrada.

É claro que esses tempos são pequenos, e se quisermos tempos muitos longos os circuitos integrados desses blocos de entrada não se aplicam.

Para temporizações longas temos a possibilidade de contar com o circuito integrado 4020.

Os circuitos integrados 4020

Os circuitos integrados CMOS 4020, 4040 e 4060 são formados por contadores binários com diversos estágios, destinados justamente a fazer a divisão de frequência de sinais lógicos que sejam aplicados a sua entrada ou ainda a contagem de pulsos.

Analisemos cada um separadamente, antes de darmos as aplicações em temporização.

a) 4020

O circuito integrado 4020 é formado por um contador de binário de 14 estágios com a pinagem mostrada na figura 5.

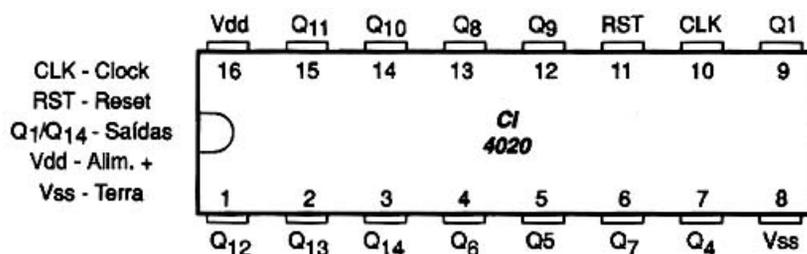


Figura 5

Com 14 etapas, cada uma fazendo a divisão do sinal por 2, chegamos a $2^{14} = 16\ 384$, o que quer dizer que, em princípio podemos usar esse CI para fazer a divisão de frequência de um sinal por qualquer sinal que seja potência de 2 até 16 384, conforme a tabela I:

Saída	Divisão
Q1	2
Q4	16
Q5	32
Q6	64
Q7	128
Q8	256
Q9	512
Q10	1024
Q11	2048
Q12	4096
Q13	8192
Q14	16384

Veja que não existem saídas para as divisões por 4 e 8 (Q2 e Q3).

Como qualquer componente da família CMOS o 4020 pode ser alimentado com tensões de 3 a 15 V e a frequência máxima de operação depende da tensão de alimentação, conforme a seguinte tabela, em que também damos as correntes máximas que podem ser obtidas nas saídas:

Frequência máxima de operação	5 V	4	MHz
	10 V	10	MHz
	15 V	12	MHz
Corrente drenada/fornecida	5 V	0,88	mA
	10 V	2,25	mA
	15 V	8,8	mA

Na operação normal o Reset é aterrado. Para zerar o circuito ele deve ser levado ao nível alto por um instante.

O circuito avança uma unidade na contagem na transição negativa do pulso de entrada.

Nas saídas, partindo de todas com o nível 0, os níveis vão passando a 1 conforme a contagem binária dos pulsos.

Usando o 4020

Evidentemente, a forma mais simples de se usar o 4020 numa temporização longa é ligar diretamente um circuito de excitação de relé na saída correspondente.

Assim, na figura 6, temos um temporizador que aciona um relé por certo intervalo de tempo a cada 4096 segundos, ligando-o a base do transistor a Q12.

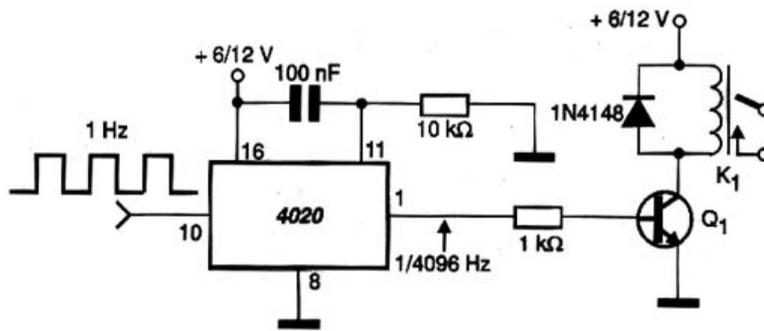


Figura 6

No entanto, 4096 não é um valor comum nas exigências dos projetos que podem precisar de tempos “inteiros” como 1 minuto, 10 minutos, meia hora, uma hora ou duas horas (e mesmo mais).

Como obter esses valores em segundos (60, 600, 1800, 3600 ou 7200) a partir das saídas do 4020?

A solução para esse problema está na utilização de uma porta adicional CMOS que pode combinar os valores das saídas binárias do 4020 de modo a obter valores diversos de tempos de acordo com a entrada. O circuito integrado recomendado mais comum para essa aplicação é o 4012.

Conforme mostra a figura 7, este CI consiste em duas portas NAND de 4 entradas.

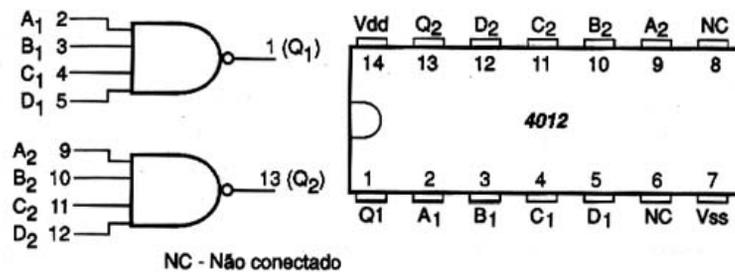


Figura 7

Combinando essas entradas com uma porta ou NAND como o 4001, podemos facilmente trabalhar com 8 saídas do 4020 de modo a obter contagens bem próximas de valores inteiros como desejamos.

Na figura 8 damos uma idéia de como obter uma função lógica de 8 entradas que poderá ser usada nas temporizações.

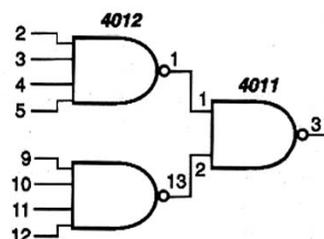


Figura 8

Para entender como esse circuito funciona, vamos partir da tabela verdade de uma das portas do 4012.

Tabela II:

A	B	C	D	S
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

Conforme podemos ver pela tabela, obtemos o nível alto na saída somente quando todas as entradas estiverem no nível alto.

Levando isso ao 4020 e inicialmente trabalhando com apenas 4 saídas, vamos supor que desejamos uma temporização 336 segundos de forma precisa.

336 segundos pode ser decomposto em fatores que sejam potência de 2, a partir da tabela I da seguinte forma:

$$336 = 256 + 64 + 16 + 2$$

Ora, pela tabela:

$$256 = Q8$$

$$64 = Q6$$

$$16 = Q4$$

$$2 = Q1$$

Basta então ligar as entradas de uma das portas do 4012 às saídas Q1, Q4, Q6 e Q8, para se obter a temporização, a partir de uma entrada de 1 Hz.

Evidentemente, para se garantir que a partida da temporização seja feita a partir de 000....000 é preciso agregar a rede mostrada na figura 9.

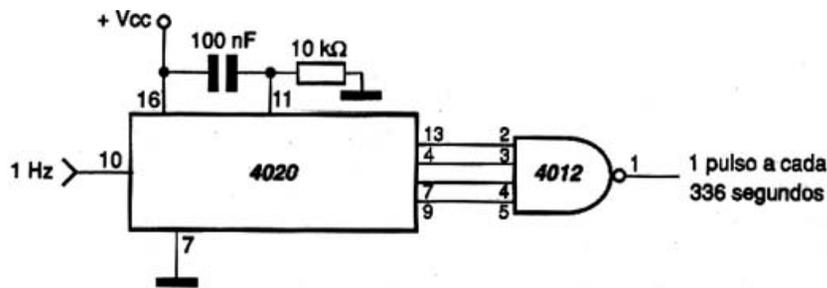


Figura 9

Esse circuito resseta a contagem quando a alimentação é ligada. Observe, entretanto, que “demos sorte” de nosso exemplo, não precisarmos contar com as saídas Q2 e Q3 de divisão por 4 e 8 e que também só precisamos de 4 saídas combinadas para obter a temporização necessária.

No primeiro caso, se precisarmos contar com as saídas de peso 4 e 8 segundos, dependendo da aplicação, uma diferença desse valor na temporização pode ser tolerada e o valor final pode ser aproximado sem seu uso.

No segundo caso, podemos usar as duas portas existentes no 4012 e combiná-las na saída usando uma porta NAND.

Vamos dar um exemplo, em que as duas portas são usadas:

Precisamos de uma temporização de 1500 segundos (25 minutos) a ser obtida a partir de um sinal de 1 Hz aplicada na entrada do circuito.

Quais devem ser as saídas do 4020 usadas nesse caso e como devemos usar o 4012 na sua combinação?

Os 1500 segundos podem ser decompostos em potências de 2, conforme a seguinte tabela que já leva em conta as saídas do 4012:

Potência de 2	Saída
1024	Q10
256	Q8
128	Q7
64	Q6
16	Q4
2	Q1

Vamos usar 4 entradas de uma das portas e mais uma da outra porta.

No entanto, as entradas não usadas da segunda porta não devem ficar livres. Para manter a função desejada, ligamos ao positivo da alimentação (nível alto) as portas não usadas, conforme mostra a figura 10.

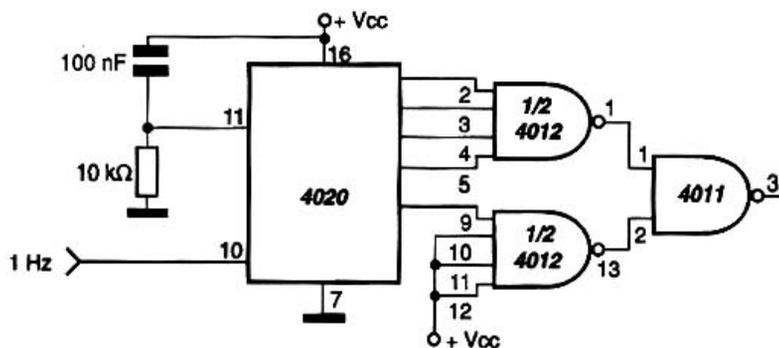


Figura 10

O resultado final é que, levando em consideração a função NAND a saída final do circuito irá ao nível baixo, a cada 1500 pulsos de entrada do temporizador. O circuito driver para acionamento de uma carga no nível baixo é o mostrado na figura 11.

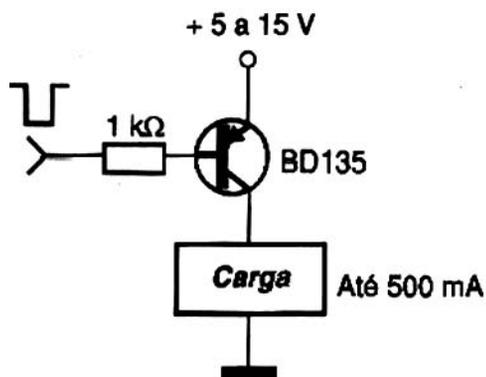


Figura 11

Evidentemente, se os pulsos de entrada tiverem uma frequência mais baixa, 0,1 Hz ou um pulso a cada 10 segundos a temporização ficará multiplicada por 10, ou seja, teremos um pulso a cada 15 000 segundos, ou 250 minutos (6 horas e 10 minutos)

Os circuitos integrados 4011 e 4012 podem ser alimentados com tensões de 3 a 12 V e em sua saída obtemos as mesmas correntes do 4020 o que possibilita o acionamento direto de diversas etapas de potência como as mostradas na figura 12.

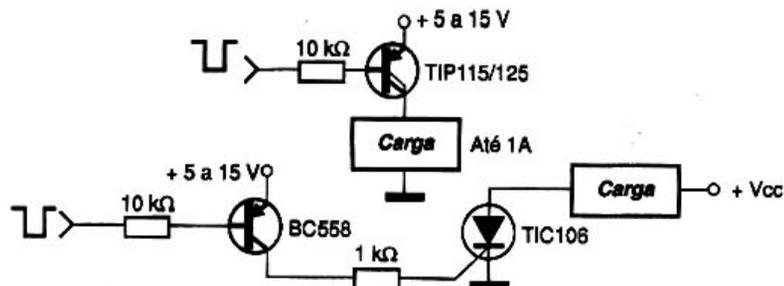


Figura 12

Observe, entretanto, que o ciclo ativo das configurações obtidas varia bastante conforme o circuito. Assim, podemos dizer que, dependendo das saídas usadas, os pulsos de disparo da carga podem variar entre alguns segundos até o máximo.

Por exemplo, se a saída menor usada for a Q6, podemos garantir que a carga será ativada por um tempo equivalente a 64 ciclos do sinal de entrada.

Isso deve ser considerado quando vamos controlar algum dispositivo externo diretamente pela saída CMOS obtida.

Se desejarmos ter independência no acionamento devemos optar por monoestáveis ou circuitos com trava que sejam acionados com o pulso obtido no final da temporização.

Um exemplo de circuito com trava é justamente o que faz uso de um SCR no controle da carga,

Observação:

Existem dois outros circuitos integrados CMOS da mesma série do 4020 que também podem ser usados nas aplicações que descrevemos.

O primeiro deles é o 4040 que consiste num divisor contador de 12 estágios e que, portanto, possui as duas saídas que faltam no 4020, se bem que ele só alcance a divisão até 4096.

O outro é o 4060 que além dos 14 estágios divisores já possui um oscilador interno, se bem que seja do tipo RC.

CONHEÇA O 4017

Um dos componentes mais usados em projetos de todos os tipos é o circuito integrado 4017. Este circuito integrado CMOS pode ser usado como seqüenciador, temporizador, e em sistemas de automação de pequeno porte além da codificação em controle remoto. Dada a quantidade de pedidos de leitores que desejam saber tudo sobre este componente, preparamos este interessante artigo que procura desvendar os principais segredos do 4017. Para obter a folha de dados (datasheet) do 4017 digite CD4017 no quadro de busca do site www.newtoncbraga.com.br.

Não há limite para o que pode ser feito com o circuito integrado 4017. Podemos fazê-lo contar até qualquer número entre 2 e 9 e cascateando diversos deles podemos ir além. Podemos usá-lo em temporização, codificação, para gerar formas de ondas, efeitos de luz e som e muito mais. Tudo isso justifica a frequência com que o leitor encontra projetos que se baseiam neste circuito integrado. Usar o circuito 4017 é simples, e uma vez que o leitor domine esta técnica, poderá fazer seus próprios projetos usando este componente. Assim, nas linhas seguintes vamos mostrar como funciona o 4017 e como podemos usá-lo de diversas maneiras.

O Circuito Integrado 4017

O circuito integrado 4017 pertence a família lógica CMOS em que os componentes podem funcionar com tensões de 3 a 15 Volts e possuem características que permitem sua interligação direta e com outros componentes como o 555. No 4017 encontramos um contador/decodificador Johnson com uma entrada e 10 saídas, conforme mostra o diagrama de blocos da figura 1.

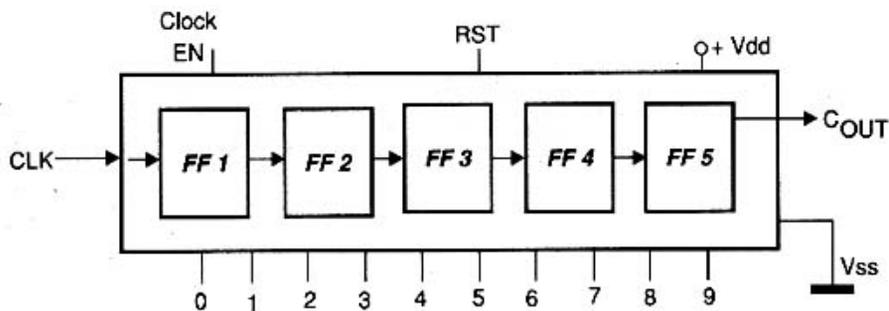


Figura 1 – Diagrama de blocos do circuito integrado 4017. Observe que ele possui uma entrada e dez saídas.

Conforme podemos ver, ele é formado por 5 etapas que podem fazer a divisão de um sinal retangular por valores entre 2 e 9. O 4017 é fornecido em invólucro DIL de 16 pinos com a disposição de terminais mostrada na figura 2.

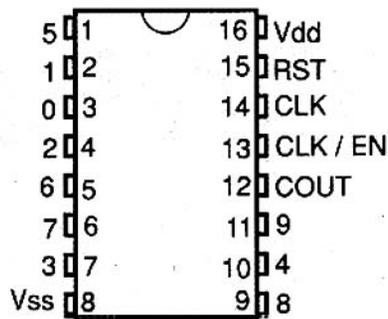


Figura 2 – Invólucro e pinagem da versão DIL, que é a mais comum para aplicações práticas.

Na operação normal, os pinos 13 e 15 são aterrados e pulsos retangulares são aplicados ao pino de entrada (14). Conforme podemos ver então pelo diagrama de tempos mostrado na figura 3, partindo da condição em que a saída S0 se encontrada no nível alto, e as demais no nível baixo, ocorre o seguinte: a cada pulso aplicado, a saída que está no nível alto passa ao nível baixo e a seguinte passa ao nível alto.

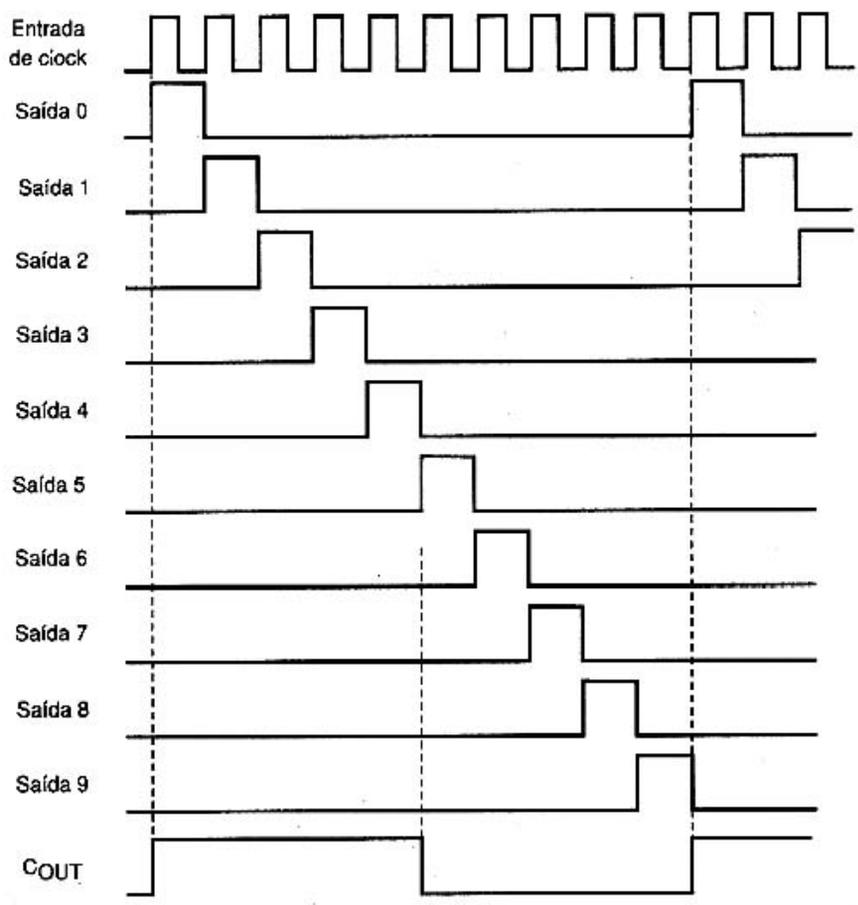


Figura 3 – Diagrama de tempos do 4017.
Observe os níveis lógicos das saídas.

O processo ocorre até se chegar à última saída. Com um novo pulso, essa saída vai ao nível baixo e a primeira vai ao nível alto, recomeçando o processo. Podemos ressetar a contagem do 4017 levando por um instante o pino 13 ao nível alto. Uma forma de se fazer com que o 4017 sempre parta do zero, com a primeira saída no nível alto é com um circuito de “reset ao ligar” conforme mostra a figura 4. Este circuito também é denominado POR (Power-On Reset).

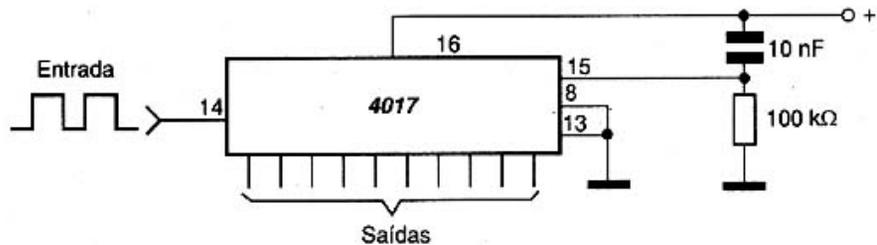


Figura 4 – Circuito de “reset ao ligar” ou power-on reset (POR) para o 4017.

Os circuitos integrados 4017 podem ser cascateados de modo a se obter a divisão por 10, 100, 1000, etc., conforme mostra a figura 5.

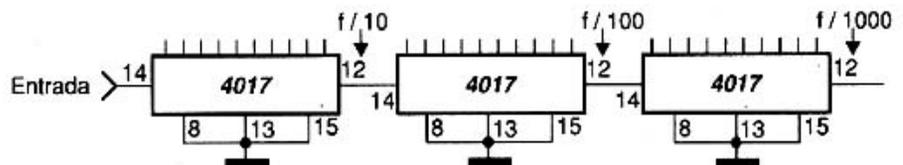


Figura 5 – “Cascateando” circuitos integrados 4017.

Mas, podemos programar o 4017 para fazer contagens menores que até 10. Para isso, basta ligar o pino imediatamente posterior ao número que desejamos contar à entrada de reset, conforme mostra a figura 6.

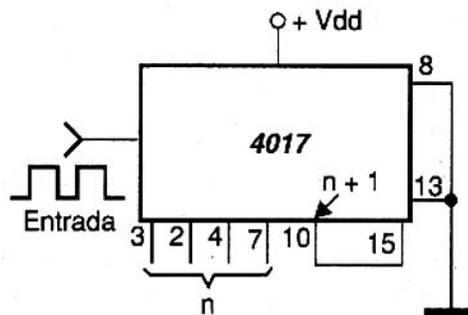


Figura 6 – Contando até n (n até 10)

Por exemplo, se desejarmos contar até 4, com a ativação de uma saída de 4 em seqüência, basta ligar a quinta saída ao pino de reset. Se desejarmos contar até n (n menor que 10) basta ligar o pino posterior a n no reset (15).

Características elétricas

As características elétricas são dadas pela seguinte tabela:

Característica	Condições (Vcc)	Valor	Un.
Corrente drenada/fornecida (tip)	5 V	0,88	mA
	10 V	2,25	mA
	15 V	8,8	mA
Frequência máxima de clock (tip)	5 V	256	MHz
	10 V		MHz
	15 V		MHz
Corrente quiescente (max)	5 V	0,3	mA
	10 V	0,5	mA
	15 V	1,0	mA
Faixa de Tensões de alimentação	3 a 15		V

Conforme podemos ver, o tipo de saída usada neste circuito integrado permite que ele tenha a mesma capacidade de drenar ou fornecer correntes a uma carga. Como nas aplicações normais, a corrente máxima que ele pode fornecer é pequena é comum fazermos uso de etapas de potência para excitar cargas de maior consumo.

Na figura 7 temos alguns tipos de etapas que podem ser usadas com o 4017.

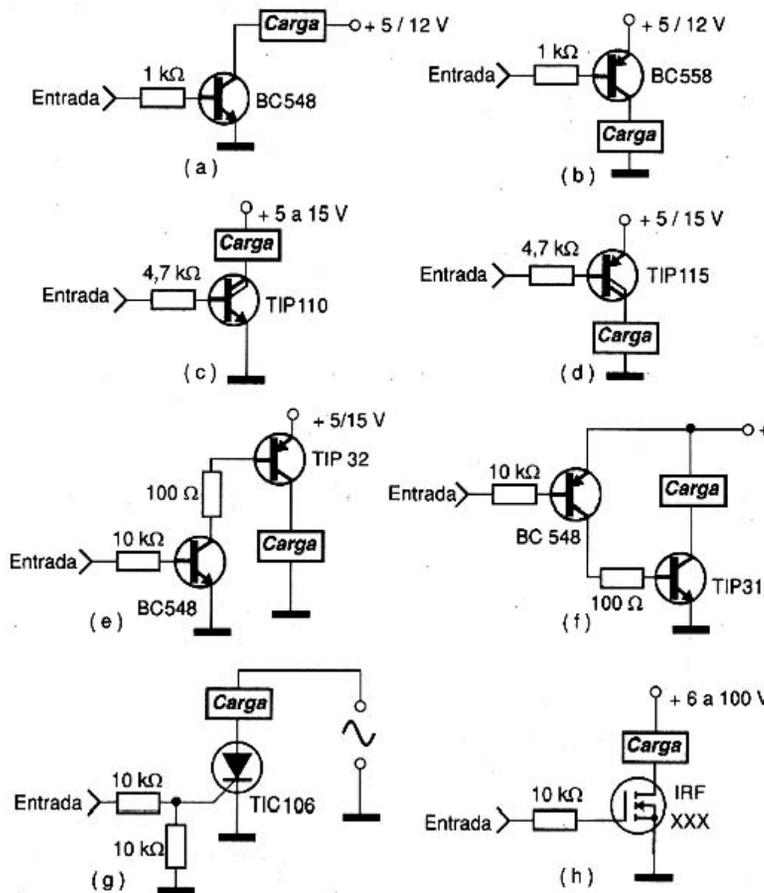


Figura 7 – Algumas etapas de potência para excitar cargas de correntes elevadas.

Em (a) temos a excitação no nível alto com um transistor NPN para cargas até 100 mA. Para a excitação no nível baixo, temos o circuito com transistor PNP mostrado em (b). Desejando excitar cargas de maior potência temos em (c) uma versão que faz uso de um transistor Darlington NPN. Esta versão é excitada com a saída no nível alto. Para excitar cargas no nível baixo, temos o uso de um Darlington PNP, conforme mostrado em (d). Em (e) temos a possibilidade de se usar um par complementar de transistores comuns para excitar cargas com altas correntes no nível alto. A configuração equivalente para excitar no nível baixo é mostrada na figura (f). Também podemos excitar SCRs (g) e Power MOSFETs conforme mostrado na mesma figura em (h).

Para excitar a entrada de um 4017 também temos várias possibilidades mostradas na figura 8.

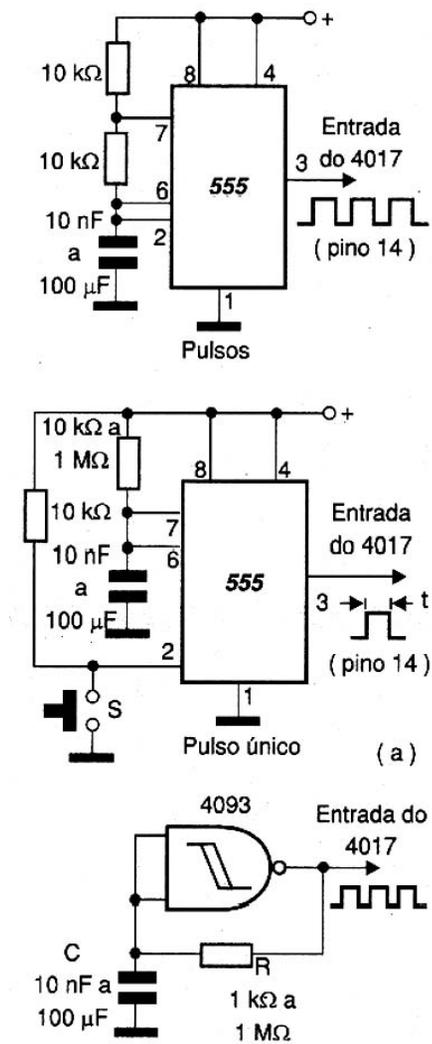


Figura 8 – Gerando pulsos para excitar o circuito integrado 4017. A frequência máxima depende do componente utilizado e deve ser menor do que a máxima admitida pelo 4017.

A primeira faz uso do conhecido circuito integrado 555 que é totalmente compatível com o 4017, conforme podemos observar. A segunda faz uso de um oscilador ou outro circuito de porta com o circuito integrado 4093. Outras funções CMOS podem ser usadas com a mesma finalidade. Ao excitar um 4017, entretanto devemos ter em mente que o sinal deve ser perfeitamente retangular livre de repique (oscilações) que podem falsear a contagem.

Aplicações:

Damos, a seguir, alguns circuitos práticos com base no 4017.

a) Seqüencial de 10 LEDs

Na figura 9 temos um circuito seqüencial que aciona 10 LEDs numa velocidade que pode ser ajustada no potenciômetro P1 e que depende basicamente do capacitor C1.

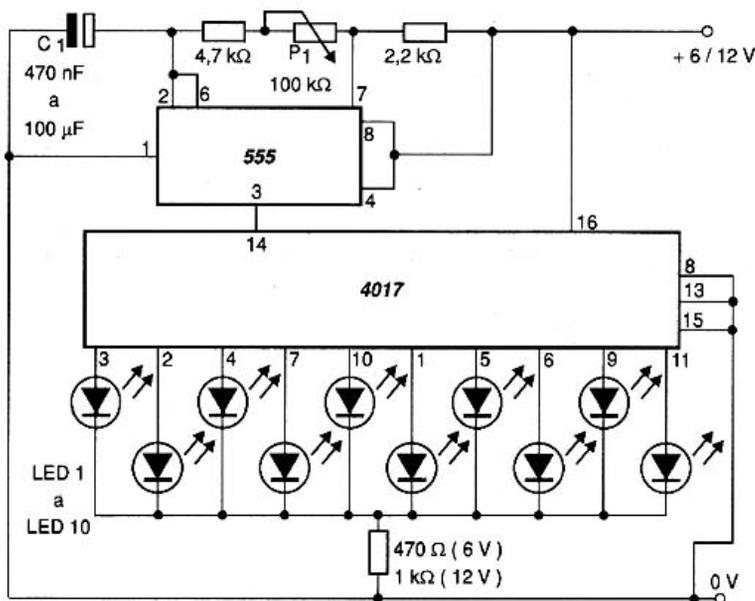


Figura 9 – Seqüencial de 10 LEDs. Podemos usar menos LEDs usando a técnica de contagem até n da figura 6.

O resistor comum ao catodo de todos os LEDs tem por finalidade limitar a corrente no circuito. Para acionamento de cargas de potência podemos interfacear com transistores ou mesmo SCRs, como mostra a figura 10.

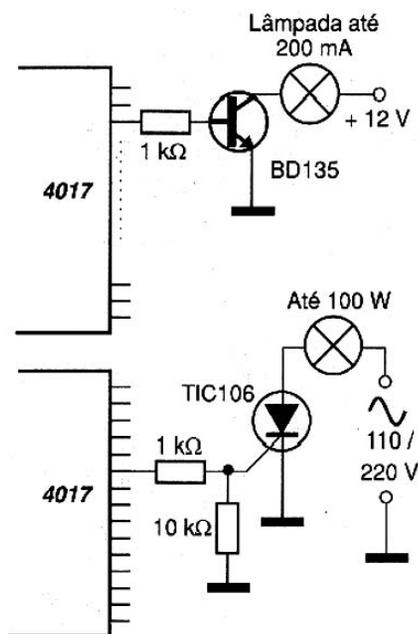


Figura 10 – Excitando transistores de média potência ou SCRs.

Observe que no caso dos SCRs eles possuem um terra comum ao circuito de alta e baixa frequência. Isso é absolutamente necessário ao disparo. Uma possibilidade a ser considerada para excitar cargas de boa potência com transistores é a utilização de Darlingtonos. No caso do TIP121, que substituiria o BD135 podemos aumentar o resistor de base de 1 k para 4k7.

b) Seqüencial de 4 LEDs

Para acionamento de 4 LEDs num sistema seqüencial temos o circuito da figura 11.

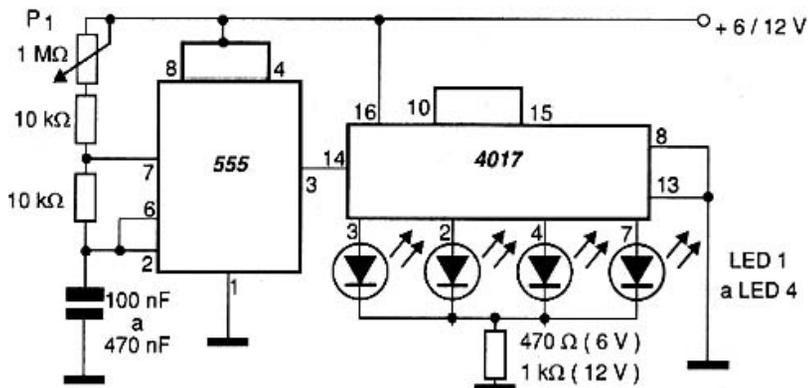


Figura 11 – Seqüencial de 4 LEDs usando a técnica da contagem até n da figura 6.

Também podemos acionar cargas de maior potência com transistores e SCRs como na versão anterior. Uma variação interessante para os dois circuitos consiste em se fazer um “sorteador” de números.

Na figura 12 mostramos como habilitar o 555 de modo que ele gere um trem de pulsos e assim, no final do processo, apenas um LED fique aceso.

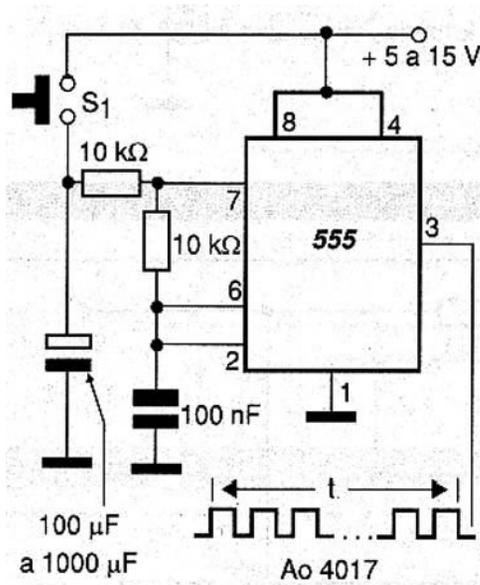


Figura 12 – Circuito que gera um trem de pulsos aleatório. Ideal para aplicações em jogos.

c) Apagamento Sequencial

Um outro circuito interessante que pode ser elaborado com base num 4017 é o que faz o apagamento sequencial de LEDs e que é mostrado na figura 13.

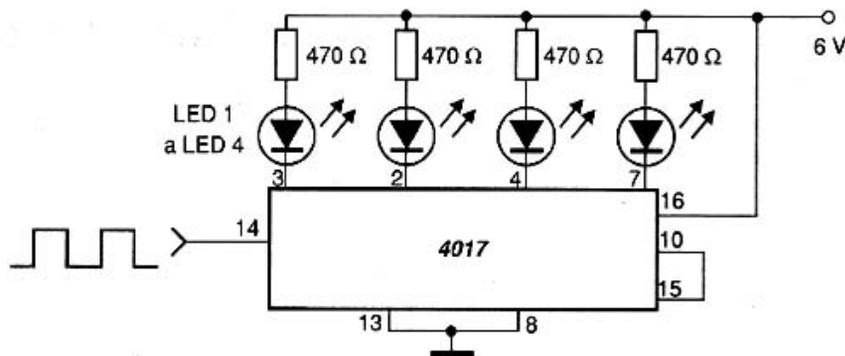


Figura 13 – Circuito de apagamento sequencial, ou um de quatro apagado.

d) Caixa de Música

A figura 14 mostra um circuito de uma caixa de música eletrônica em que 10 notas musicais são executadas sequencialmente pelo 4017 quando o 555 é habilitado.

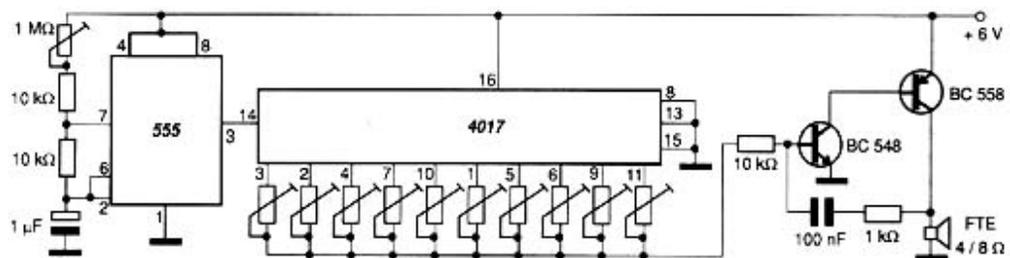


Figura 14 – Caixa de música de 10 notas. Cada uma ajustada no trimpot correspondente.

A programação das notas é feita nos trimpots junto às saídas do 4017. A nota central vai depender do capacitor do oscilador com dois transistores, o qual pode ser alterado numa ampla faixa de valores.

A velocidade com que as notas são executadas é ajustada no trimpot do 555.

e) Controle Lógico Programável (CLP)

A automação de pequenos dispositivos pode ser realizada com base num 4017 com o circuito da figura 15.

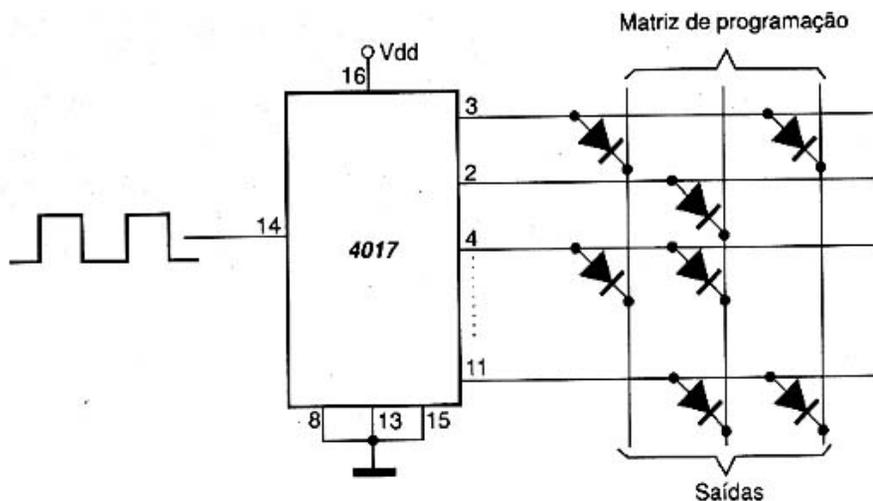


Figura 15 – Um CLP (Controlador Lógico Programável) ou PLC (Programmed Logic Controller) usando o 4017.

Neste circuito, quando uma saída vai ao nível alto, se houver um diodo ligado nesta saída, na matriz de controle, ele ativa a saída correspondente.

Combinando diodos podemos fazer com que as saídas sejam levadas a níveis de acionamento seqüencial diferentes, controlando assim um sistema de automação externo. A seqüência e o que vai ser acionado depende apenas da imaginação do leitor: abrir uma porta, acender uma luz por um tempo um pouco maior, no final do processo tocar uma campainha e depois fechar novamente a porta é um exemplo de aplicação que pode ser feita com a matriz de programação mostrada na figura 16.

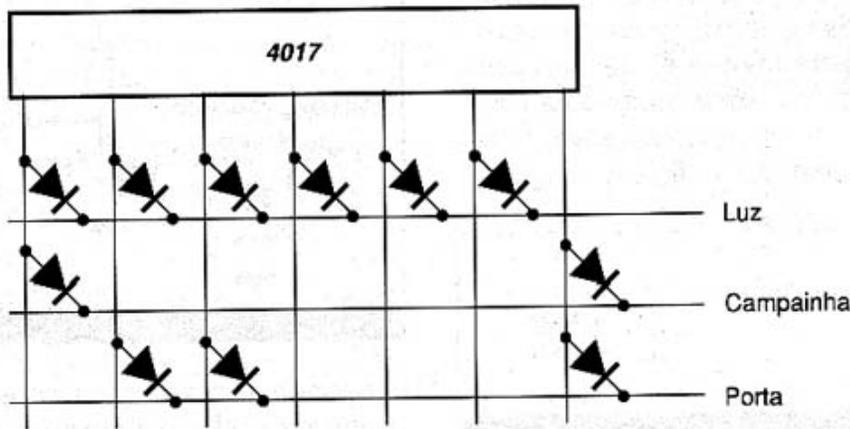


Figura 16 – Simulador de presença com 4017.

A duração total do ciclo vai depender apenas do ajuste de P1 no oscilador com o 555 que é responsável pela temporização.

f) Sintetizador de forma de onda

Terminamos nossa série de circuitos práticos com um sintetizador de forma de onda que pode ser usado em instrumentos musicais e em geradores de efeitos. A frequência do sinal de saída do circuito da figura 17 é a frequência do oscilador com o 555 dividida por 10.

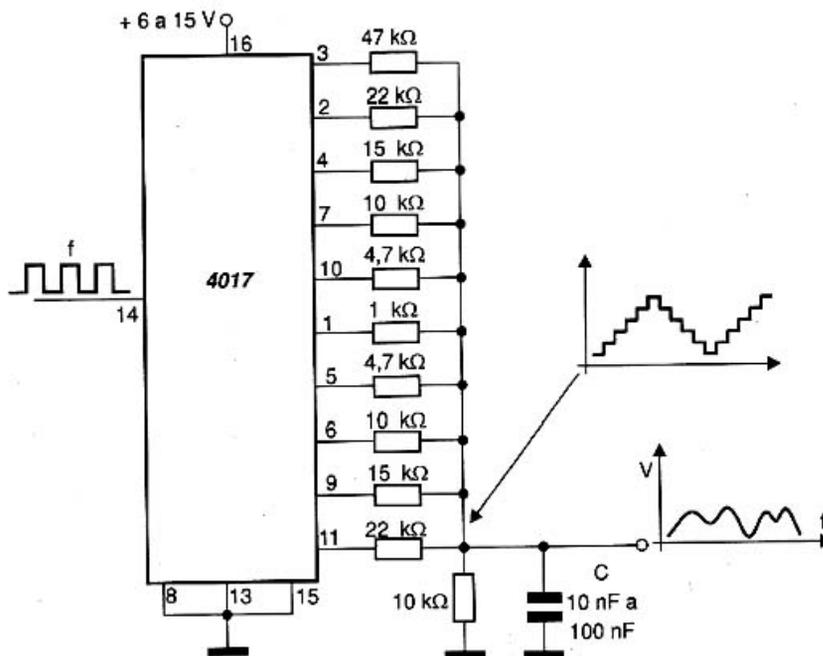


Figura 17 – Sintetizador de forma de onda.

O filtro RC de saída aplaina o sinal de modo a se obter uma forma de onda suave.