

TELECOM - I

RADIOCOMUNICAÇÕES

Newton C. Braga



CURSO DE ELETRÔNICA
TELECOM - I - Radiocomunicações

NEWTON C. BRAGA



Instituto NCB

www.newtonbraga.com.br

contato@newtonbraga.com.br

**CURSO DE ELETRÔNICA -
TELECOM 1 - Radiocomunicações**

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.newtonbraga.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.

Copyright by
INSTITUTO NEWTON C. BRAGA
1ª edição

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

ÍNDICE

1. Conceitos básicos	11	4.3 – AM - Modulação em Amplitude	94
1.1 - Revisão de conceitos – carga elétrica, campo elétrico e campo Magnético	11	4.4. – SSB (Single Side Band) ou BLU (Banda Lateral Única)	101
1.2 - Ondas eletromagnéticas	13	4.5 – AMDSB - O Receptor	103
1.3 - Frequência, período e comprimento de onda – senóide	14	4.6 – Receptores de Telecomunicações – Dupla Conversão	111
1.4 - Fase	16	4.7 – Receptores Para CW e SSB	112
1.5 - O espectro eletromagnético	16		
1.6 - Amplitude e polarização	18		
1.7 - Propriedades das ondas – velocidade, reflexão, refração e difração	20	5. Transistor Unijunção e de Efeito de Campo	115
1.8 - Propagação – ondas terrestres, ionosféricas e ondas diretas	21	5.1 – Modulação em Frequência ou FM	115
1.9 - Atenuação, ruídos e interferências	22	5.2 – FM Faixa Estreita e Faixa Larga	119
1.10 – Ondas estacionárias	23	5.3 - Desvio de Frequência	121
1.11 – Alcance	24	5.4 – Circuitos Moduladores de FM	123
1.12 - Linhas de transmissão	26	5.5 - Demodulação de FM	127
1.13 - Antenas – tipos, polarização, ganho e diretividade	26	5.6 – FM Estéreo	129
		5.7 – Receptores de FM	133
2. Formas de Onda, Circuitos Ressonantes e Filtros	37		
2.1 – Formas de Onda Complexas	37	6. Modulação Digital	137
2.2 - Circuito ressonante	40	6.1. Introdução	137
2.3 - Seletividade – Fator Q	46	6.2 - Técnicas de Modulação Digital	139
2.4 - Filtros	47	6.3 - Representação Gráfica I/Q	140
2.5– O Logaritmo e o Decibel	57	6.4 – Análise Geral das Principais Técnicas de Modulação	144
		6.5 - ASK (Amplitude Shift Keying)	144
3. Sistemas de Radiocomunicação	61	6.6 - FSK	145
3.1 – Radiocomunicações	61	6.7 - BPSK e QPSK	146
3.2 – Meios Físicos	66	6.8 - MSK	148
3.3 – O Transmissor	67	6.9 -QAM	149
3.4 – Os receptores	71	6.10– Taxa de Erros e Correções	153
3.5 - Os Circuitos Receptores	73	6.11 - Variações dos Tipos de Modulações	154
3.6 – Sensibilidade e Seletividade	84		
3.7 – Transceptores	84	7. Multiplexação e Divisão do Espectro	157
3.8 – Comunicação Via Satélite	86	7.1 - Introdução	157
		7.2. Multiplexação	158
4. Modulação Analógica - 1	89	7.3 - Multiplexação por Divisão em Frequência ou FDM	159
4.1- Modulação	89	7.4 - Multiplexação por Divisão em Tempo ou TDM	161
4.2 – CW ou Onda Contínua	90	7.5 - Multiplexação por Código - CDM	165
		7.6 - Multiplexação Geográfica	166

7.7 - Espectro Espalhado	167
7.8 - Pacote de Rádio	174

8. Digitalização dos Sons e

Processamento, Saúde e ESD

8.1 - A Natureza do Som	177
8.2 - Espectro Audível	179
8.3 - Digitalização de sinais analógicos	185
8.4 - DSP	191
8.5 - Memórias	196
8.6 - ESD – Descargas eletrostáticas	197
8.7- Radiação Eletromagnética e Saúde	203
8.8 - Blindagens	204

RESPOSTAS	207
------------------------	------------

LINKS UTEIS	207
--------------------------	------------

APRESENTAÇÃO

Em 1972, já com experiência no ensino de eletrônica em cursos presenciais, fui contratado por uma grande organização de ensino por correspondência para renovar seu curso 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 que também fossem criados diversos outros cursos, como o Curso de TV, Curso de Eletrônica Digital, Curso de Instrumentação, etc. Neste intervalo publicamos a primeira edição completa desse curso que recebeu o nome de Curso Básico de Eletrônica e chegou até sua quinta edição, e posteriormente em 2009 sendo transformado numa apostila. Diversos outros cursos também foram publicados na forma de livro encontrando-se hoje esgotados. No entanto, desde as primeiras edições de nossos cursos, muita coisa mudou, e se bem que diversas atualizações fossem feitas em alguns, 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 das telecomunicações visando tanto a reciclagem de conhecimentos, a aquisição de conhecimentos por profissionais de outras áreas e principalmente para aqueles que desejam concorrer em concursos públicos e privados. Desta forma o conteúdo deste curso foi programado para conter o máximo de informações sobre telecomunicações, acessíveis a quem tenha um conhecimento básico de eletrônica, sendo sugerido nosso Curso Básico de Eletrônica e Curso de Eletrônica Analógica como material de apoio ou ainda pré-requisito para melhor entendimento. Assim, nesta primeira edição do Curso de Telecom, um verdadeiro curso de conceitos de telecomunicações, abordamos todo o conhecimento das versões anteriores e mais informações atuais sobre novas tecnologias, novos componentes e novas aplicações. Podemos dizer que este livro, como os demais, pode ser considerado a plataforma de iniciação ideal para muitos cursos, preparação para concursos ou ainda reciclagem de conhecimentos dos técnicos desejam estar atualizados nesta tecnologia.

Desde 1976, quando criamos a primeira versão de um Curso de Eletrônica básico que pudesse servir de iniciação aos que desejassem ter conhecimentos da eletrônica, essa ciência passou por grandes transformações. Do fim da válvula ao transistor, quando começamos e os primeiros circuitos integrados, a eletrônica evoluiu para a tecnologia dos CIs de alto grau de integração, os FPGAs, os DSPs, microcontroladores e as montagens em superfície. Assim, nosso livro Curso Básico de Eletrônica, pode ser considerado um curso atualizado com finalidades um pouco diferentes das que visava na época de sua criação original. A eletrônica em nossos dias não é propriamente um fim, onde uma vez domada ela por si só, já permite que as pessoas encontrem uma atividade direta que lhes dê renda ou possam almejar um emprego. A eletrônica hoje é um meio de se alcançar qualificações em outras áreas como as telecomunicações, que justamente é o tema deste livro. Assim, nosso curso de Telecomunicações, visando justamente às necessidades de conhecimento que a preparação para esta área pede, tem uma abordagem direta e rápida de conceitos que, em princípio, exige um certo conhecimento prévio dos que desejam aprender. O conhecimento prévio pode vir de nossos Curso Básico de Eletrônica, Curso de Eletrônica Analógica e Curso de Eletrônica Digital, de da formação anterior do leitor que cursou uma escola técnica ou de engenharia. A estrutura do curso foi elaborada tanto com base nos currículos de escolas técnicas de engenharia como dos programas para concursos de empresas públicas e privadas.

A seguir o conteúdo das lições deste curso.

Lição 1 – Conceitos Básicos

- Revisão de conceitos – carga elétrica, campo elétrico e campo magnético
- Ondas eletromagnéticas
- Frequência, período e comprimento de onda - senóide
- O espectro eletromagnético
- Amplitude e polarização
- Propriedades das ondas – direção, velocidade reflexão, refração e difração
- Propagação – ondas terrestres e ionosféricas – ondas diretas
- Atenuação, ruídos e interferências
- Alcance
- Linhas de transmissão – ondas estacionárias
- Antenas – tipos, polarização, ganho e diretividade

Lição 2 - Formas de Onda, Circuitos Ressonantes e Filtros

- Formas de onda complexas
- Circuitos ressonantes

- Seletividade
- Fator Q
- Filtros
- O logaritmo e o dB

Lição 3 – Radiocomunicações

- Radiocomunicações
- Meios físicos e fibras ópticas
- O transmissor
- O receptor
- Transceptores
- Repetidoras
- Comunicações por satélites

Lição 4 – Modulação Analógica - 1

- Modulação
- CW ou Onda Contínua
- AM – modulação em amplitude
- SSB
- AMDSB – O receptor
- Receptores de Telecom – Dupla Conversão
- Receptores para SSB e CW

Lição 5 – Modulação Analógica -2

- Modulação
- FM faixa estreita e faixa larga
- Desvio de frequência
- Circuitos moduladores de FM
- Demodulação de FM
- FM estéreo
- Receptores de FM

Lição 6 - Modulação Digital

- Modulação digital
- Gráficos I/Q
- Padrões
- BPSK e QPSK
- FSK
- MSK
- QAM
- Modulação diferencial, amplitude constante offset QPSK

Lição 7 – Espectro e Multiplexação

- Introdução
- Multiplexação
- Multiplexação por divisão de frequência – FDM
- Multiplexação por divisão de tempo - TDM

- Multiplexação por código - CDM
- Multiplexação geográfica
- Espectro espalhado
- Pacote de rádio

Lição 8 – Som e digitalização de sinais , DSPs

- Conceitos básicos de som e acústica
- Propriedades e características dos sons – espectro audível
- Digitalização de sinais
- DSPs
- Memórias
- Descargas atmosféricas- ESD
- RF e saúde – cuidados
- Aterramento e blindagens

Enfim, o conteúdo estudado pode ser considerado como um importante 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.



» Conceitos básicos

1. O que você vai aprender

Neste capítulo você vai revisar conceitos básicos importantes para o entendimento das tecnologias das telecomunicações, tais como a natureza dos campos elétricos, ondas eletromagnéticas, espectro, propriedades das ondas, propagação, linhas de transmissão e antenas. Os itens deste capítulo são:

- 1 – O que você vai aprender
 - 1.1 – Revisão de conceitos- carga elétrica, campo elétrico e campo magnético
 - 1.2- Ondas eletromagnéticas
 - 1.3 – Frequência, período e comprimento de onda
 - 1.4 – Fase
 - 1.5 – O espectro eletromagnético
 - 1.6 – Amplitude e polarização
 - 1.7 – Propriedades das ondas
 - 1.8 – Propagação
 - 1.9 – Atenuação, ruídos e interferências
 - 1.10 – Ondas estacionárias
 - 1.11 – Alcance
 - 1.12 - Linhas de transmissão
 - 1.13 – Antenas

1.1 - Revisão de conceitos – carga elétrica, campo elétrico e campo Magnético

Toda a matéria é feita de átomos. Os átomos consistem na menor partícula de um corpo material. Mas, os átomos são feitos de partículas ainda menores, segundo uma estrutura como a mostrada na figura 1. No núcleo do átomo existem partículas denominadas prótons e nêutrons e em torno deste núcleo giram partículas menores denominadas elétrons.

Hoje sabemos que essa representação não corresponde à realidade, pois as partes constituintes dos átomos não têm realmente o que podemos denominar forma, conforme veremos mais adiante, mas para efeito de estudo, esta representação tem sido adotada nas escolas por seu aspecto didático. Adotaremos esta representação por comodidade.

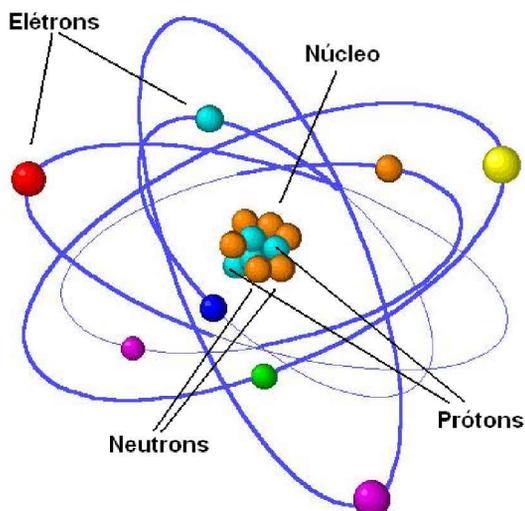


Figura 1 - Os átomos são formados de elétrons, prótons e nêutrons

Os prótons e os elétrons são dotados de propriedades especiais que são denominadas cargas elétricas. Por convenção atribuiu-se aos elétrons cargas elétricas negativas e aos prótons cargas positivas. Como num átomo em condições normais o número de elétrons é igual ao de prótons, os efeitos destas cargas se cancelam e o átomo se diz neutro.

As cargas elétricas podem influir umas nas outras, o que nos permite associar a cada carga uma região do espaço onde os seus efeitos se manifestam. Esta influência é representada pelos campos elétricos. Uma carga elétrica, positiva ou negativa possui campos elétricos que podem ser representados por linhas de força, conforme mostra a figura 2.

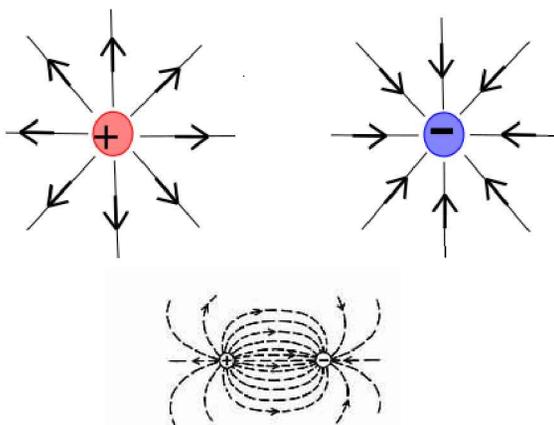


Figura 2 – Campos elétricos de cargas puntiformes e de um dipolo (duas cargas de sinais opostos)

Supercordas

A teoria das supercordas parte da idéia de que as menores partículas que formam o universo são entidades que possuem apenas uma dimensão, comprimento, e que vibram de diversas formas possíveis. Conforme o modo como elas vibram e as dimensões em que fazem isso, elas dão origem a uma infinidade de partículas elementares como os quarks, hádrons, elétrons, prótons e muitas outras formando o que se denomina de zoológico das partículas. Ainda há muito para se pesquisar nesse campo que tenta fazer a unificação da física quântica com a teoria da relatividade. Segundo o que físicos conseguem prever através de suas fórmulas, o universo deve ter pelo menos 11 dimensões para explicar os fenômenos observados com as partículas

Observe que as linhas que representam os campos elétricos saem das cargas positivas e chegam nas cargas negativas. Um tipo de campo muito importante é o chamado campo uniforme. Esse campo manifesta-se entre as placas de um capacitor plano carregado. As linhas que

saem da armadura positiva e chegam à armadura negativa são paralelas. Enquanto num campo de uma carga pontual a intensidade diminui com o quadrado da distância, num campo uniforme a intensidade é a mesma em todos os seus pontos.

Se uma carga elétrica se movimenta, o campo elétrico que ela produz se contrai e a energia armazenada neste campo passa para um novo tipo de campo que é o magnético. O campo magnético também é representado por linhas de força que são círculos fechados envolvendo a trajetória da carga. Este campo também armazena energia. Na figura 3 representamos este campo.

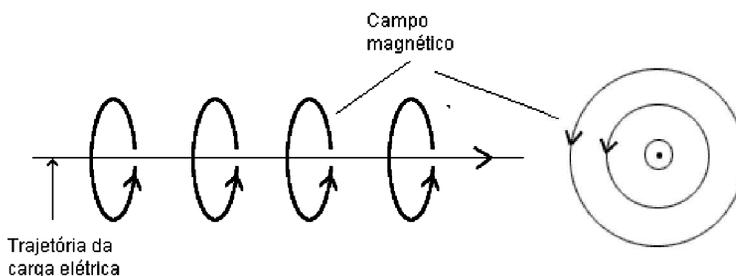


Figura 3 – Campo magnético criado por uma carga em movimento.

Observe que um campo elétrico ou magnético representa energia potencial armazenada. Quando uma carga se movimenta dentro de um campo, as forças a que ela fica sujeita estão associadas a uma transferência de energia.

Se bem que representemos os elétrons por pequenas esferas, já deixamos claro que isso é apenas para facilitar o entendimento do que explicamos. Na realidade, não podemos dizer exatamente o que estas partículas sejam.

1.2 - Ondas eletromagnéticas

Se uma carga oscilar entre duas posições, ocorre um fenômeno interessante. Nos instantes em que a carga está nas extremidades da trajetória temos campo elétrico e nos instantes em que ela se move de uma extremidade a outra temos campo magnético. Desta forma, campo elétrico e campo magnético se alternam, produzindo uma perturbação que se propaga através do espaço na forma de uma onda. Trata-se de uma onda eletromagnética cuja componente elétrica e componente magnética são perpendiculares entre si, conforme mostra a figura 4.

Espectro contínuo

O espectro das ondas eletromagnéticas (assim como dos sons) é contínuo no sentido de que não existe separação entre dois valores de frequências. Assim, a quantidade de frequências possíveis é infinita. Entre dois valores quaisquer de frequência podemos encontrar infinitos valores. Não existe, portanto um limite exato entre as faixas que denominamos ondas de rádio, infravermelho, luz visível, ultravioleta, etc.



James Clerk Maxwell
(1831 – 1879)

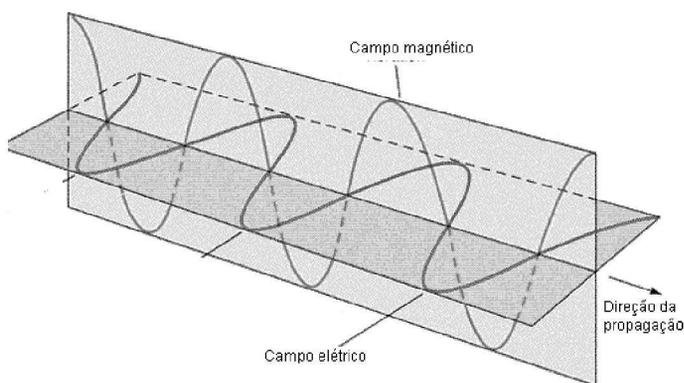


Figura 4 – Uma onda eletromagnética tem a componente elétrica e a magnética perpendiculares entre si.

As ondas assim produzidas podem ser propagar pelo espaço numa velocidade de 300 000 quilômetros por segundo (no vácuo), transportando energia. Na prática podemos produzir estas ondas também através de correntes, fazendo-a oscilar num condutor. Observe que a energia utilizada para fazer uma carga ou uma corrente oscilar se transfere para a onda produzida que então a transporta.

Foi Maxwell que previu a existência das ondas de rádio ao formular as equações que mostravam que não apenas a luz era formada por ondas eletromagnéticas, mas que existiam ondas de todas as frequências possíveis no espectro. Assim, todo espectro abaixo da luz visível e do infravermelho poderia conter ondas com as mesmas propriedades assim como as frequências acima do espectro visível, prevendo assim a existência também dos raios ultravioleta e raios X.

1.3 - Frequência, período e comprimento de onda – senóide

O número de vezes em que os ciclos de oscilações de uma carga ou de uma corrente ocorre em cada segundo nos dá a frequência da onda eletromagnética. Esta frequência é medida em Hertz (Hz), sendo comum o uso de seus múltiplos:

kHz = Quilohertz = 1 000 Hz

MHz = Megahertz = 1 000 000 Hz

GHz = Gigahertz = 1 000 000 000 Hz

THz = Terahertz = 1 000 000 000 000 Hz

O tempo que demora para que uma oscilação se complete é medido em segundos, sendo comum o uso de seus submúltiplos:

ms = milissegundo = 0,001 s

μs = microssegundo = 0,000 001 s

ns = nanossegundo = 0,000 000 001 s

ps = picossegundo = 0,000 000 000 001 s

As variações da amplitude de uma onda eletromagnética se faz de acordo com uma função senoidal, assim representamos estas ondas por figuras chamadas senóides.

Quando uma onda senoidal se propaga, podemos medir a distância que se encontra um ponto de determinada intensidade com o ponto equivalente da onda produzida em seguida. Esta distância, nos dá o comprimento de onda, conforme mostra a figura 5.

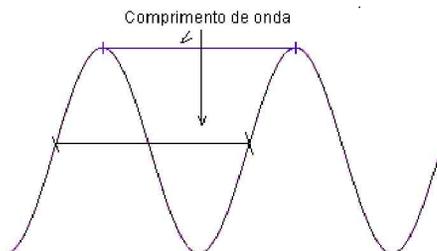


Figura 5 – O comprimento de onda é a distância entre dois pontos de mesma intensidade amplitude.

O comprimento de onda pode ser calculado facilmente a partir da frequência e da velocidade de propagação. Representando por λ (lâmbda) o comprimento de onda, por v a velocidade de propagação e por f a frequência temos:

$$V = \lambda \cdot f \text{ ou } \lambda = v/f$$

Veja que as unidades devem observadas. O comprimento de onda será obtido em metros quando a velocidade de propagação for dada em metros por segundo e a frequência em hertz. Assim, v será de 300 000 000 m/s para o caso das ondas eletromagnéticas.

Da mesma forma podemos definir o período de uma onda como uma grandeza numericamente equivalente ao inverso da frequência, ou:

$$T = 1/f$$

Por exemplo, para uma frequência de 1 MHz, temos um período de:

$$T = 1/10^6$$

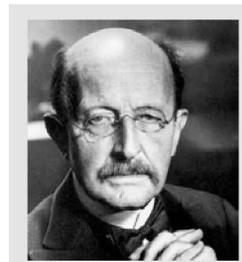
Ou

$$T = 10^{-6} \text{ segundos ou } 1 \text{ microssegundo } (1 \mu\text{s})$$

Para uma onda eletromagnética podemos associar uma quantidade mínima de energia transportada, denominada “quantum” ou pacote. Assim, a energia associada a um ciclo de um sinal corresponde ao mínimo que ele pode transportar e está diretamente associada à sua frequência.

Teoria Quântica

A Teoria da Relatividade de Einstein se mostrou apta a explicar a maioria dos fenômenos físicos de nosso universo, mas com os avanços nas pesquisas atômicas que passaram a descrever um novo universo de partículas cada vez menores, essa teoria não mais era suficiente para descrever muitos fenômenos. Assim, surgiu uma “nova física” para explicar esses fenômenos em escala quântica, ou seja, a Física Quântica. Foi Max Planck que em 1900 apresentou uma nova teoria, que explicava os fenômenos em escala atômica e subatômica. Essa teoria explicava porque um corpo excitado mudava a cor de sua emissão de ondas eletromagnéticas, pela adoção da idéia de que existiram partículas mínimas de energia, como no caso dos átomos para a matéria, o que passou a denominar quantum (plural quanta). Hoje tenta-se unificar a Teoria da Relatividade com a Teoria Quântica de modo a se obter uma física única que explique todos os fenômenos. A teoria das Supercordas parece ser um caminho para isso.



Max Planck (23 de abril de 1858 – 4 de outubro de 1947)

1.4 - Fase

Podemos associar as oscilações de uma carga ou de uma corrente que gera uma onda eletromagnética ao movimento de uma roda. Um ciclo corresponde a uma volta desta roda. Assim, é comum fazermos a indicação do instante em que o sinal produzido se encontram um ciclo por um ângulo que varia de 0 a 360° . Este ângulo é denominado fase ou ângulo de fase, conforme mostra a figura 6.

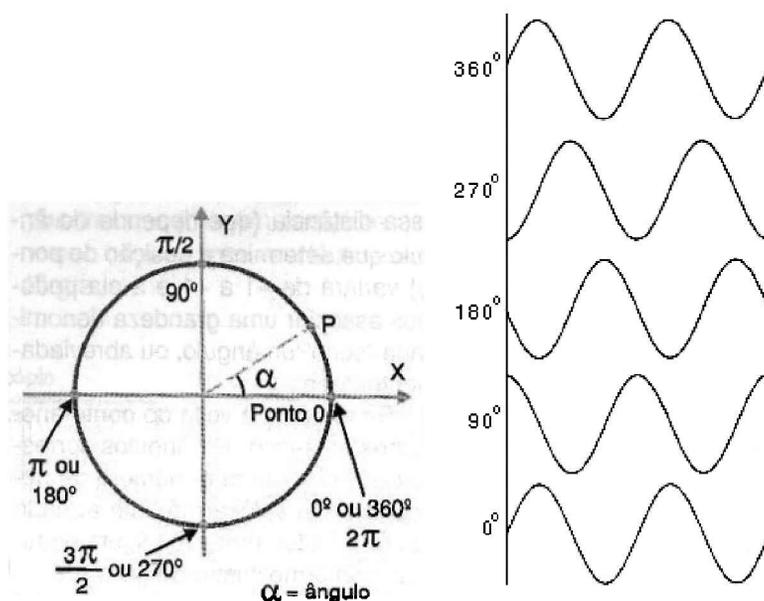


Figura 6 – A fase de uma onda eletromagnética ou de um sinal que a gera (corrente) pode ser indicada através de um ângulo, denominado ângulo de fase. Na figura sinais com diversas fases, indicadas pelos seus ângulos.

Também utilizamos o conceito de fase para indicar quando dois sinais estão ou não sincronizados. O sincronismo ocorre quando as variações dos dois sinais ocorrem ao mesmo tempo. Assim, a diferença de fase entre dois sinais pode ser indicada através de um ângulo, conforme mostramos na figura 6.

1.5 - O espectro eletromagnético

Podemos produzir ondas eletromagnéticas de qualquer frequência. O conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas que podem ser produzidos recebe o nome de espectro eletromagnético. O espectro das ondas eletromagnéticas é contínuo, ou seja, podemos ter qualquer valor intermediário entre dois quaisquer que sejam escolhidos neste espectro.

De acordo com as frequências, as ondas possuem propriedades distintas podendo, por este motivo, ser aproveitadas de formas diferentes. Assim, é comum fazermos a divisão do espectro em faixas, conforme mostra a figura 7. Observamos neste espectro que existem ondas que podem ser recebidas por sensores em nossos olhos. Estas ondas correspondem à luz visível.

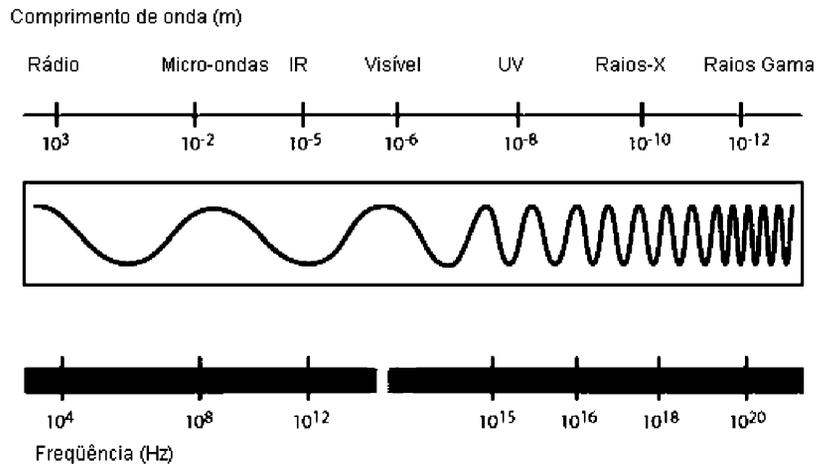


Figura 7 – O espectro eletromagnético

Para as telecomunicações, interessa-nos em especial a faixa denominada das “radiofrequências” (rádio e micro-ondas) que vai aproximadamente entre 3 kHz e 30 GHz e que tem a seguinte divisão:

ULF- 300 Hz a 3 kHz – Ultra Low Frequency ou Frequências Ultra Baixas- comprimentos de onda entre 1 000 km e 100 km – estas ondas podem penetrar profundamente na água e sua propagação se faz junto a superfície da terra.

VLF – 3 kHz a 30 kHz Very Low Frequency ou Frequências Muito Baixas – comprimentos de onda entre 100 000 e 10 000 metros – o modo mais comum de propagação desta onda é junto á superfície da terra.

LF – 30 kHz a 300 kHz – Low Frequency ou Baixas Frequências – comprimentos de onda entre 10 000 metros e 1 000 metros – neste tipo de onda a propagação é junto ao solo.

MF – 300 kHz a 3 MHz – Medium Frequency – Médias Frequências – comprimentos de onda entre 1 000 metros e 100 metros – o modo mais comum de propagação é pela refração na ionosfera, principalmente à noite.

HF – 3 MHz a 30 MHz - High Frequency – Altas frequências – comprimentos de onda entre 100 metros e 10 metros – a propagação mais comum é pela refração na ionosfera.

VHF – 30 MHz a 300 MHz – Very High Frequency ou Frequências Muito Altas – comprimentos de onda entre 10 metros e 1 metro. – a principal forma de propagação é através da onda direta e através de linhas de transmissão (cabos).

Frequências muito baixas

As ondas de frequências muito baixas, abaixo de 3 kHz conseguem penetrar profundamente na água. Assim, existem sistemas de comunicações de frequências tão baixas como 1kHz que são utilizados para comunicações com submarinos.



Antena do transmissor em Grimeton operando em 17,2 kHz

Divisão do espectro

Se bem que haja uma divisão muito bem estabelecida entre as diversas faixas, as propriedades dos diversos sinais destas faixas não sofrem uma transição rápida. Na verdade, como não existe uma divisão real, podemos dizer que numa frequência limite de uma faixa, por exemplo, entre 29 e 31 MHz, os sinais terão tanto as propriedades da faixa de HF como VHF.

UHF – 300 MHz a 3 GHz – Ultra High Frequency ou Frequências Ultra Altas – comprimentos de onda entre 1 metro e 10 cm – a propagação se faz principalmente pela onda direta e por cabos.

SFH – 3 GHz a 30 GHz – Super High Frequency ou Frequências Super Altas – comprimentos de onda entre 10 cm e 1 cm.- a principal utilização é através da onda direta e por guias de onda

EHF – 30 GHz a 300 GHz – Extra High Frequency ou Frequências Extra Altas – comprimentos de onda entre 1 cm e 1 mm.- neste caso o principal modo de utilização é pela onda direta e através de guias de onda.

Acima desta faixa temos já o que se denomina radiação infravermelha, depois a faixa visível e dos raios ultravioleta. Estas ondas também podem ser utilizadas em sistemas de telecomunicações, tanto pela propagação em linha direta, como também através de fibras ópticas.

Na figura 8 temos a divisão do espectro de rádio.

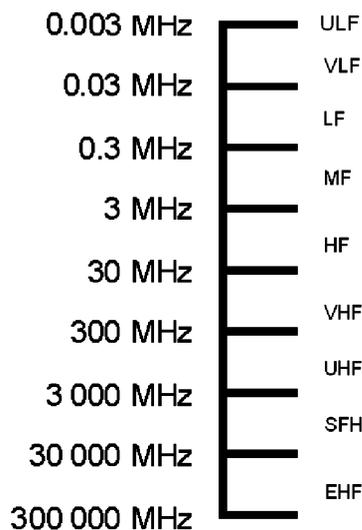


Figura 8 – O espectro das radiofrequências.

As características dos sinais nestas faixas determinam sua aplicação em sistemas de telecomunicações, conforme veremos mais adiante.

1.6 - Amplitude e polarização

A intensidade de um sinal é dada pela sua amplitude. Esta amplitude pode ser medida de diversas maneiras. Podemos medir a amplitude em volts, dB, watts, etc., conforme mostra a figura 9.

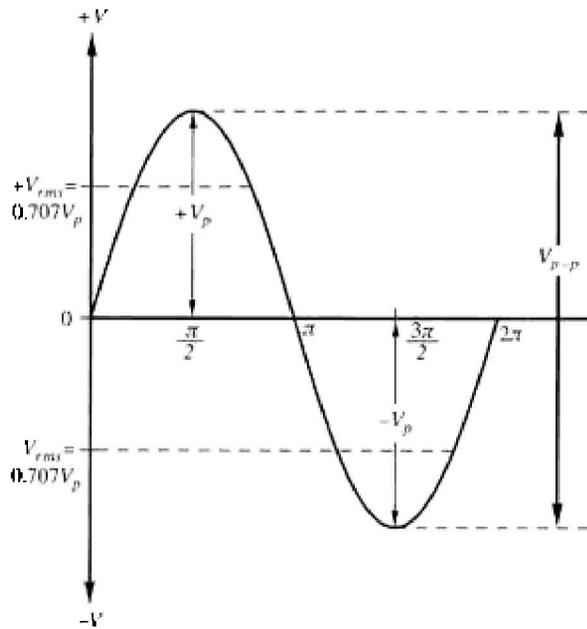
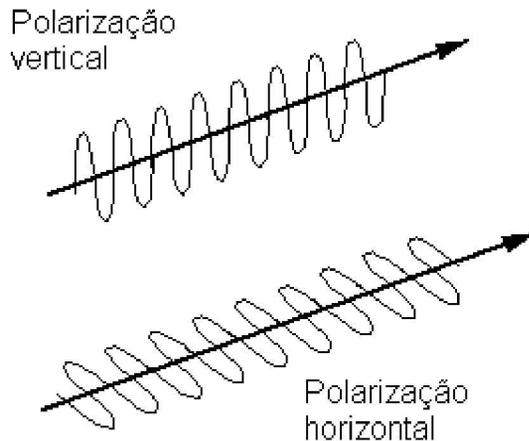


Figura 9 – Medida da amplitude de uma onda eletromagnética.

Nesta figura V_{rms} é o valor de pico, V_{p-p} é o valor pico a pico e V_p o valor de pico. Observe que o fator 0,707 corresponde à metade da raiz quadrada de 2 que é 1,414.

Ao serem emitidas, as ondas apresentam uma orientação determinada para os campos elétrico e magnético. Esta orientação é dada pelo campo elétrico, conforme mostra a figura 10.



Outras polarizações

Conforme veremos ao longo do curso, existem outras formas de se polarizar uma onda e não apenas horizontalmente ou verticalmente, o que nos leva a diversos tipos importantes de antenas, largamente usadas em telecomunicações.

Figura 10 – Polarização vertical e horizontal de uma onda eletromagnética

A polarização de uma onda eletromagnética é determinada pela forma da antena, ou seja, pela orientação de suas partes. Esta polarização também vai determinar o modo como devem ser dispostos os elementos do sistema que vai receber estas ondas, ou seja, a antena receptora.

1.7 - Propriedades das ondas – velocidade, reflexão, refração e difração.

As ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar. Assim, no vácuo sua velocidade aproximada é de 300 000 km/s. No ar e em outros elementos em que a densidade é maior, sua velocidade é menor. A propagação destas ondas se faz em linha reta. Um fato importante a ser considerado é que duas ondas eletromagnéticas podem se cruzar sem se interferir. O que denominamos interferência, na realidade ocorre quando duas ondas são recebidas por um sistema e os sinais resultantes podem causar um fenômeno de interferência, que será analisado mais adiante neste capítulo.

As ondas eletromagnéticas podem ser refletidas por objetos cujas dimensões sejam próximas ou maiores do que seu comprimento. Assim, para objetos muito pequenos não ocorre a reflexão enquanto que para objetos maiores a reflexão é mais intensa.

Um outro fenômeno relacionado com a propagação das ondas eletromagnéticas é da refração. Quando as ondas passam de um meio para outro e as características físicas destes meios é diferente, por exemplo, a densidade, ocorre uma mudança da direção de propagação, conforme mostra a figura 11.

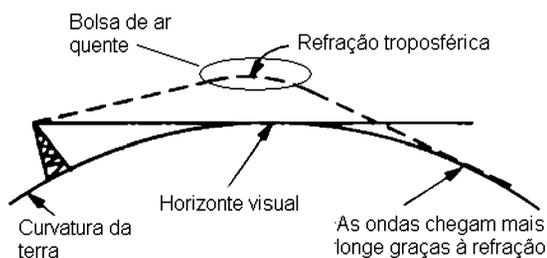


Figura 11 – Refração de sinais que ocorre na atmosfera quando eles passam por camadas de densidades diferentes.

Este fenômeno possibilita um aumento do alcance dos sinais em relação ao horizonte visual.

A difração, por outro lado, é um fenômeno que ocorre quando sinais passam por aberturas ou pela quina de objetos. Neste caso, as aberturas ou quinas se comportam como pontos de irradiação secundária do sinal, difundindo-o, conforme mostra a figura 12.

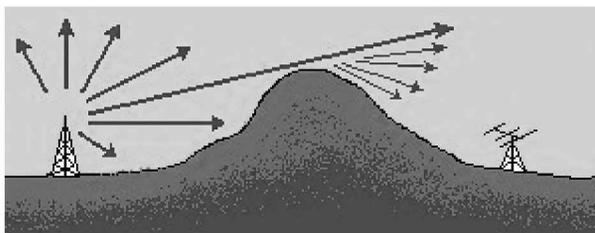


Figura 12 – Efeito de uma quina de um objeto, causando a refração. O sinal pode ser recebido mesmo atrás do morro.

Este efeito é interessante, pois possibilita a recepção de sinais de VHF e UHF por trás de morros, bastando apontar as antenas para as quinas do morro onde ocorre a refração, ou ainda de prédios ou outras construções.

1.8 - Propagação – ondas terrestres, ionosféricas e ondas diretas

Conforme já explicamos, as ondas eletromagnéticas, na faixa das radiofrequências, têm comportamentos diferentes, conforme sua frequência. Assim, uma onda se propaga de três formas diferentes pelo espaço.

Quando emitidas por uma antena, as ondas apresentam três componentes que podem estar presentes em maior ou menor intensidade, conforme o comprimento de onda ou frequência. Assim, para as ondas abaixo de 3 MHz, predominam as ondas terrestres, enquanto que para as ondas entre 3 e 30 MHz predominam as ondas diretas e as ondas ionosféricas, também chamadas espaciais. Acima de 30 MHz predominam as ondas diretas, conforme mostra a figura 13.

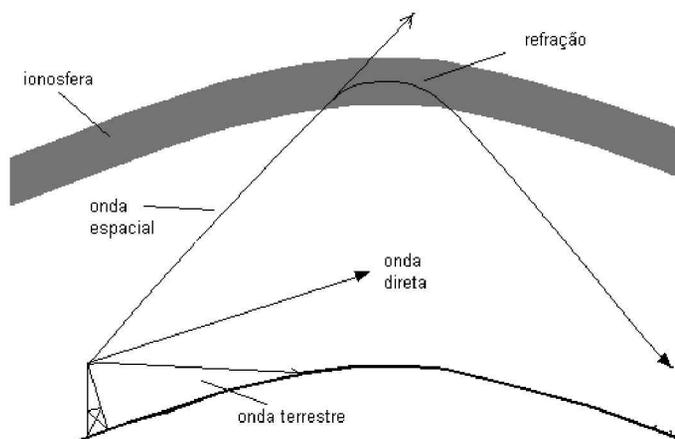


Figura 13 – Modos de propagação das ondas de rádio.

Observe que as ondas espaciais podem sofrer o fenômeno da refração na ionosfera ou simplesmente “escapar” para o espaço. Da mesma forma, as ondas diretas também podem sofrer a refração tanto na ionosfera como em camadas de diferentes densidades da troposfera.

Ondas terrestres – a propagação neste caso ocorre junto ao solo ou à superfície do mar, aproveitando a sua condutividade. As ondas terrestres são utilizadas em comunicações a distâncias até 1 000 km com o emprego de transmissores de alta potência. Neste modo de propagação, a atenuação é pequena e não existe uma influência muito grande das variações de tempo ou ao longo do dia pela presença do sol.

Influência do sol

A atividade solar tem uma influência muito grande na propagação dos sinais de rádio, principalmente nas faixas que dependem da ionosfera. Emitindo partículas eletricamente carregadas, o sol faz com que as propriedades da ionosfera mudem. Esse fenômeno pode ser observado ao longo do dia e nas épocas em que ocorrem as chamadas tempestades solares.

Terremotos e ULF

Pouco antes do terremoto de 2004 no Haiti, o satélite francês DEMETER detectou sinais intensos na faixa de ULF (Ultra Low Frequency) entre 0,01 Hz a 10 Hz. Em 1989, também foram detectados estes sinais pouco antes de um terremoto. Os cientistas acreditam que sensores nesta faixa possam ser úteis como detectores sísmicos. O fenômeno também pode estar associado ao fato de que alguns animais podem detectar esses sinais, sendo então alertados sobre a ocorrência de um terremoto.

Ondas espaciais ou ionosféricas – pode-se utilizar este modo de propagação para atingir grandes distâncias utilizando-se a refração na ionosfera e a reflexão no solo. No entanto, esta modalidade de propagação está sujeita à influências das variações da ionosfera que ocorrem ao longo do dia.

Ondas diretas – neste caso as ondas atingem um pouco além do horizonte visual devido à refração e até mesmo mais pela difração. O alcance destas ondas está bastante influenciado pela presença de obstáculos. Em outras palavras, para este tipo de onda, a antena receptora deve estar na linha visual da antena transmissora.

1.9 - Atenuação, ruídos e interferências

Quando um sinal se propaga através de um meio, ocorre uma absorção da energia que ele transporta e com isso progressivamente perde sua intensidade diminui. Dizemos, nestas condições, que ocorre uma atenuação. Esta atenuação é medida em valores logarítmicos, o que nos leva a indicação da atenuação em dB (decibéis).

Outro fator que influi na transmissão de sinais é a presença de ruídos. Definimos ruído como sinais que não possuem um padrão de frequências, espalhando-se de maneira aleatória e uniforme através do espectro, conforme mostra a figura 14.

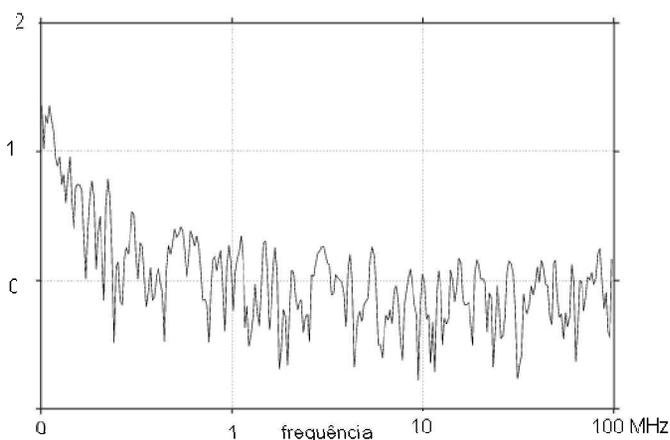


Figura 14 – Espectro de um ruído.

Os ruídos podem ter diversas origens. As naturais são as descargas atmosféricas, a agitação térmica dos átomos dos materiais que formam o circuito receptor, etc. As de origem de artificiais vêm dispositivos criados pelo homem que geram estes sinais quando funcionam, tais como motores, máquinas de solda, contactos elétricos, sistemas de ignição de automóveis, etc. Os ruídos podem influir na recepção dos sinais tanto afetando a sua integridade como também encobri-los completamente.

As interferências são sinais de frequências fixas ou definidas que podem tanto ser gerados por fenômenos naturais como artificialmente e que ao se sobrepor a um sinal que deve ser recebido, causam alterações que afetam sua utilização. Interferências naturais são as causadas por fenômenos como a emissão do som que se concentram em determinados pontos do espectro. Artificiais são as causadas por equipamentos construídos pelo homem como rádio transmissores, inversores de frequência, fontes chaveadas, equipamentos de uso médico, etc.

Também denominamos interferência o fenômeno que ocorre quando dois sinais de frequências diferentes se encontram num local do espaço. Neste caso, em cada ponto do espaço considerado temos a soma algébrica das intensidades do sinal. O resultado disso é o aparecimento de dois novos sinais cujas frequências são a soma e a diferença dos sinais originais. Estes sinais resultantes são denominados “batimentos”. A figura 15 mostra o que ocorre.

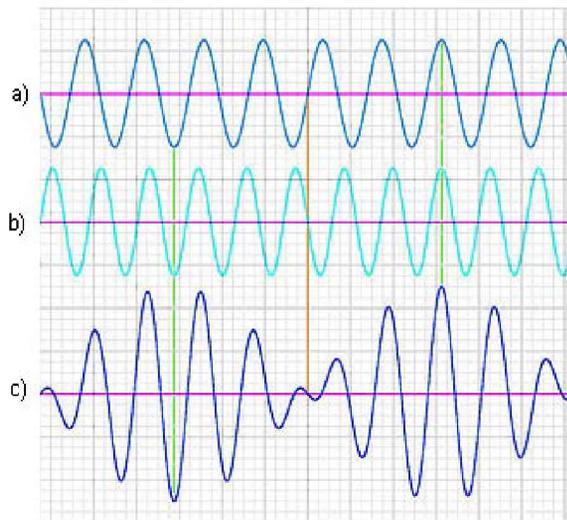


Figura 15 – O fenômeno da interferência, gerando sinais denominados “batimentos”

Na figura, em (c) temos a diferença ou batimento das frequências a) e b).

1.10 – Ondas estacionárias

Um fenômeno importante para as telecomunicações ocorre quando duas ondas de mesma frequência, propagando-se em sentidos contrários interferem uma na outra. Como a frequência é a mesma, o batimento resultante é nulo e com isso aparecem pontos fixos de máximos e mínimos que ficam estacionários, ou seja, mantém o mesmo lugar no espaço, conforme mostra a figura 16.

Definição de ruído

Existem diversos tipos de ruídos. O Ruído Branco é aquele cuja amplitude dos sinais se mantém constante ao longo do espectro. O Ruído Rosa é aquele em que a amplitude diminui com a frequência. Os ruídos são muito importantes em Telecom. Não apenas por terem efeitos indesejáveis como também porque podem ser usados com finalidades úteis. Ruídos podem ser injetados deliberadamente em determinados sistemas para melhorar seu desempenho.

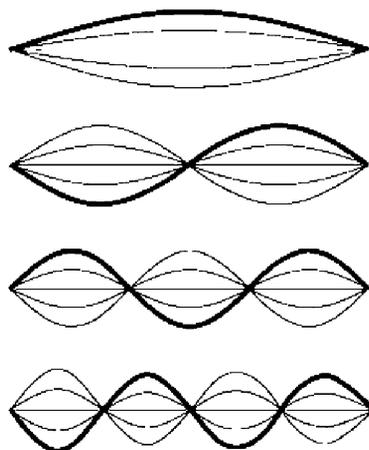


Figura 16 – Ondas de mesma frequência propagando-se em sentidos contrários criam máximos e mínimos.

Nesta figura mostramos como exemplo, uma corda vibrando em metade do comprimento de onda, um comprimento de onda, 1,5 comprimentos de onda e dois comprimentos de onda, formando assim diversos pontos de máximos e mínimos. Neste caso, as ondas refletidas têm a mesma intensidade do que as incidentes e assim os pontos de mínimo são nulos. Na prática, se a onda refletida for menos intensa, os pontos de mínimos não serão nulos.

Quando esse fenômeno ocorre com ondas de rádio refletindo-se num obstáculo, por exemplo, no ponto de mínimo a recepção será nula ou muito afetada e deslocando-se apenas alguns centímetros ou metros o receptor já estará num ponto de máximo com boa recepção.

Nas linhas de transmissão quando a reflexão ocorre e formam-se ondas estacionárias, a energia do transmissor não é totalmente transferida para a antena, ocorrendo diversos tipos de problemas que vão desde a ineficiência do sistema até a sobrecarga dos dispositivos de saída do próprio transmissor. A presença de ondas estacionária deve ser minimizada nos sistemas de transmissão. Sua medida é dada pela ROE (Relação de Ondas Estacionárias) ou SWR (Standing Wave Ratio) que deve ser mantida o mais próximo quando seja possível de 1:1.

1.11 – Alcance

Para as diversas modalidades de propagação é difícil calcular o alcance de uma onda dada a grande quantidade de fatores que podem influir nisso. Muito mais fácil é calcular o alcance de uma onda direta que está determinado apenas pela altura da antena transmissora e pela curvatura da terra, conforme mostra a figura 17.

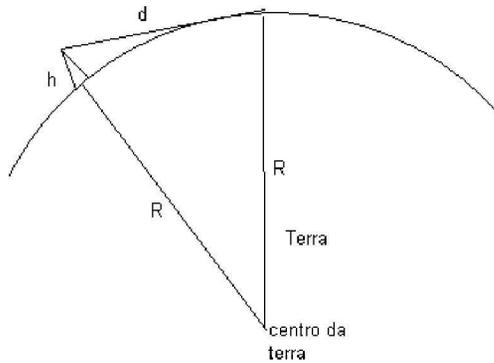


Figura 17 – O alcance pode ser calculado facilmente levando-se em conta as propriedades do triângulo retângulo mostrado na figura.

Nesta figura, h é a altura da antena, d a distância alcançada pelo sinal na linha visual, e R o raio da terra. Usamos para todas estas grandezas o metro como unidade. A fórmula obtida será então:

$$d = \sqrt{R \cdot h}$$

Para o caso em que a antena receptora também está assim do solo, conforme mostra a figura 18, o alcance será maior.

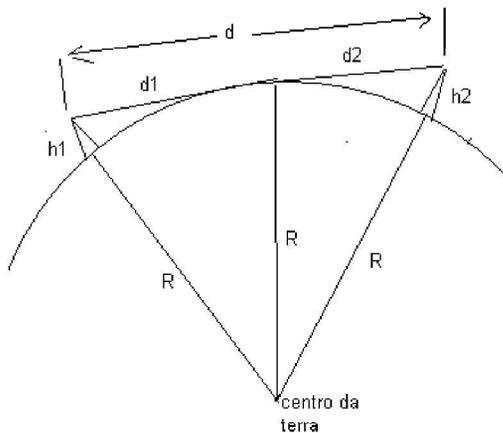


Figura 18 – Como calcular o alcance no caso da antena receptora também estar elevada.

Neste caso, basta considerar os dois triângulos formados e somar os resultados $d1$ e $d2$. Podemos então escrever a fórmula:

$$d = \sqrt{2Rh1} + \sqrt{2Rh2}$$

Na prática considerando-se os efeitos da difração e da refração, o alcance pode ser até uns 15% maior do que o valor calculado.

Par trançado

O par trançado pelo seu baixo custo tem sido bastante usado numa grande quantidade de aplicações que envolvem desde a telefonia com a transmissão de voz num sistema analógico até informações digitais, como o acesso à internet.

1.12 - Linhas de transmissão

Os sinais de altas frequências que transportam informações podem ser enviados através de meios físicos, ou seja, conjuntos de condutores. Estes meios físicos podem ser utilizados para transmitir os sinais de um transmissor a uma antena ou de um transmissor a um receptor. Estes meios físicos são denominados linhas de transmissão.

Um condutor ou um conjunto de condutores utilizado como linha de transmissão apresenta propriedades específicas que influem no modo que o sinal se propaga. Assim, de grande importância para o estudo das telecomunicações é saber como os diversos tipos de disposições de condutores, ou seja, as formas das linhas de transmissão influem nos sinais. Assim, passamos a rever as características dos principais tipos de linhas de transmissão.

O tipo mais simples de linha de transmissão é a formada pelo par paralelo ou par trançado cuja impedância é de 600 ohms. Este tipo de linha de transmissão é bastante usado para dados e telefonia, mas impróprio para transmissão de sinais de alta potência pelo fato de irradiar estes sinais. Este tipo de linha não é blindado.

Mais utilizado é o cabo coaxial que apresenta impedâncias de 50 a 95 ohms, conforme o tipo. Este tipo de linha pode operar com sinais intensos e não apresenta perigo de irradiar ou captar interferências. Na figura 19 temos a construção de um cabo deste tipo.

O detalhamento do funcionamento das linhas de transmissão é feito no segundo volume de nosso Curso de Telecomum - Linhas de Transmissão e Fibras Ópticas.

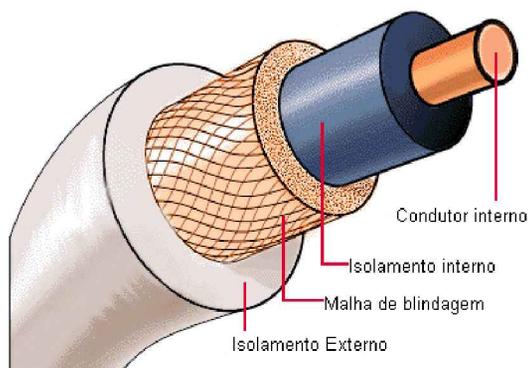


Figura 19 – O cabo coaxial.

Para frequências muito altas, na faixa das SHF é comum a utilização de guias de onda para a transmissão dos sinais. Estas guias se comportam como canalizações para as ondas e não para os sinais elétricos correspondentes.

1.13 - Antenas – tipos, polarização, ganho e diretividade

A antena é um elemento de interfaceamento que transfere para o espaço, na forma de ondas eletromagnéticas os sinais gerados pelo transmissor, ou então capta as ondas eletromagnéticas, transferindo os sinais gerados para o circuito receptor. No transmissor, a antena converte os sinais de altas frequências gerados pelo transmissor em

ondas de mesmas características. No receptor, a antena gera correntes de altas frequências quando intercepta as ondas eletromagnéticas.

O tipo mais comum de antena transmissora é o dipolo. Quando aplicamos a esta antena um sinal, aparecem campos elétricos e magnéticos. Se analisarmos o que ocorre nesta antena, veremos que a corrente e tensão ao longo dos elementos condutores que formam a antena se distribuem de maneiras diferentes, conformemostrado na figura 20.

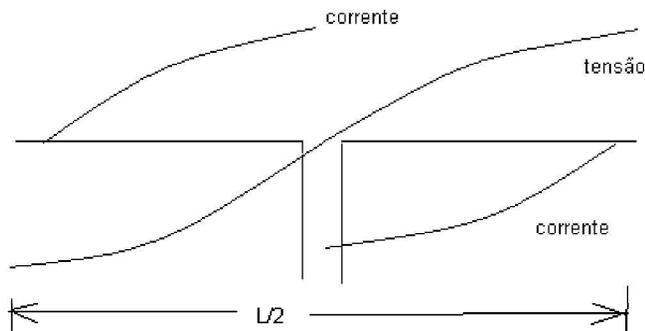


Figura 20 – Tensão e corrente num dipolo.

Por esta figura vemos que se as dimensões da antena corresponderem à metade do comprimento da onda ($L/2$), a tensão será máxima na extremidade e a corrente mínima. Este comportamento é justamente característico de um circuito ressonante em que temos uma característica puramente resistiva no centro da antena, sem componentes indutivas ou capacitivas, pois a reatância capacitiva X_c e a reatância indutiva X_L se cancelam.

Esta característica resistiva pode ser calculada resultando na impedância da antena que é de 73 ohms. No entanto, para maior facilidade de utilização, o valor adotado nos cálculos é 75 ohms. Lembramos que a impedância de uma antena ou de qualquer dispositivo que deva receber ou transmitir sinais é muito importante em qualquer projeto. Só ocorre a máxima transferência de energia de um transmissor para uma antena, por exemplo, quando as suas impedâncias são iguais.

Como a finalidade de uma antena é transferir para o espaço o máximo de energia quando utilizada num transmissor, a sua construção deve ser tal que isso ocorra. Assim, os diversos tipos de antena que existem visam não apenas esta característica como também a possibilidade de concentrar energia com maior intensidade numa determinada direção. Isso nos leva ao conceito de ganho de uma antena.

Uma antena é um elemento passivo de um circuito de transmissão ou de recepção de sinais, isto é, ela não amplifica os sinais. Neste caso então, o conceito de ganho tem um significado diferente. O termo ganho, para uma antena, é utilizado para designar sua capacidade de transmitir ou receber com mais facilidade os sinais numa determinada direção. Desta forma, se a antena irradia os sinais com a mesma inten-

(*) Em algumas publicações técnicas antigas encontramos o termo omnidirecional para este tipo de antena, onde omni em latim significa todas.

tidade em todas as direções, ou seja, ela é uma antena onidirecional (*), conforme mostra a figura 18, podemos dizer que esta antena tem ganho unitário e ela pode servir de referência para comparação com antenas que podem concentrar os sinais em uma determinada direção, se forem transmissoras, ou receber melhor os sinais que venham de uma certa direção, se forem receptoras.

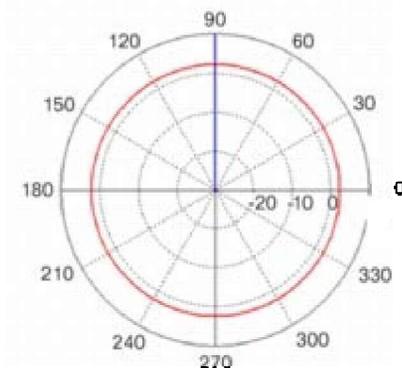


Figura 21 – Uma antena onidirecional transmite (ou recebe) os sinais de todas as direções com a mesma intensidade.

Se uma antena consegue concentrar duas vezes mais energia numa determinada direção do que uma antena onidirecional tomada como padrão, então esta antena tem um ganho. Usando como referência o dB, a antena padrão teria um ganho nulo (0 dB). Partindo então desta antena como referência podemos escrever uma fórmula logarítmica para o ganho de uma antena:

$$G(\text{dB}) = 10 \log (P1/P2)$$

Onde:

G é o ganho da antena em dB

Log é o logaritmo na base 10

P1 é a potência da antena considerada em mW

P2 é a potência da antena padrão em mW

Podemos dar como exemplo uma antena que irradia 20 W numa determinada direção enquanto a que a antena padrão irradia 1 W na mesma direção. O ganho desta antena será:

$$G = 10 \log (20/1) = 17 \text{ dB}$$

Para uma antena receptora a comparação é feita entre a intensidade que ela recebe o sinal de uma determinada direção e a intensidade que a antena padrão recebe o mesmo sinal. Na figura 22 mostramos o diagrama típico de diretividade de uma antena onde podem ser observados na plotagem os ganhos em diversas direções.

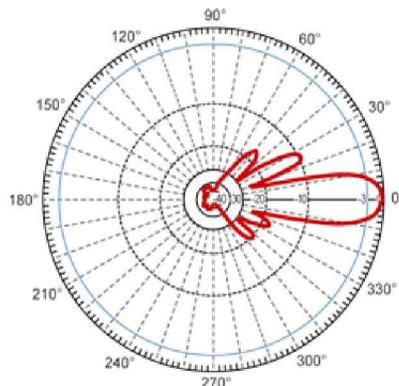


Figura 22 – Diagrama de ganhos de uma antena direcional.

Observe que este diagrama mostra alguns lóbulos laterais que são comuns nas antenas reais. Na prática, entretanto, algumas antenas produzem padrões bastante complexos com lóbulos em diversas direções, atestando neste caso a irradiação em direções nem sempre desejáveis.

Este diagrama e o próprio conceito de ganho nos permitem falar em diretividade de uma antena como sua capacidade de concentrar sinais em uma determinada direção. A diretividade de uma antena é determinada pelo modo como ela é construída, ou seja, pela disposição de seus elementos. O diagrama de ganhos é também um diagrama de diretividade. Na figura 23 temos uma outra maneira de se representar o ganho de uma antena.

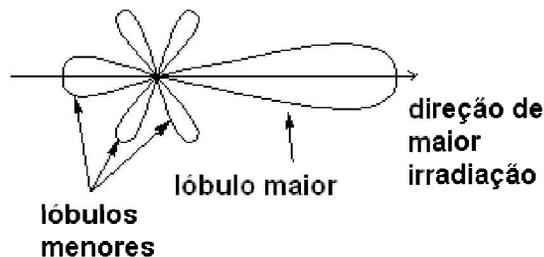


Figura 23 – A diretividade de uma antena é a capacidade dela concentrar os sinais numa determinada direção.

Observe que nesta representação não temos a indicação do ganho na direção em que o sinal é concentrado.

Como as antenas reais não irradiam toda a sua energia na direção desejada, mas também em outras direções, formando lóbulos indesejáveis, como vimos na figura, em alguns casos é conveniente termos uma idéia da quantidade de energia que é irradiada na direção contrária à orientação da antena. Isso nos leva a definir o que se denomina “relação frente/costa” de uma antena. Trata-se da relação entre a intensidade dos sinais irradiados na direção da orientação da antena (frente) e na direção contrária (costas) ou A/B, conforme mostra a figura 24.

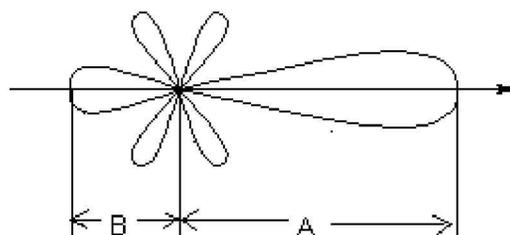


Figura 24 – Relação frente/costas de uma antena

Uma outra característica importante de uma antena é a sua polarização. Conforme vimos, uma onda eletromagnética possui componentes magnética e elétrica que são perpendiculares entre si. Quando esta onda é irradiada, o sinal avança segundo uma certa orientação que depende da construção da antena. Para receber de forma apropriada estes sinais, a antena receptora deve ter uma disposição de elementos que corresponda à orientação destes sinais.

Dizemos então que as antenas possuem polarizações que devem ser observadas quando da sua instalação. Se uma antena tem uma polarização vertical, por exemplo, a antena receptora deve ter a mesma orientação, conforme mostra a figura 25.

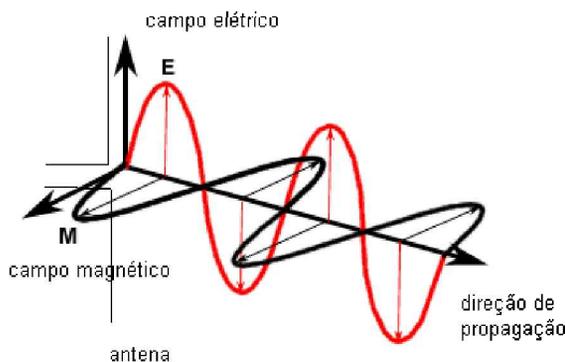


Figura 25 – Polarização vertical de uma antena

Existem diversos tipos de polarização possíveis, além da horizontal e vertical que são as mais comuns. Por exemplo, é possível gerar padrões de polarização na antena transmissora que mudam constantemente, possibilitando o uso de antenas receptoras com qualquer posicionamento. Isso ocorre, por exemplo, com a denominada “polarização circular”.

O tipo mais simples de antena é aquela formada apenas por elementos que irradiam ou recebem os sinais. Estas antenas possuem alguns formatos básicos que determinam tanto a polarização como sua diretividade. No entanto, podemos melhorar o desempenho de uma antena, aumentando sua diretividade ou ainda dotando-a de determinado tipo de polarização, utilizando elementos adicionais. Assim, de acordo com a disposição dos elementos, quantidade dos elementos,

padrões de irradiação, existem diversos tipos de antenas. Nas antenas comuns encontramos normalmente três tipos de elementos:

Os elementos irradiantes ou ativos são os que transferem os sinais do transmissor para o espaço ou que interceptam os sinais que devem ser recebidos. Os elementos refletores refletem os sinais em direção aos elementos ativos ou os sinais dos elementos ativos para uma determinada direção enquanto os elementos diretores dirigem os sinais para os elementos ativos ou ajudam a concentrar os sinais numa certa direção, conforme mostra a figura 26.

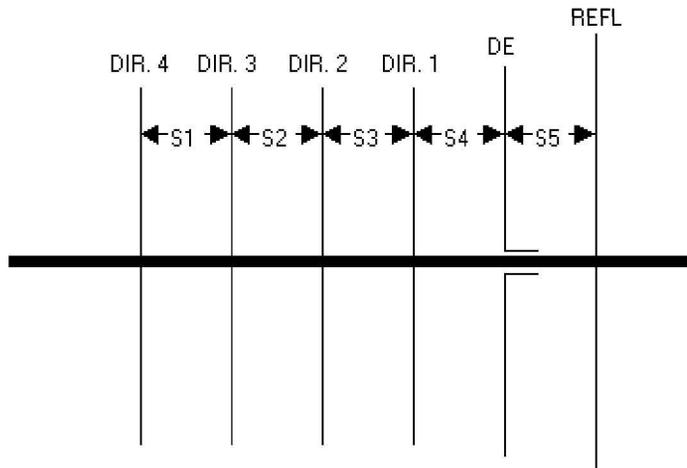


Figura 26 – Os elementos de uma antena.

Na antena mostrada na figura 22 temos 4 elementos diretores, um elemento refletor e um elemento irradiante ou ativo.

Os tipos mais comuns de antenas são:

a) Dipolo de Meia onda

Conforme já vimos, o dipolo de meia onda é formado por dois condutores que, esticados, cobrem um comprimento igual à metade do comprimento da onda do sinal que deve ser transmitido ou recebido. O diagrama de diretividade desta antena é dado na figura 27.

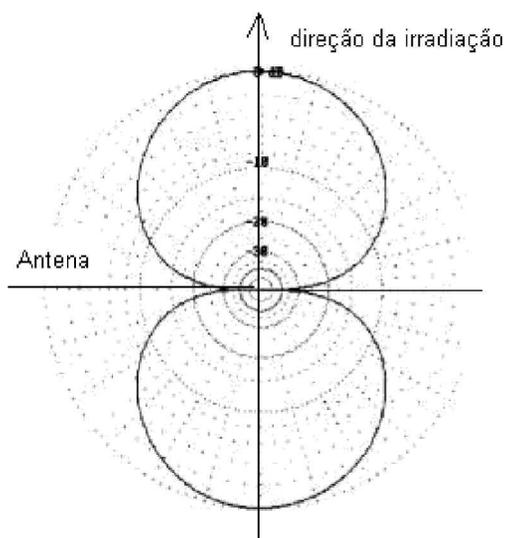


Figura 27 – Diagrama de diretividade de um dipolo de meia onda.

Conforme podemos ver, ela irradia com a mesma intensidade em direções opostas, apresentando, portanto ganho nestas direções. A impedância do dipolo de meia onda é de 75 ohms.

b) Dipolo dobrado

O dipolo dobrado é um tipo de antena cuja forma e dimensões são mostradas na figura 28. O diagrama de diretividade desta antena é bastante semelhante ao dipolo de meia onda e sua impedância é de 300 ohms. Este tipo de antena é bastante utilizado para a recepção de sinais de TV.

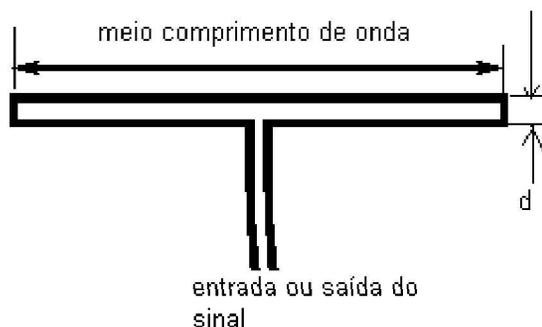


Figura 28 – Dipolo dobrado

A distância d que separa os elementos condutores corresponde ao comprimento de onda dividido por 12,6.

c) Yagi

Nesta antena temos elementos ativos, um elemento refletor e diversos elementos diretores. O número de diretores determina sua diretividade e portanto seu ganho. A antena da figura 22 é uma antena yagi. Sua impedância típica é de 50 ohms.

d) Helicoidal

Trata-se de um tipo de antena muito utilizado em sistemas de comunicação por micro-ondas dadas as dimensões que o elemento helicoidal deve ter. Na figura 29 temos um exemplo de antena helicoidal.

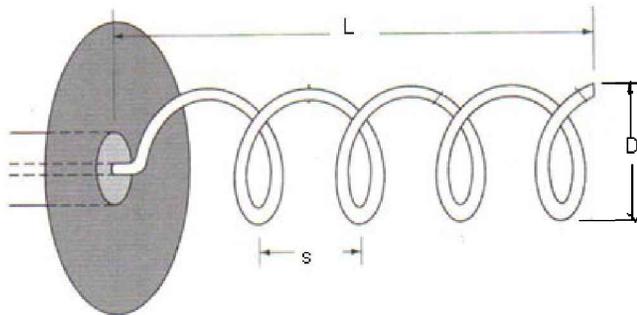


Figura 29 – Antena helicoidal

O espaçamento entre as espiras (s) deve ser de $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda com que a antena trabalhar e a dimensão D , diâmetro da espiras corresponde a $\frac{1}{3}$ do comprimento de onda. O Diâmetro do refletor é de 80% do comprimento de onda.

e) Plano-terra

Um tipo de antena bastante empregada em sistemas de telecomunicações é a plano-terra que possui uma impedância de 50 ohms, conforme mostra a figura 30.

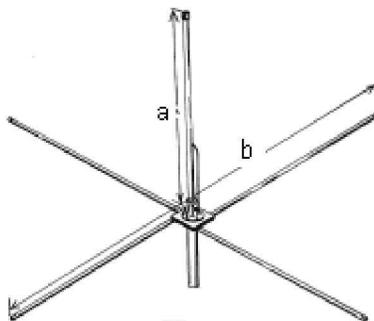


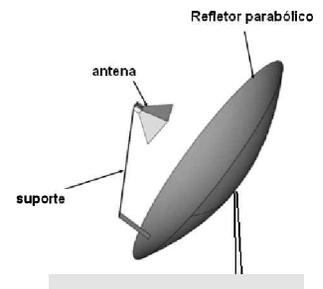
Figura 30 – Uma antena básica plano-terra.

A altura (a) do elemento central corresponde a $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda com que a antena trabalha enquanto que os elementos radiais (b) devem ter o mesmo comprimento da onda do sinal recebido ou transmitido.

Conforme podemos observar as dimensões de uma antena são tanto menores quanto maior for a frequência de operação. Com a utilização crescente das faixas superiores do espectro a tendência é de que as antenas sejam cada vez menores. Na faixa dos gigahertz, por exem-

Antena Parabólica

O que se denomina antena parabólica na realidade não é uma antena. Nesse tipo de antena, a concha com uma curvatura parabólica, na realidade é um refletor, que reflete os sinais para a antena que se encontra em seu foco.



Para pesquisar:

- Maxwell
- Planck
- Einstein
- Teoria quântica
- Ondas
- Landel de Moura
- Logaritmos
- Ondas curtas

plo, as antenas se tornam tão pequenas que já podem ser incorporadas nas placas de circuito impresso. É o que ocorre em muitos casos de comunicações sem fio portáteis como telefones, GPS, etc.

Landel de Moura

Da mesma forma que existe uma grande controvérsia em relação à invenção do avião, caso em que os americanos defendem os irmãos Wright e nós Santos Dumont, podemos dizer que para o rádio existe também uma boa discussão sobre o assunto. Os russos defendem Popov enquanto que “oficialmente”, Marconi é o inventor do rádio. No entanto, existem provas de que muitos pesquisadores transmitiram e receberam ondas de rádio antes de Marconi.

É o caso do padre brasileiro Roberto Landell de Moura que enviou sinais de rádio entre pontos diferentes da cidade de São Paulo, antes de Marconi e também teria transmitido a voz e imagens na mesma época sem o devido reconhecimento.

Somente agora suas descobertas estão sendo revistas com a atribuição do devido valor que possuem. Sugerimos aos leitores interessados que visitem o site de Luiz Netto sobre Landell de Moura em <http://www.rlandell.hpg.ig.com.br/> ou ainda que leiam o livro de Hamilton Almeida, Padre Landell de Moura: um herói sem glória. “O brasileiro que inventou o rádio, a TV, o teletipo” (Editora Record).



Roberto Landell de Moura – Inventor do rádio

QUESTIONÁRIO

1. Num átomo carregado negativamente temos:

- a) O número de prótons é maior do que o de elétrons
- b) O número de elétrons é maior do que o de nêutrons
- c) O número de prótons é menor do que o de nêutrons
- d) O número de elétrons é maior do que o de prótons

2. Numa onda eletromagnética:

- a) Os campos, elétrico e magnético são paralelos
- b) Os campos, elétrico e magnético são opostos
- c) Os campos, elétrico e magnético são perpendiculares
- d) Os campos, elétrico e magnético estão em fase

3. Podemos afirmar que para uma onda eletromagnética:

- a) A frequência é diretamente proporcional ao período
- b) A frequência é inversamente proporcional ao período
- c) A frequência é igual ao período
- d) A frequência é diretamente proporcional ao comprimento de

onda

4. A faixa de frequências de 30 a 300 MHz é denominada:

- a) HF b) VHF c) UHF d) SHF

5. Podemos receber sinais de VHF por trás de um morro apontando a antena para sua quina. Este fato é devido ao fenômeno denominado:

- a) Refração b) Reflexão
- c) Difração d) Ondas estacionárias

6. A recepção de sinais à distâncias muito grandes, bem além do horizonte óptico pode ocorrer devido a que fenômenos?

- a) Refração na ionosfera
- b) Refração na troposfera
- c) Difração em morros
- d) As respostas a e b estão corretas

7. Para um sinal na faixa de UHF o alcance será tanto maior:

- a) Quanto for a altura da antena transmissora
- b) Quanto maior for a antena receptora
- c) Quanto maior for a potência do transmissor
- d) Quanto maiores forem as alturas tanto da antena receptora

como transmissora

8. Qual é a impedância de uma linha paralela ou trançada?

- a) 50 ohms b) 75 ohms c) 600 ohms d) 1 200 ohms

9. Quantos pares de elementos refletores tem uma antena Yagi?

- a) Depende do ganho b) 1 c) 2 d) 5



» Formas de Onda

» Circuitos Ressonantes

» Filtros

2. O que você vai aprender

Nesta lição continuaremos analisando as principais características dos sinais de altas frequências utilizados nos circuitos de radio-comunicações. Trataremos das medidas de potência, ganhos e reveremos os conceitos relacionados com as formas de ondas complexas, harmônicas e a teoria de Fourier. Além disso analisaremos os circuitos ressonantes e os filtros.

2.1 – Formas de onda complexas

2.2 - Circuitos ressonantes

2.3 - Seletividade – fator Q

2.4 - Filtros

2.5 - O logaritmo e o dB

2.1 – Formas de Onda Complexas

A forma de onda natural produzida pela oscilação de cargas é senoidal. Dizemos então que os sinais puros possuem formas de onda senoidais, conforme mostra a figura 31.

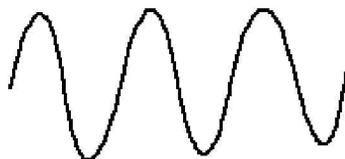


Figura 31 – Um sinal puro possui uma forma de onda senoidal

No entanto por diversos motivos, como deficiências dos circuitos que geram estes sinais ou ainda suas próprias características próprias, a oscilação das correntes não segue um padrão senoidal. O sinal gerado se deforma em relação ao sinal puro, levando-os a apresentar uma forma de onda complexa.

Podemos ter formas de onda complexas tanto em circuitos de baixas como de altas frequências. No caso dos circuitos de baixa frequência nos interessa em especial os sinais de áudio que normalmente são utilizados na modulação dos transmissores.

Um diapasão produz um som cuja forma de onda se aproxima bastante de uma senóide, sendo por isso utilizado na afinação de instrumentos e mesmo como referência para outras aplicações. Na figura 32 temos um diapasão.

Sugerimos consultar nosso livro Curso de Eletrônica - Eletrônica Básica para saber mais sobre a natureza do som.

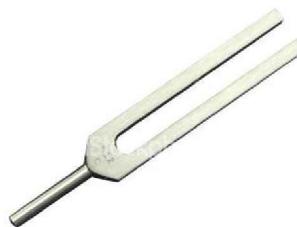


Figura 32 – Um diapasão

No entanto outras fontes sonoras como, por exemplo, as cordas um violão, nossa voz e objetos quando batemos neles, não produzem sons cujas formas de onda sejam senoidais. Nestes casos, temos a produção de formas ondas complexas, como a mostrada na figura 33.

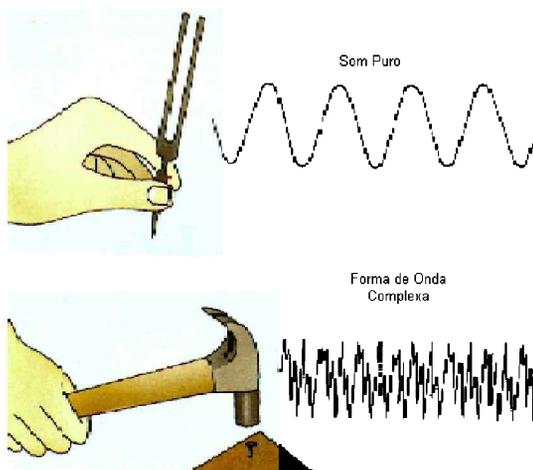


Figura 33 - forma de onda complexa

Isso ocorre porque quando tais objetos são excitados, não apenas um som ou onda sonora é produzida, mas diversas de frequências diferentes que se superpõem interferindo uma nas outras criando assim um padrão complexo como o exemplificado na figura.

Em outras palavras, estas formas de onda complexas são, na verdade, formadas pela superposição de diversas ondas de características diferentes.

Isso também pode ocorrer com os sinais gerados por um transmissor. Os circuitos, em lugar de gerar apenas uma frequência, que é a que desejamos operar, produzem juntamente com ela, diversos outros

sinais de frequências diferentes que, se superpondo por interferência, geram um sinal complexo.

Este sinal complexo é indesejável na transmissão, pois ele representa na verdade um conjunto de sinais que são irradiados em frequências diferentes e que, portanto, podem causar interferências. Além disso, eles absorvem parte da potência do sistema, reduzindo sua eficiência.

2.1.1 - Noções da teoria de Fourier

Um matemático inglês chamado Fourier desenvolveu uma teoria muito importante para a análise de sinais complexos. Segundo Fourier, podemos decompor qualquer tipo de sinal periódico (que tenha frequência fixa) em sinais senoidais de uma frequência fundamental e harmônicas de intensidades diferentes, conforme mostra a figura 34.

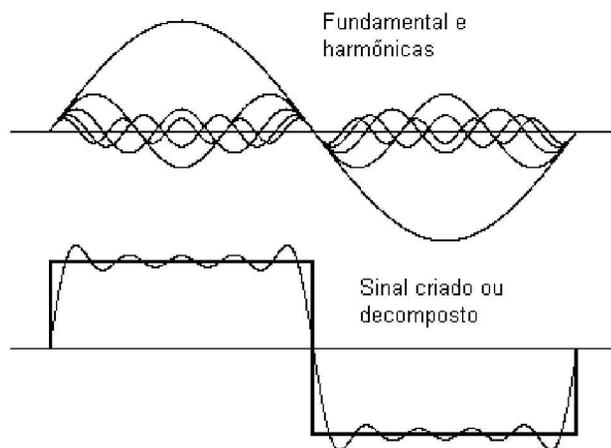


Figura 34 – Um sinal qualquer pode ser decomposto ou criado por sinais senoidais de frequências múltiplas

Isso significa que um sinal que não possua uma forma de onda senoidal, possui harmônicas de diversas intensidades que se estendem teoricamente até uma frequência infinita. Na prática, acima de certo valor da harmônica, a sua intensidade é tão pequena que não tem efeito algum na transmissão do sinal.

Para os projetos de circuitos que envolvam a geração ou análise de sinais, a teoria de Fourier é de extrema importância, pois permite que qualquer forma de onda possa ser sintetizada ou analisada digitalmente com facilidade por circuitos como microprocessadores ou DSPs (Digital Signal Processors ou Processadores Digitais de Sinais).

Na síntese basta indicar a intensidade do sinal fundamental e a intensidade de cada harmônica para que o sinal seja produzido, e na análise basta dar a intensidade do sinal fundamental e das harmônicas até um valor desejado.

Nos circuitos de radiotransmissão e recepção que hoje trabalham quase que totalmente com sinais digitais, a teoria de Fourier é de

Som e eletricidade

Você deve ter observado que tomamos como exemplo de formas de onda os sons. O que ocorre é que som, sinais elétricos e muitos outros fenômenos físicos são periódicos, ou seja, se manifestam na forma de ondas. Assim, muito do que estudamos sobre ondas eletromagnéticas também vale para os sons, a oscilação de um pêndulo, o movimento de uma peça numa máquina, etc. Se quiser saber mais procure sobre MHS (Movimento Harmônico Simples) nos livros de física do ensino médio.

Fourier

Jean Baptiste Joseph Fourier
(1768 – 1830)

vital importância. Esta teoria nos leva ao que se denomina de “Transformada de Fourier” que é uma equação que permite representar qualquer tipo de sinal de forma simples, qualquer que seja a complexidade de sua forma de onda.

Os DSPs, que hoje são os circuitos fundamentais dos transmissores e receptores que operam com sinais digitalizados, se baseiam totalmente nesta transformada para gerar ou receber sinais.

Este matemático francês é que, através de suas séries e de um novo tratamento para as funções periódicas, provou que qualquer forma de fenômeno periódico pode ser decomposta em séries harmônicas senoidais. Em eletrônica isso significa que podemos sintetizar qualquer forma de sinal a partir de sinais senoidais, ou decompor qualquer sinal numa componente fundamental e componentes harmônicas com intensidades que correspondem à forma do sinal original.

2.2 - Circuito ressonante

Todos os objetos possuem uma frequência própria de vibração. Percebemos isto quando batemos numa taça, num pedaço de metal ou num diapasão. O material de que é feito o objeto, suas dimensões e seu formato determinam esta frequência. Denominamos esta frequência de “frequência de ressonância”. Um fato interessante pode ser observado quando dois objetos próximos têm a mesma frequência de ressonância e fazemos um deles vibrar. Dois diapasões afinados para a mesma frequência, por exemplo, podem servir de exemplo para um experimento interessante que envolve este fato. Quando batemos em um emitindo um som, este som faz com que o outro diapasão entre em vibração. Podemos perceber isto aproximando o ouvido do segundo diapasão, conforme mostra a figura 35.

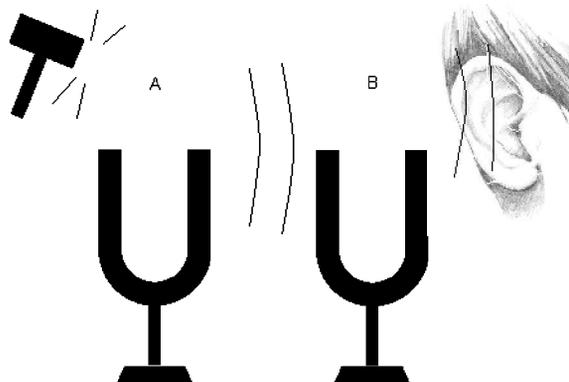


Figura 35– Tocando uma corda de um violão a correspondente do outro também vibra.

Este fenômeno também ocorre com os circuitos eletrônicos. Determinados circuitos eletrônicos também possuem frequências próprias de vibração, emitindo sinais numa única frequência quando são excitados. E, circuitos semelhantes que recebam estas frequências

tendem a vibrar de forma mais intensa, recebendo os sinais destas frequências. No caso, o circuito que faz isso é o circuito ressonante LC mostrado na figura 36.

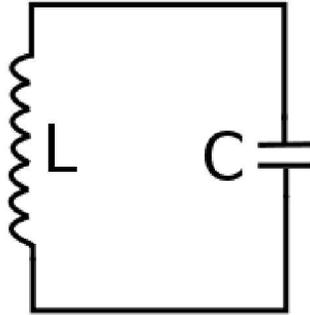


Figura 36 – O circuito ressonante LC.

Este circuito apresenta algumas propriedades de extrema importância para as radiocomunicações. A primeira delas é a de oscilar numa frequência única. Assim, tomando o circuito básico da figura 37, vamos supor que o capacitor esteja completamente carregado.

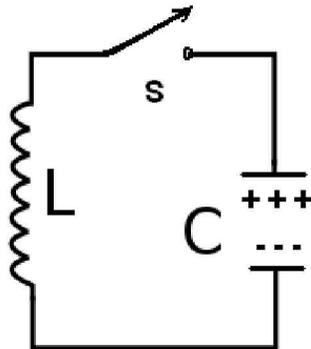


Figura 37 – O capacitor inicialmente se encontra carregado

Nestas condições iniciais, existe um campo elétrico uniforme entre as armaduras do capacitor e nele está armazenada a energia do circuito.

Fechando o interruptor, uma corrente de descarga do capacitor flui através do indutor. Com a descarga do capacitor a corrente criada cria um campo magnético que se expande, e para o qual é transferida a energia, conforme mostra a figura 38.

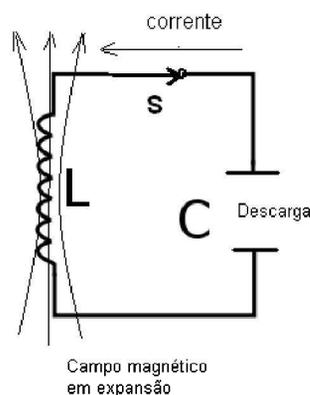


Figura 38 - A energia do campo elétrico no capacitor se transfere para o campo magnético do indutor.

Quando a corrente de descarga cessa, toda a energia está no campo magnético do indutor. Neste momento, o campo magnético começa a contrair-se induzindo no indutor uma tensão que carrega o capacitor, mas com polaridade oposta, conforme mostra a figura 39.

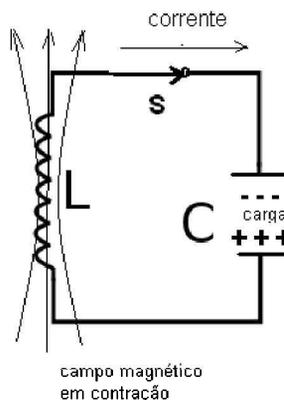


Figura 39 – O campo magnético em contração gera uma tensão que carrega o capacitor novamente, mas com a polaridade invertida.

Terminada a contração do campo, com o seu desaparecimento, o capacitor começa agora a descarregar-se novamente, mas com uma corrente oposta à inicial. Esta corrente gera um novo campo magnético invertido que se expande no indutor, conforme mostra a figura 40.

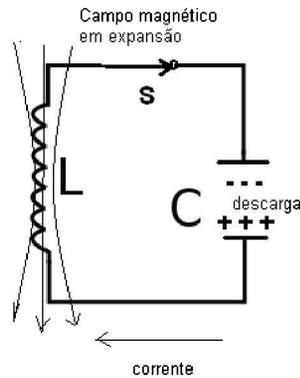


Figura 40 – Campo em expansão pela nova descarga do capacitor.

Novamente, com a descarga completa do capacitor e o campo magnético no máximo, inicia-se uma nova contração com uma nova carga do capacitor com a polaridade original. Um novo ciclo como o descrito tem então início.

Se a carga e descarga do capacitor não ocorresse com perdas o ciclo ocorreria por tempo infinito gerando assim um sinal senoidal cuja frequência dependeria dos valores do capacitor e do indutor. Na prática, entretanto, os condutores do indutor e do circuito representam uma resistência que absorve energia. Assim, a oscilação que ocorre é amortecida até desaparecer, conforme mostra a figura 41.

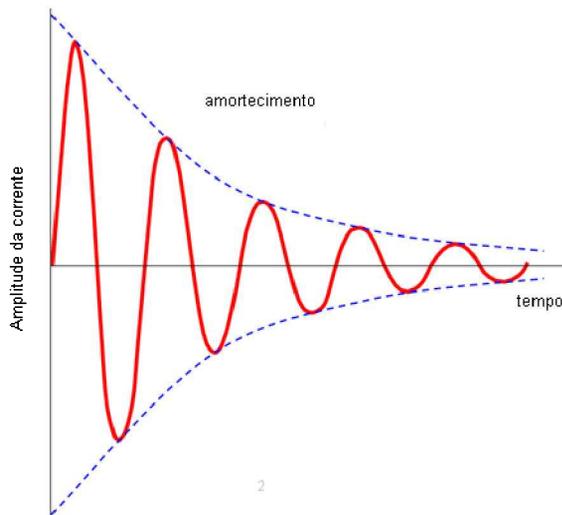


Figura 41– oscilação amortecida

Se em cada ciclo produzido a energia perdida for reposta, teremos um sinal de amplitude constante. Isso pode ser conseguido através de circuitos amplificadores, como ocorre nos denominados osciladores. Num oscilador temos um componente (válvula ou transistor) que constantemente repõe a energia perdida em cada oscilação mantendo assim sua intensidade constante. Na verdade, ele até repõe energia a mais de modo que parte dela possa ser aproveitada num circuito externo, conforme mostra a figura 42 .

Veja mais sobre osciladores no Curso de Eletrônica - Eletrônica Analógica - Volume 2

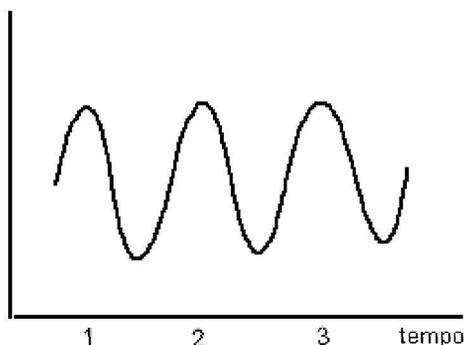


Figura 42 – Sinal de amplitude constante

Quando um circuito LC é excitado ele oscila numa frequência que depende do indutor e do capacitor.

No entanto, se a excitação for um outro sinal ocorre um fenômeno importante dado pela ressonância. Se a frequência do sinal excitante for diferente da frequência natural de oscilação, ou seja, da frequência de ressonância, ele terá dificuldade em acompanhar as variações deste sinal, e com isso sua impedância será reduzida. Nestas condições, o circuito se comporta como um condutor para o sinal que passará através dele, conforme mostra a figura 43.

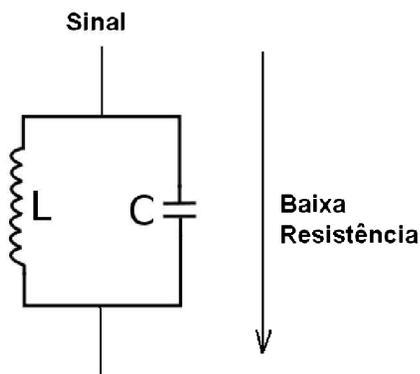


Figura 43– Circuito LC fora da ressonância.

No entanto, se a frequência do sinal coincidir com a frequência de ressonância do circuito LC, ele se comportará como um circuito de alta impedância, aparecendo então o sinal em suas extremidades com grande amplitude, conforme mostra a figura 44.

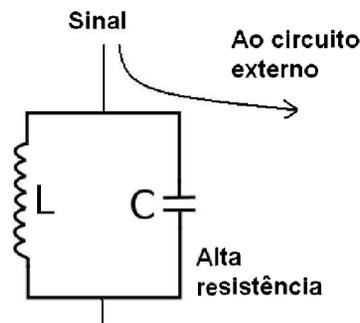


Figura 44 – O circuito LC paralelo na frequência de ressonância.

Esta característica é aproveitada nos circuitos de sintonia dos receptores. Ligados na entrada de um receptor de rádio, os circuitos ressonantes LC paralelos permitem que apenas sinais de uma determinada frequência apareçam nas suas extremidades e, com isso, sejam enviados aos circuitos de processamento, enquanto que os demais são curto-circuitados para a terra, conforme mostra a figura 45 .

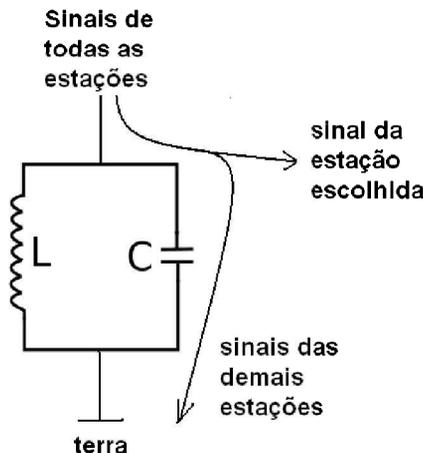


Figura 45 – Circuito de sintonia de um rádio receptor

Na prática é comum que o capacitor seja variável de modo que uma certa faixa de frequências seja varrida e assim selecionadas as estações desejadas. Isso ocorre com os receptores simples.

Uma possibilidade explorada nos circuitos de sintonia LC consiste em se utilizar um capacitor de estado solido cuja capacitância pode ser controlada pela tensão, ou seja, um diodo de capacitância variável ou varicap, num circuito como o da figura 46.

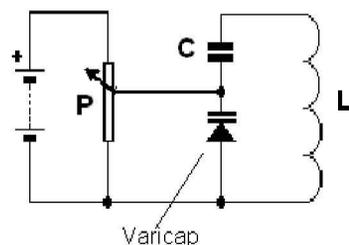


Figura 46– Sintonia feita por varicap

Varicaps

Você poderá saber mais sobre os diodos de capacitância variável ou varicaps no Curso de Eletrônica Analógica do mesmo autor deste livro ou no seu site www.newtoncbraga.com.br

Ressonância em acústica

O fenômeno da ressonância também ocorre com os sons. Sugerimos ler a lição sobre sons do nosso Curso Básico de Eletrônica para mais informações sobre o assunto ou ainda aguardar a lição 6 deste curso.

Neste circuito, a tensão aplicada ao diodo de capacitância variável determina sua capacitância e assim a frequência sintonizada pelo circuito. Esta configuração permite que microcontroladores e outros dispositivos de estado sólido sejam utilizados para realizar a sintonia automática de estações de um circuito. Mas, os circuitos ressonantes também podem ser formados por um capacitor e um indutor ligados em série, conforme mostra a figura 47.

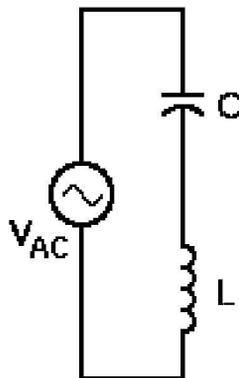


Figura 47– Circuito LC série.

Nestes circuitos na frequência de ressonância a impedância apresentada é baixa, enquanto que nas demais, a impedância é alta.

2.3 - Seletividade – Fator Q

Se analisarmos os circuitos ressonantes, na condição ideal, eles deveriam responder apenas a uma determinada frequência, rejeitando as demais. Na prática, entretanto, a presença de resistências parasitas no circuito faz com que ele tenda a ter curvas de respostas menos agudas, o que determina o fator de qualidade ou fator Q, que mede sua seletividade. Assim, conforme mostra a figura 48, um circuito com um fator de qualidade mais elevado, tem uma seletividade maior, responde melhor a uma determinada frequência e rejeitando as demais.

Veja, entretanto que, na prática, não devemos ter um circuito de sintonia cuja seletividade seja máxima, pois isso também significará que, na modulação do sinal recebido, quando ele se desloca da sua frequência, teremos sua perda.

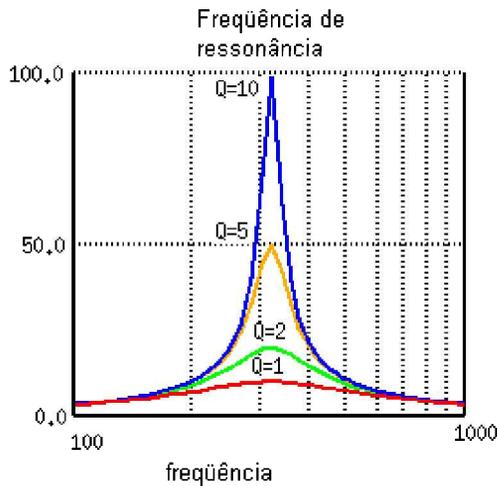


Figura 48– Resposta de um circuito de sintonia LC

O fator Q é dado pela fórmula:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Onde:

Q é o fator Q

R é a resistência associada ao circuito em ohms

C é a capacitância em farads

L é a indutância em henry

Na figura 49 temos o circuito equivalente com a resistência associada:

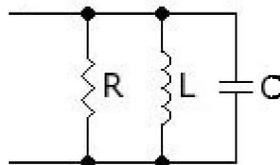


Figura 49 – Circuito RLC

2.4 - Filtros

Filtros são circuitos que se destinam a deixar passar ou bloquear sinais de determinadas frequências. Os filtros se baseiam nas propriedades dos resistores, capacitores e indutores. Assim, podemos ter configurações RC, RL, LC e RLC conforme o comportamento desejado.

Existem basicamente quatro tipos diferentes de filtros que analisaremos a seguir e que encontram uma ampla gama de aplicações em telecomunicações:

a) Passa-baixas

O filtro passa-baixas deixa passar as frequências que estão abaixo de certo valor bloqueando as que estão acima com uma curva de resposta como a mostrada na figura 50.

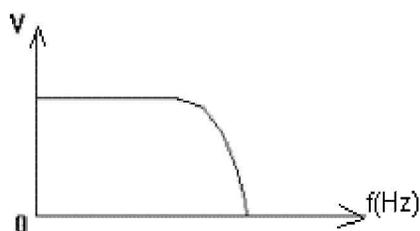


Figura 50 – Filtro passa-baixas

O ponto em que os sinais deixam de passar é denominado frequência de corte do filtro ou simplesmente frequência do filtro. Na prática, conforme podemos ver pela figura, não existe um ponto fixo para isso, mas um ponto em que a ação do filtro começa a ocorrer e os sinais começam a ser bloqueados cada vez com mais intensidade.

Assim, a frequência do filtro é dada pelo ponto em que a intensidade do sinal cai à metade, ou seja, ocorre uma atenuação de 3 dB, conforme mostra a figura 51.

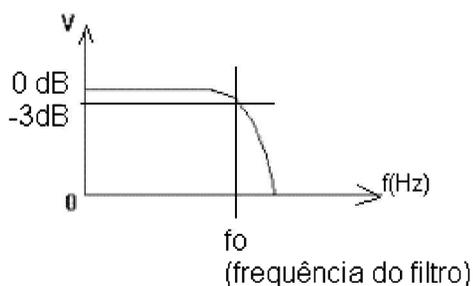


Figura 51 – A frequência do filtro é dada pelo ponto em que o sinal tem uma atenuação de 3 dB.

b) Passa altas

Num filtro passa altas os sinais de frequências que estão acima de certo valor passam sem dificuldade, sendo bloqueadas as que estão abaixo. Na figura 52 temos a curva de resposta típica de um filtro deste tipo.

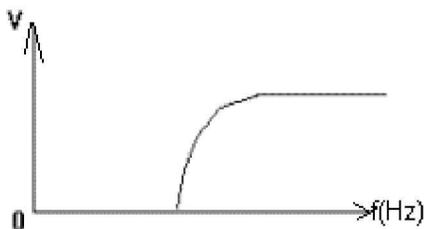


Figura 52 – Filtro passa-altas

Neste caso também, a frequência do filtro é dada pelo ponto em que o sinal atinge metade da intensidade máxima.

c) Passa faixa

No filtro passa-faixa, apenas uma certa faixa de frequências passa com facilidade sendo as demais frequências bloqueadas. A curva típica de resposta deste tipo de filtro é mostrada na figura 53.

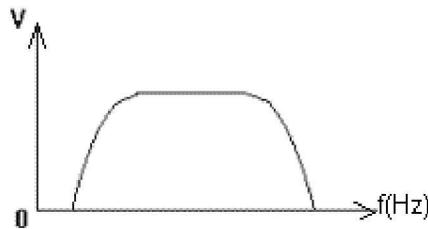


Figura 53 - Filtro passa-faixa

As frequências em que a intensidade do sinal tem uma atenuação de metade de sua amplitude ou 3 dB definem os extremos da faixa de atuação deste tipo de filtro.

d) Bloqueia faixa (notch)

Finalmente temos o filtro bloqueador de faixa, também chamado rejeitor de faixa, em que uma certa faixa de frequências encontra uma forte oposição à passagem, enquanto as demais passam com facilidade. Na figura 54 temos a curva de resposta deste tipo de filtro.

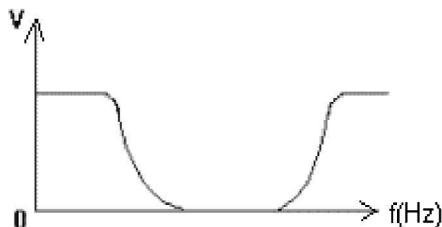


Figura 54– Filtro boloqueador de faixa

2.4.1 - As características dos filtros

Quando tratamos de filtros as especificações são de grande importância. Conforme podemos ver pelos gráficos, os filtros não cortam as frequências a partir dos pontos fixados de forma abrupta, mas segundo uma curva suave, conforme vimos. Isso significa que as frequências próximas, sofrem uma atenuação gradativa à medida que se afastam do ponto fixado. Em outras palavras, frequências próximas ainda passam.

Filtros passa-tudo e passa-nada

Existem publicações que incluem mais dois tipos de filtros, que na verdade, não podem ser classificados como tal. São os filtros “passa-tudo” e os filtros “passa-nada”. Os filtros passa tudo nada mais do que circuitos de acoplamento que deixam passar normalmente sinais de todas as frequências, sem atenuação enquanto que os filtros “passa-nada” são interruptores que atenuam todas as frequências.

Rádios

Nos rádios de baixo custo é comum a falta de seletividade que faz com que eles “misturem” estações próximas. Essa falta de seletividade se deve aos seus circuitos de sintonia que possuem um baixo Q (fator de qualidade)

Para a utilização de filtros num projeto é preciso definir muito bem esta ação de modo que haja uma atenuação apropriada das frequências não desejadas. Assim, além de darmos a frequência para o qual o filtro é calculado, também precisamos dizer o modo como ocorre a atenuação para as frequências próximas.

Isso é feito através da indicação da atenuação em decibéis por oitava ou dB/oitava, conforme mostra o gráfico da figura 55.

Oitava

O conceito de oitava vem da música. Cada nota musical da escala tem uma frequência 1/8 maior do que a frequência da nota anterior. Isso é dado pela capacidade que nossos ouvidos têm de distinguir duas notas de frequência diferentes. O mesmo vale para a eletrônica. Assim, por exemplo, um sinal de 800 Hz tem uma oitava de 100 Hz, portanto, uma oitava acima corresponde à frequência de 900 Hz.

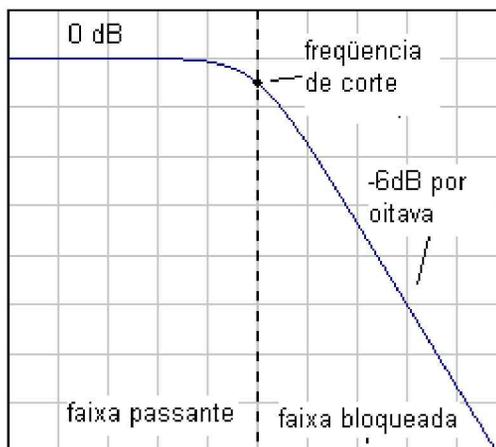


Figura 55 – Atenuação de 6 dB/oitava

Conforme podemos ver, a ação do filtro indicado nos mostra que a atenuação que ocorre é de 6 dB/oitava, ou seja, como se trata de um filtro passa-baixas, quando a frequência é 1/8 maior do que a frequência para o qual o filtro é calculado, a atenuação é de 6 dB. Veja também que existe um pequeno corte da ordem de 3 db na frequência selecionada, o que deve ser considerado no projeto, que é a frequência do filtro, o que já estudamos. Para um filtro de 16 kHz, por exemplo, temos uma atenuação de 6 dB para os sinais de 18 kHz de frequência. Filtros com atenuações maiores são mostrados na figura 56 .

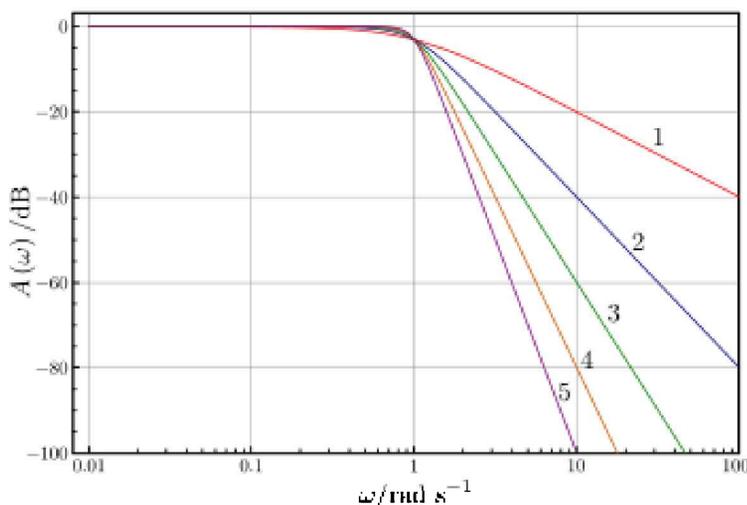


Figura 56 – Filtros com atenuações maiores; 6 dB/oitava (1), 12 dB/oitava(2), 18 dB/oitava (3), 24 dB/oitava (4) e 30 dB/oitava (5)

Em outras palavras, tanto mais aguçada será a ação de um filtro quanto maior o número de dB por oitavas. O número de dB por oitavas de um filtro dependerá tanto de sua configuração, como do número de vezes que cada configuração for repetida, conforme veremos no item seguinte.

2.4.2 - Configurações

Existem diversos tipos de filtros que são utilizados nas aplicações que envolvam sinais de baixas e altas frequências. Analisemos alguns deles:

M Derivado

Trata-se de um filtro de quatro terminais que consiste em seções de filtros T ou π compostos de elementos reativos. Os elementos reativos podem ser tanto circuitos LC série como LC paralelos. Estes filtros são normalmente assimétricos, pois existe uma diferença entre a impedância de entrada e a impedância de saída. Na figura 57 temos um exemplo de filtro deste tipo

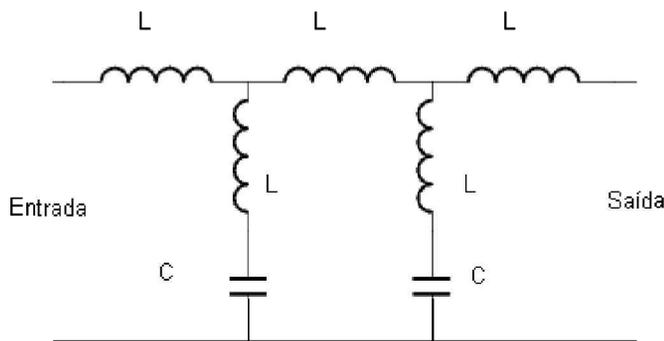


Figura 57 - Filtro M derivado

Na figura 58 temos a resposta típica de um filtro desse tipo.

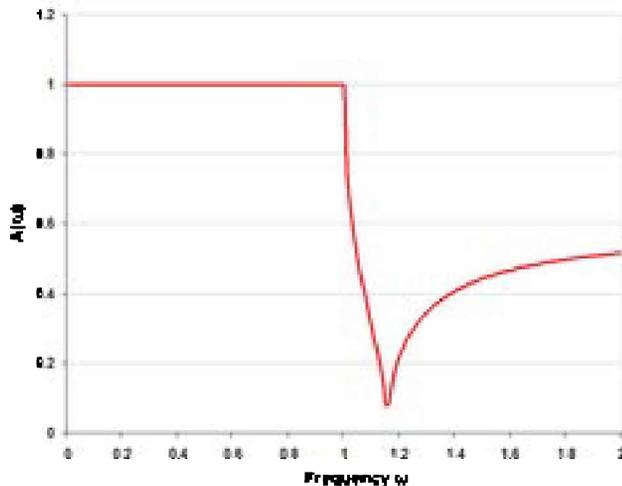


Figura 58 – Resposta de um filtro M derivado

Constante K

Neste tipo de filtro o produto da impedância série ou paralelo é constante e independe da frequência. Na figura 59 temos um exemplo deste tipo de filtro.

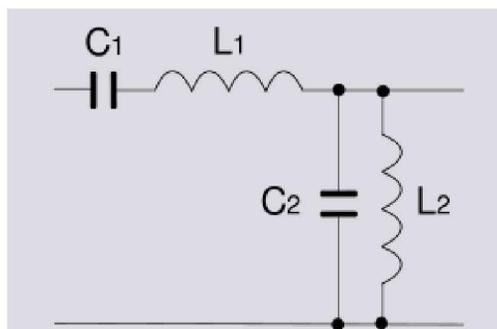


Figura 59 - Filtro Constante K

A figura 60 mostra a resposta deste tipo de filtro.

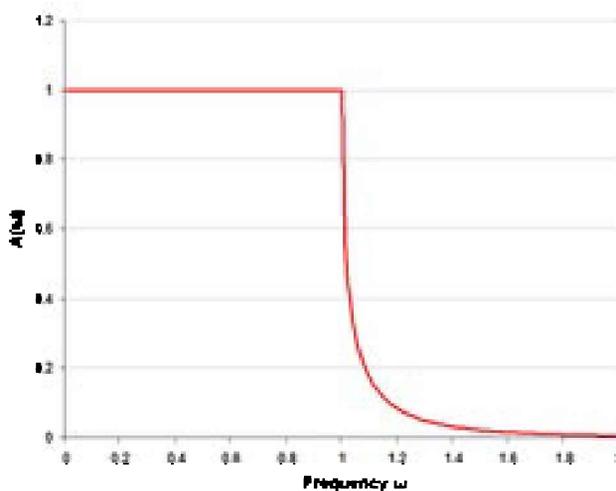


Figura 60 – Resposta de um filtro constante K

Passa-Faixa

São filtros simples formados por circuitos sintonizados LC com eventual acréscimo de um resistor para programar o Q e a largura da faixa. Na figura 61 temos um exemplo de filtro deste tipo.

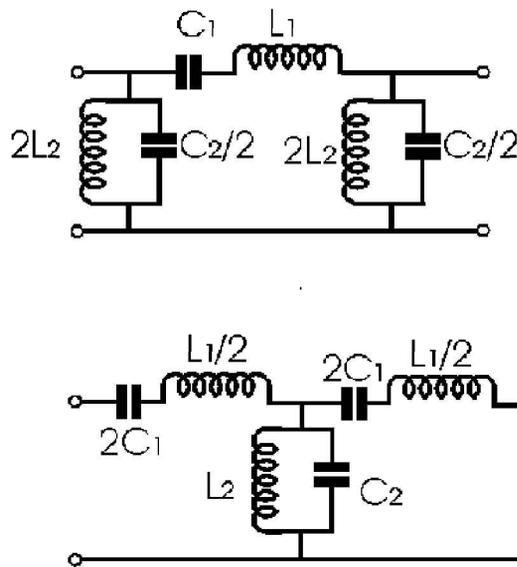


Figura 61 – Passa-faixa ou passa-banda LC.

Nesta figura mostramos exemplos de filtros em PI (alto) e em T (baixo), formados apenas por bobinas e capacitores. Na figura 62 temos as curvas típicas desses filtros.

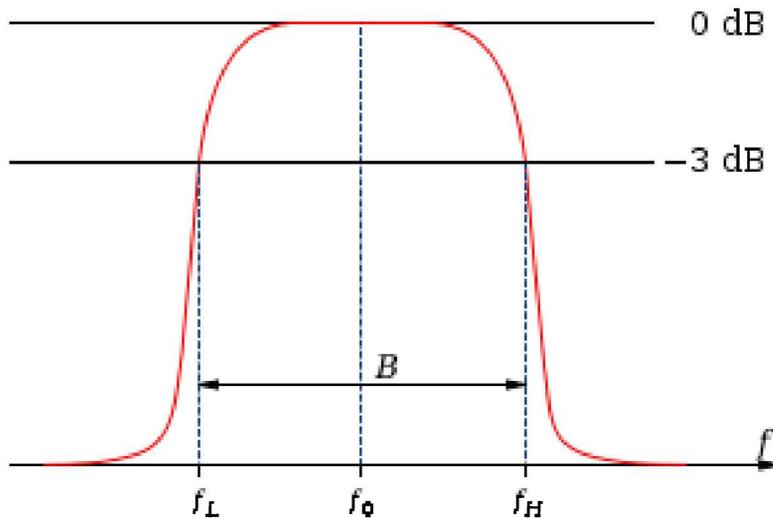


Figura 62 – Curva típica de um filtro passa faixa ou passa-banda (band-pass)

T em Ponte e T Paralelo

Estes são filtros rejeitores de faixa ou “notch”. A configuração deste tipo de filtro pode variar. Na figura 63 temos um exemplo para o filtro em ponte.

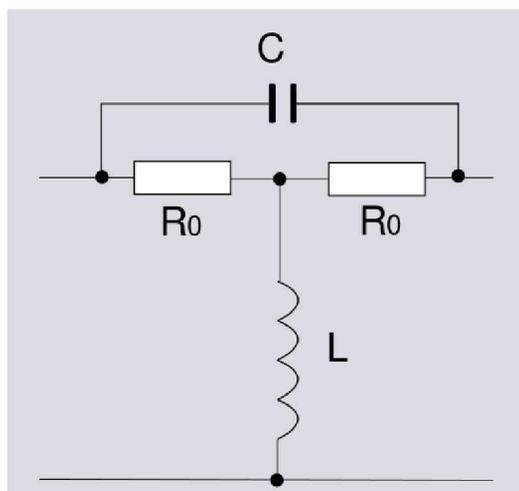


Figura 63 – Exemplo de filtro T em ponte

Butterworth

Este filtro se caracteriza pela sua resposta com topo plano, ou seja, mantém a atenuação constante na faixa de valores em que ela passa. Na figura 64 temos a configuração típica de um filtro passa baixas com elemento ativo (amplificador operacional) deste tipo.

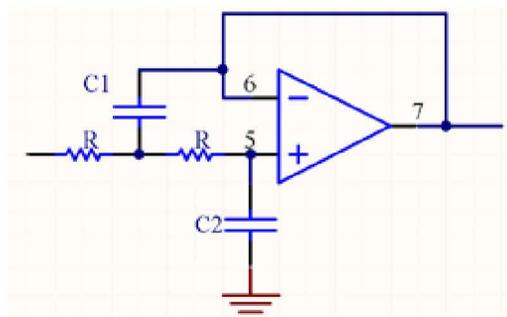


Figura 64 – Filtro Butterworth típico com amplificador operacional

Na figura 65 temos as resposta que obtemos quando diversas seções desse filtro são associadas.

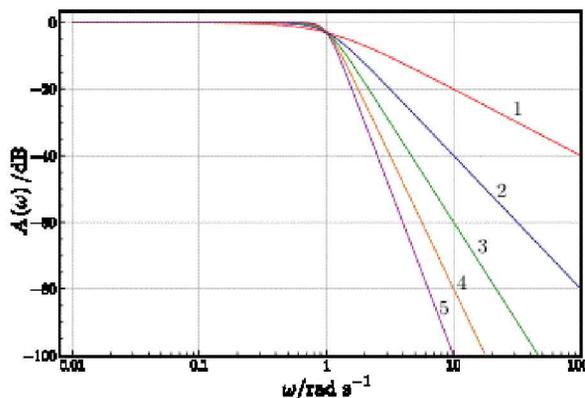


Figura 65 – Curvas de filtros Butterworth com diferentes ordens

Neste tipo de filtro, a atenuação obtida é determinada pelo número de módulos utilizados. Assim, se temos um filtro de primeira ordem (1), a atenuação é de 6 dB por oitava. Se temos um filtro de segunda ordem a atenuação é de 12 dB por oitava e assim por diante. Na figura 66 o circuito de um filtro de segunda ordem.

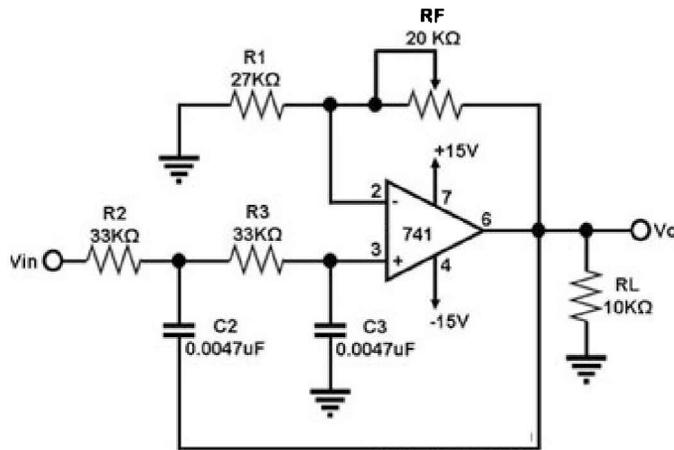


Figura 66 – Filtro passa-baixas Butterworth de segunda ordem

Bessel

Também conhecido como Bessel-Thompson, este filtro também recebe a denominação de filtro de fase linear. Com uma atenuação menor, ele consegue ter uma alteração da fase também menor do que outros tipos de filtros. Esta característica o torna ideal para trabalhar com sinais retangulares e pulsos, sem retardos numa ampla faixa de frequências.

Na figura 67 temos um deste tipo usando um amplificador operacional.

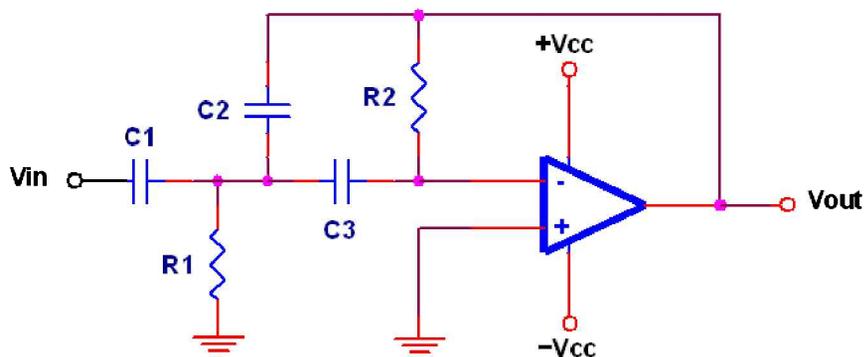


Figura 67 – Um filtro de Bessel passa-altas típico utilizando amplificador operacional.

Na figura 68 temos uma comparação entre um filtro passa-baixas Bessel e Butterworth.

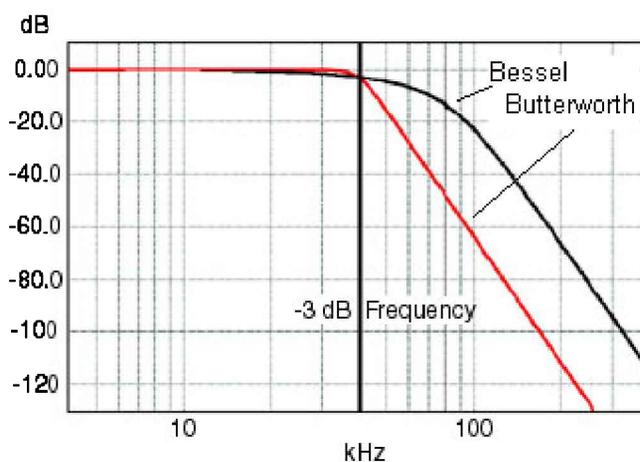
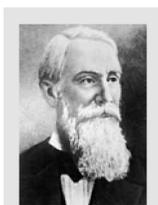


Figura 68 – Comparação dos filtros Bessel e Butterworth

Chebyscheff

Este filtro se caracteriza pelo ripple igual apesar de ter um corte agudo. O ripple deste tipo de filtro é normalmente inferior a 2 dB. Na figura 69 temos um filtro deste tipo.



Tchebyscheff

Lev Pavilovich Tchebyscheff
ou Chebyscheff como em
algumas publicações – 1821
- 1894

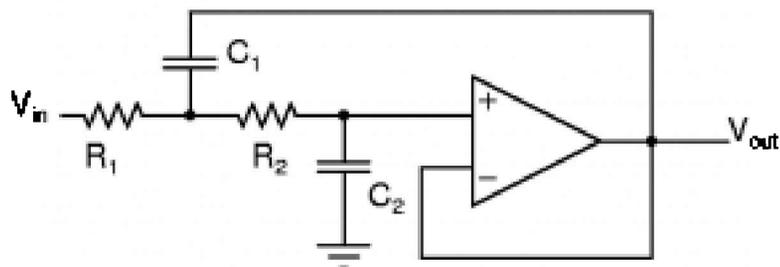


Figura 69 – Filtro de Chebyscheff com operacional

Na figura 70 sua curva de resposta.

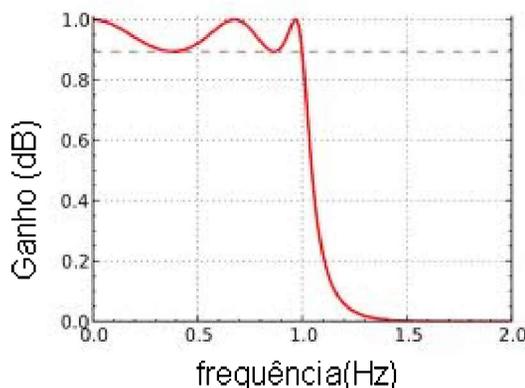


Figura 70 – Exemplo de filtro de Tchebyscheff

2.5– O Logaritmo e o Decibel

Foi John Napier que introduziu a idéia de logaritmo. A idéia de se usar logaritmos apareceu da necessidade de tornar mais simples os cálculos realizados com número muito grandes, como os que apareciam em campos como a astronomia e mesmo a engenharia.

Com o uso de logaritmos, podemos transformar uma operação de multiplicação em uma operação de soma e uma operação de divisão numa operação de subtração.

De uma forma simples, podemos dizer que o nome logaritmo é na realidade uma denominação diferente para o que usualmente chamamos de expoente.

Para entender melhor como funciona uma representação através de um logaritmo, vamos supor que temos a expressão:

$$3^2 = 9$$

Nessa expressão, 3 é a base, 2 o expoente e 9 o resultado, denominado potência. Passando para logaritmo, podemos dizer que: 2 é o logaritmo de 9 na base 3 ou simbolicamente:

$$\text{Log}_3 9 = 2$$

2.5.1 – Tipos e Propriedades dos Logaritmos

Tipos

a) Quando a base do sistema de logaritmos é igual a 10, usamos a expressão logaritmo decimal e na representação simbólica escrevemos somente $\log N$ ao invés de $\log_{10} N$. Assim é que quando escrevemos $\log N = x$, devemos concluir pelo que foi exposto, que $10^x = N$.

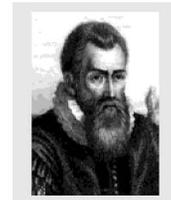
Existe também um sistema de logaritmos chamado neperiano (em homenagem a John Napier - matemático escocês do século XVI, inventor dos logaritmos), cuja base é o número irracional $e = 2,7183\dots$ e indicamos este logaritmo pelo símbolo \ln . Assim, $\log_e M = \ln M$. Este sistema de logaritmos, também conhecido como sistema de logaritmos naturais, tem grande aplicação no estudo de diversos fenômenos da natureza, inclusive em telecomunicações.

b) Os logaritmos decimais (base 10) normalmente são números decimais onde a parte inteira é denominada característica e a parte decimal é denominada mantissa. Assim por exemplo, sendo $\log_2 0 = 1,3010$, 1 é a característica e 0,3010 a mantissa. As mantissas dos logaritmos decimais são tabeladas.

c) Da definição de logaritmo, infere-se (conclui-se) que somente os números reais positivos possuem logaritmo. Assim, não têm sentido as expressões $\log_3(-9)$, $\log_2 0$, etc.

Propriedades

É fácil demonstrar as seguintes propriedades imediatas dos lo-



John Napier ou Neper
(1550-1617).

Definição de logaritmo

Em qualquer ciência as definições são importantes, pois elas estabelecem de maneira exata o que é alguma coisa que vai ser utilizada de maneira frequente. Esse é o caso dos logaritmos, para os quais existe uma definição que é encontrada em todos os livros de matemática da mesma forma. Assim para logaritmo temos que:

Dados os números reais b (positivo e diferente de 1), N (positivo) e x , que satisfaçam a relação $b^x = N$, dizemos que x é o logaritmo de N na base b . Isto é expresso simbolicamente da seguinte forma: $\log_b N = x$. Neste caso, dizemos que b é a base do sistema de logaritmos, N é o logaritmando ou antilogaritmo e x é o logaritmo.

garitmos, todas decorrentes da definição:

a) O logaritmo da unidade em qualquer base é nulo, ou seja:

$$\log_b 1 = 0 \text{ porque } b^0 = 1.$$

b) O logaritmo da base é sempre igual a 1, ou seja: $\log_b b = 1$, porque $b^1 = b$.

c) $\log_b b^k = k$, porque $b^k = b^k$.

2.5.2 – Uso em Telecom

Existem certos tipos de medidas em que o uso de unidades logarítmicas é mais conveniente. É o caso das medidas de ganho e potência de sistemas utilizados em telecomunicações. Desta forma, uma unidade conveniente para este tipo de aplicação é o bel (B) que é definido como

$$G = \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Como se trata de uma unidade logarítmica devemos ter uma idéia de grandeza dos valores que uma medida indica. Por exemplo, se uma medida é o dobro da outra em termos de dB, na verdade ela representa uma quantidade 10 vezes maior. Se a indicação de uma medida é duas vezes maior do que outra quando expressa em unidades logarítmicas, na verdade, ela é de 100 vezes maior

No entanto o bel é uma unidade grande, o que resulta em números pequenos demais quando expressamos ganhos ou potências. Muito mais conveniente é utilizar o decibel (dB) ou décimos de bel que é definido como:

$$G = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Para uma medida logarítmica, pode-se também obter valores negativos quando P_2 for maior que P_1 , ou seja, a potência de saída for menor do que a potência de entrada. Neste caso, o que temos é uma atenuação (ganho menor que 1).

O ganho é uma relação entre potências ou uma relação entre a intensidade de sinais. Isso significa que se trata de uma medida relativa. No entanto, também podemos utilizar o dB para medidas absolutas de ganho de potência.

O dBW ou dB referido a 1 watt é uma dessas medidas. Assim, uma potência expressa em dBW é uma potência em relação a 1 W sendo comum seu uso para expressar a potência de transmissores. Podemos então definir o dBW como:

$$P(dBW) = 10 \cdot \log P(W)$$

O uso desta unidade facilita medidas e cálculos que envolvam a potência de transmissores e outros circuitos de rádiotransmissão.

Uma outra possibilidade para a medida de potência em termos de dB consiste em tomar como referência o miliwatts e não o watt. Obtemos então o dBm (dB referenciado ao miliwatt) que é definido como:

$$P(\text{dBm}) = 10 \cdot \log P(W)$$

Observamos que uma mesma potência medida em dBW e dBm levam a resultados diferentes. Por exemplo, uma potência de 0,5 W resulta em -3 dBW e 27 dBm.

Finalmente temos a possibilidade de medir a amplitude de sinais pela tensão também em dB o que nos leva ao dBV ou dB referenciado ao volt. A definição desta unidade é:

$$V(\text{dBV}) = 20 \cdot \log V$$

Importante para todo o profissional das telecomunicações é estar atento às unidades utilizadas em qualquer tipo de cálculo. As unidades devem ser sempre as mesmas, devendo ser feitas antes as conversões quando necessárias.

Termos para pesquisa:

- Harmônicas
- Figuras de Lissajous
- Composição de movimento
- Seletividade
- Logaritmo
- Filtros
- Decibel

Questionário:

1 - A forma natural de uma oscilação é:

- a) Senoidal
- b) Retangular
- c) Quadrada
- d) Triangular

2 - Podemos decompor um sinal retangular em:

- a) Sinais retangulares de frequências harmônicas
- b) Sinais triangulares de frequências harmônicas
- c) Sinais senoidais de frequências harmônicas
- d) Sinais dos três tipos anteriores

3 - Uma bobina e um capacitor ligados em paralelo formam um:

- a) Filtro passa baixas
- b) Filtro passa altas
- c) Circuito ressonante
- d) Circuito de tempo

4 - Um filtro que deixa passar somente as frequências acima de um certo valor é um filtro:

- a) Passa baixas
- b) Passa tudo
- c) Passa banda
- d) Rejeita banda

5 - Para $4^3 = 64$ podemos escrever:

- a) $\text{Log}_3 64 = 3$
- b) $\text{Log}_4 64 = 4$
- c) $\text{Log}_{64} 3 = 4$
- d) $\text{Log}_{64} 4 = 3$



» Sistemas de Radiocomunicação

3. O que você vai aprender

A tecnologia das telecomunicações se baseia em grande parte na possibilidade que temos de usar sinais de altas frequências e ondas de rádio para transportar informações. Neste capítulo estudaremos basicamente os meios que fazem uso das ondas de rádio, analisando o princípio de funcionamento dos transmissores e dos receptores. Veremos como funcionam estes circuitos, suas modalidades de operação e algumas características dos sistemas que eles podem formar. Ele será formada pelos seguintes itens:

- 3.1 – Radiocomunicações
- 3.2 – Meios físicos e fibras ópticas
- 3.3 – O transmissor
- 3.4 – O receptor
- 3.5 – Circuitos receptores
- 3.6 – Sensibilidade e seletividade
- 3.7 - Transceptores
- 3.8 – Comunicações por satélites

3.1 – Radiocomunicações

Os sistemas de radiocomunicações fazem uso das ondas de rádio (ondas eletromagnéticas) do espectro entre 3 kHz e mais de 3 GHz para envio de informações à distância.

Essas informações podem ser som, imagens e dados, tanto na forma analógica como digital. Dependendo da finalidade, tipos de informações que devem ser enviadas ou alcance, um sistema de radiocomunicações pode ter diversas topologias.

O sistema mais simples é o formado por um transmissor, um par de antenas (antena transmissora e antena receptora) e um receptor, conforme mostra a figura 71.

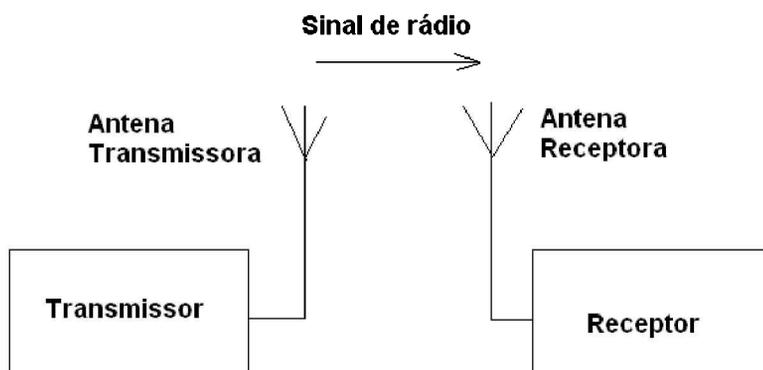


Figura 71 – O sistema mais simples de radiocomunicações é formado por um transmissor, um receptor e um par de antenas

O transmissor e a antena transmissora formam a estação transmissora, enquanto que o receptor e antena receptora formam a estação receptora.

Tanto a estação transmissora como a receptora podem ser fixas como móveis. Um sistema que tem as duas estações fixas é um sistema de telecomunicações fixo, enquanto que aquele que tem pelo menos uma das estações móvel é um sistema móvel de telecomunicações, conforme mostra a figura 72.

- a) Fixo para fixo
- b) Fixo para móvel

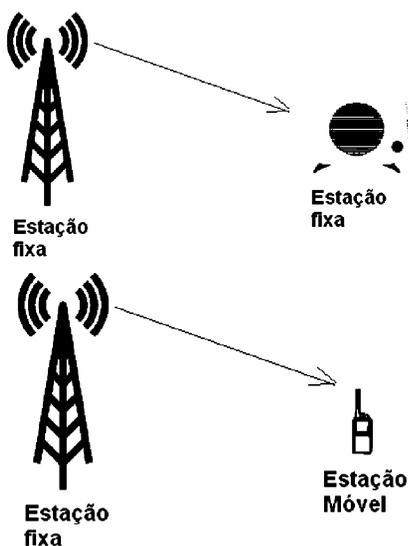


Figura 72 – Sistema simples fixo-fixo e fixo-móvel

Um segundo sistema de radiocomunicações é o que faz uso de uma estação transmissora e diversas estações receptoras. É o caso de um sistema de radiodifusão (broadcasting) em que temos uma estação emissora ou transmissora e muitas estações receptoras, que são os rádios dos usuários. Esse sistema é mostrado na figura 73.



Figura 73 – Sistema de radiodifusão

Estes sistemas ilustrados são unilaterais, em que temos um lado apenas recebendo as informações e o outro apenas transmitindo.

Veja que o broadcasting não se refere apenas aos sistemas comerciais de difusão via rádio, mas também a outros tipos. Os sistemas de alerta, por exemplo, de furacões ou tsunamis, que avisam receptores espalhados por uma cidade ou área podem ser incluídos nesta categoria.

Podemos ainda falar de sistemas de aviso que cobrem área do oceano e que são captados pelos navios que navegam dentro dessa área.

Quando os dois lados transmitem e recebem as informações, as estações passam a contar com receptores e transmissores, muitas vezes conectados a uma antena única que faz a função de antena transmissora e receptora.

Estas estações, que tanto podem receber como transmitir sinais são denominadas transceptoras e os equipamentos, são chamadas de transceptores, conforme mostra a figura 74.

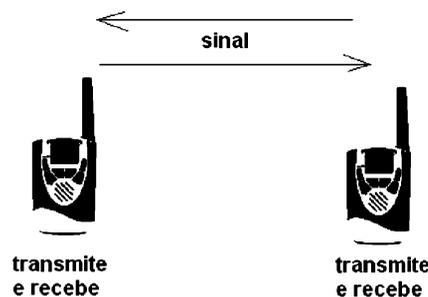


Figura 74 – Os transceptores são usados nas comunicações bilaterais

Quando as estações de um sistema que tanto recebe como transmite são fixas temos o que se denomina sistema ponto-a-ponto ou

peer-to-peer, se adotarmos a denominação em inglês, encontrada em muitos livros e publicações técnicas.

Em muitos casos, as estações transceptoras podem formar um sistema em que temos uma estação fixa e diversas estações móveis que se comunicam apenas com a estação fixa ou com a estação fixa e entre si. Na figura 75 temos um sistema deste tipo.

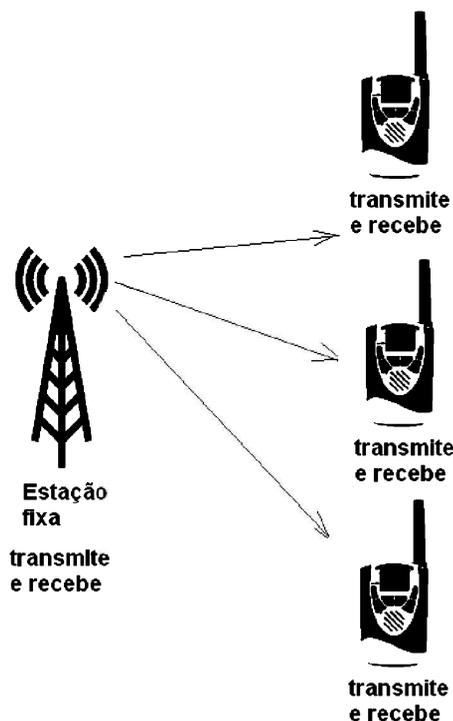


Figura 75 - Um sistema de comunicação com transceptores móveis

Podemos citar como exemplo de sistema que segue a topologia da estação fixa e diversas estações móveis, com as estações móveis apenas comunicando-se com a estação fixa, o sistema de telefonia celular em que os telefones de uma célula comunicam-se com a estação radio base (ERB), mas não comunicam-se entre si.

Também funciona desta forma a internet sem fio (móvel) usada em celulares e tablets.

Podemos ainda citar como topologias em que as estações tanto recebem sinais como transmitem a usada nos sistemas wireless para comunicação de dados entre computadores e periféricos, como as do padrão WLAN e outros. Na figura 76 temos a topologia de um sistema de telecomunicações deste tipo.

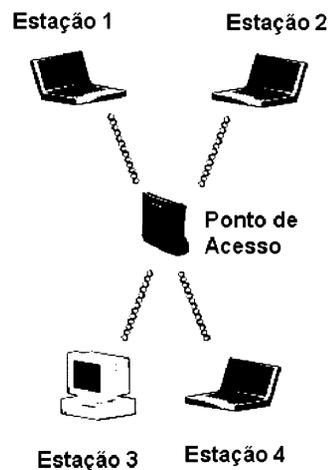


Figura 76 – Rede WLAN

Esta topologia também é denominada multiponto (multipoint), se adotarmos a denominação inglesa.

Finalmente, podemos ter sistemas que incluem estações repetidoras. Este terceiro elemento ativo de um sistema (as antenas são consideradas elementos passivos) é utilizado quando precisamos fazer com que o sinal chegue a um local que não pode ser atingido diretamente pela onda produzida pelo transmissor.

Assim, conforme mostra a figura 77, se um sinal precisar chegar a uma distância muito grande, além do alcance normal do transmissor, e ainda existir um obstáculo como um morro, podemos utilizar uma estação que “repete” o sinal para o receptor.

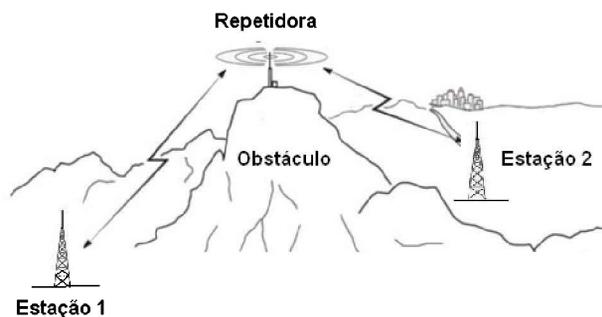


Figura 77 – A estação repetidora

Nesta figura, o sinal que vem da estação 1 chega enfraquecido à antena receptora do repetidor. O sinal é captado passando por um circuito amplificador.

O sinal amplificado é então retransmitido na mesma frequência ou em outra em direção ao receptor (estação 2), que o recebe sem problemas.

Num sistema de comunicações de muito longo alcance, podem ser utilizadas diversas estações repetidoras. No item 4.6 desta lição falaremos mais das repetidoras.

Redes sem fio

As transmissões de dados por sinais de rádio, ou wireless local area networks (WLANs,) são cada vez mais comuns. Para estas transmissões existem topologias especiais que dependem das aplicações e que são estudadas em cursos especiais. Os leitores que desejarem conhecer mais devem fazer um curso sobre redes.

Telecom

O termo telecomunicação deriva da palavra grega Tele (τηλε) que significa “distância” e comunicações. Em suma, telecomunicações ou Telecom significa comunicar a distância ou comunicação à distância. Veja que a palavra não diferencia os sistemas que fazem uso do rádio, fibras ópticas ou cabos. Por isso, quando tratamos de comunicações à distância usando ondas de rádio utilizamos o termo “radiocomunicações”.

Conforme explicaremos no volume 2, alguns livros tratam como meios físicos todo e qualquer meio usado para transportar os sinais de uma estação transmissora a uma receptora, enquanto que outras colocam nessa classificação apenas os meios sólidos, ou seja, as fibras ópticas e os cabos.

As topologias para os sistemas de radiocomunicações podem ainda ser classificadas conforme os tipos de estações que os compõem. Por exemplo, podemos falar num sistema terra-mar, quando uma estação está em terra firme e a outra num navio. Podemos falar em sistemas terra-ar quando uma estação está em terra e a outra numa aeronave;

3.2 – Meios Físicos

As altas frequências que geram ondas eletromagnéticas ou sinais de rádio quando aplicadas a uma antena, também podem ser transmitidas por meios físicos, ou seja, cabos. Se a frequência for muito alta, caindo no espectro infravermelho ou visível, podemos transmitir estas ondas através de fibras ópticas. Também existe a possibilidade de transmitir ondas de rádio através de condutores ou guias de onda.

Há, portanto, uma diferença entre os sinais transmitidos pelos físicos formados pelos cabos e pelas fibras, pois eles se comportam de maneira diferente.

Os meios físicos podem então ser de dois tipos: que conduzem os sinais elétricos e que conduzem as próprias ondas.

Se bem que este livro seja dedicado às radiocomunicações, ou seja, aos sinais que se propagam através do espaço e não através dos meios físicos, devendo ser publicados volumes dedicados ao cabeamento e às fibras ópticas, algumas considerações devem ser feitas.

Assim, em relação aos cabos, que conduzem sinais elétricos de altas frequências, temos duas possibilidades:

A primeira consiste nos cabos coaxiais que possuem uma blindagem para que os sinais não sejam irradiados, causando assim problemas de interferência. Uma característica importante do cabo coaxial é ter uma impedância fixa que independe de seu comprimento. Na figura 78 temos a estrutura de um cabo coaxial típico.

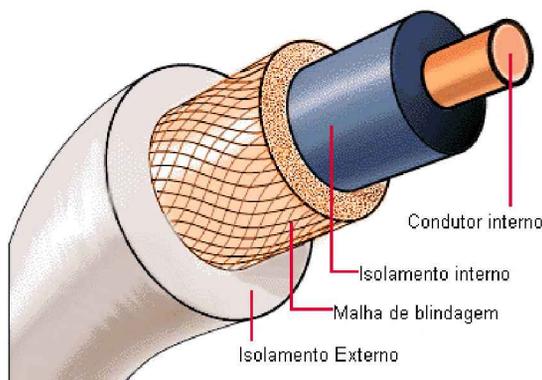


Figura 78 – Um cabo coaxial

Cabeamento

Para a transmissão de dados através de fios (cabos), o que ocorre de forma cada vez mais intensa em muitos locais, existem topologias especiais para sua instalação. Estas topologias são estudadas nos cursos sobre redes, num item denominado “cabeamento estruturado”.

Estudamos estes cabos na lição 1 como linha de transmissão, juntamente com a segunda possibilidade que são os pares trançados, como os mostrados na figura 79.

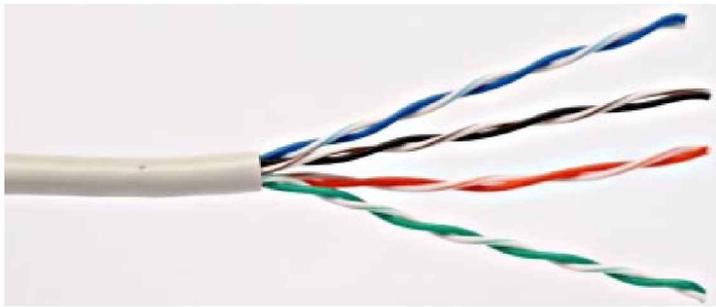


Figura 79 – Pares trançados

3.3 – O Transmissor

Para produzir as ondas eletromagnéticas que vão transportar as informações é preciso gerar correntes de alta frequência que sejam aplicadas a uma antena.

Conforme vimos nas lições anteriores, as correntes de altas frequências criam os campos elétricos e magnéticos responsáveis pela produção das ondas.

Para gerar estas ondas precisamos então de um circuito eletrônico que gere as correntes com a frequência e a intensidade exigidas pelo sistema de radiocomunicações e, além disso, possa receber as informações que devam ser transmitidas agregando essas correntes ao sinal, como também as chamamos.

O equipamento ou aparelho que faz isso é denominado “transmissor de rádio”, “radiotransmissor”, ou simplesmente transmissor. O transmissor mais simples é aquele que consiste simplesmente num oscilador de alta frequência cuja corrente gerada é aplicada a uma antena, conforme mostra a figura 80. Um sinal externo que corresponde à informação que deve ser transmitida, denominado “modulação” é aplicado ao oscilador de modo a modificar a corrente que vai para a antena.

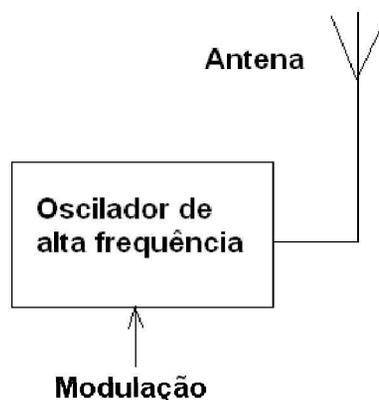


Figura 80 – Um transmissor muito simples, formado por um oscilador de alta frequência ligado a uma antena

No site do autor www.newtoncbraga.com.br o leitor pode encontrar diversos transmissores experimentais que seguem esta topologia.

No entanto, os transmissores mais elaborados, para aplicações profissionais possuem estruturas mais complexas constando de diversos blocos.

Um transmissor tem então a estrutura básica em blocos mostrada na figura 81. Os que desejarem saber como funciona em detalhes (função dos componentes e configurações) cada bloco devem partir para um curso específico de eletrônica que trata de osciladores, amplificadores, fontes e outros circuitos que formam estes blocos.

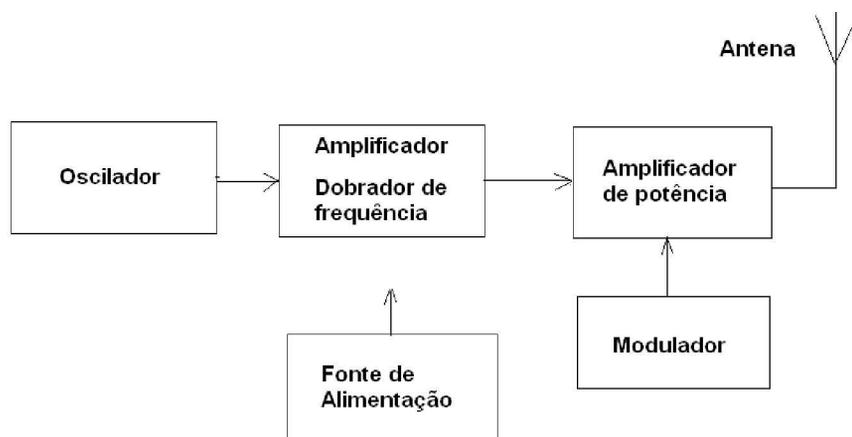


Figura 81 – Um radiotransmissor ou simplesmente transmissor, em blocos

Analisemos as funções dos diversos blocos:

a) Oscilador

A finalidade do oscilador é gerar a corrente de alta frequência que vai resultar nas ondas eletromagnéticas transmitidas, quando aplicada à antena.

Nos transmissores profissionais, a frequência deste circuito é controlada por um cristal de quartzo, que garante estabilidade e precisão, para que não ocorram desvios.

Existem também transmissores em que a frequência é sintetizada por circuitos de modo a assumir o valor escolhido no momento da transmissão. São usados para esta finalidade circuitos PLL.

Nos circuitos em que a frequência pode ser variada o que se utiliza é um VFO (Variable Frequency Oscillator) ou oscilador de frequência variável. Este circuito permite sintonizar o oscilador de modo que a frequência desejada seja produzida. Na figura 82 temos um exemplo de circuito oscilador que faz uso de um cristal de quartzo.

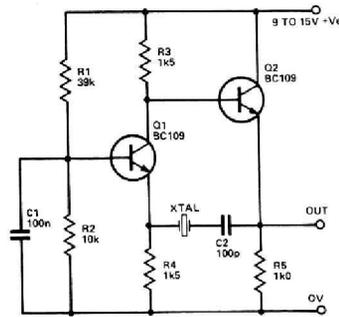


Figura 82 – Um oscilador controlado por cristal

No circuito acima, os transistores podem ser os BC548 e o cristal pode ter frequências entre 100 kHz e 10 MHz.

b) Amplificador x dobrador de frequência

O sinal gerado pelo oscilador é de pequena intensidade, não servindo para as aplicações práticas em que se deseja alta potência. Assim, é preciso amplificar este sinal, o que é feito pelo bloco amplificador de potência.

Em alguns casos, o sinal gerado pelo oscilador não é da frequência que se deseja transmitir, mas sim de um valor mais baixo. É comum que um transmissor de 40 MHz use um cristal de 20 MHz.

Assim, além de amplificar o sinal do oscilador, o amplificador pode também dobrar a frequência do sinal. Existem casos em que são usados dois dobradores, de modo que, gera-se um sinal de 20 MHz para que a transmissão seja feita em 80 MHz (dobrando duas vezes a frequência). Na figura 83 temos um circuito típico de um transmissor com etapas dobradoras e amplificador de RF de transmissor.

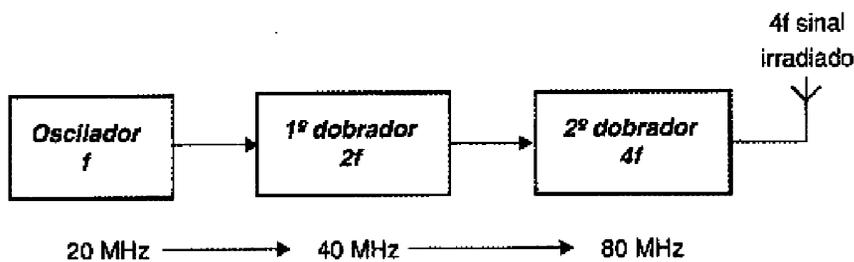


Figura 83 – Circuito com etapas dobradoras de frequência

Veja que as etapas de um transmissor podem ser elaboradas a partir de diversas tecnologias. Assim, nos transmissores antigos, as etapas são valvuladas, enquanto que nos circuitos modernos, estas etapas são transistorizadas e integradas.

c) Amplificador de potência

A finalidade do amplificador de potência ou etapa de saída de um radiotransmissor é fornecer o sinal que vai ser transmitido com

potência suficiente para a finalidade desejada, de modo que ele possa ser transferido para a antena através de um cabo.

Este circuito, nos grandes transmissores de alta potência, utiliza válvulas especiais de transmissão que em alguns casos precisam até de um sistema de refrigeração especial com dutos de água, conforme mostra a figura 84.



Figura 84 – Válvula de transmissão de alta potência

Nos transmissores mais modernos são usados transistores especiais, como os mostrados na figura 85.



Figura 85 – Transistor de RF para etapa de potência de transmissor

d) Modulador

A finalidade do circuito modulador é aplicar ao sinal que deve ser transmitido a informação. Essa informação pode ser som, vídeo ou dados. Os processos segundo o qual a modulação pode ser feita dependem da informação a ser transmitida, o qual será estudado na próxima lição.

Os moduladores podem ser simples amplificadores de áudio, quando a informação a ser transmitida é som, até circuitos complexos quando a informação consiste em dados.

Na figura 86 temos um circuito modulador de um transmissor de som simples (AM). Este circuito controla a intensidade do sinal transmitido conforme a informação de som que ele deve transportar.

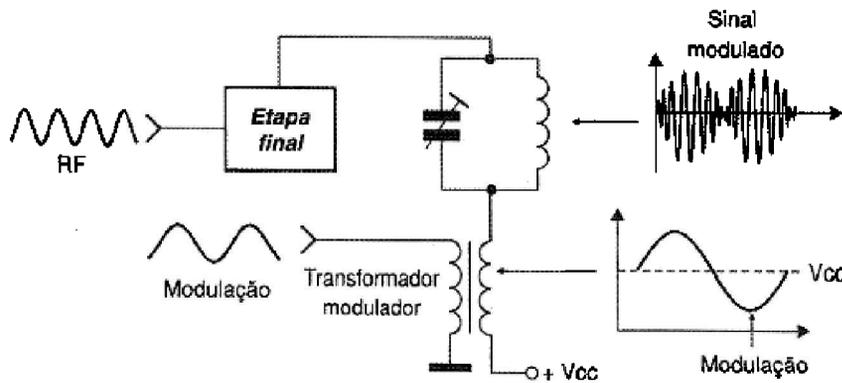


Figura 86 – Um circuito modulador

Operação de transmissores

A utilização do espectro é controlada por normas bastante rígidas e fiscalizada, consistindo em crime a operação de transmissores sob determinadas condições, sem a devida licença ou permissão. Assim, a operação de transmissores é proibida por lei. Pequenos transmissores, denominados de “âmbito domiciliar”, em que os sinais são muito fracos para causar problemas, são permitidos. A fiscalização das radiotransmissões é feita pela ANATEL.

e) Fonte de alimentação

Todas as etapas de um transmissor precisam ser alimentadas com corrente contínua. A intensidade da corrente e a tensão dependem da configuração de cada etapa.

Assim, temos um circuito de fonte de alimentação que, a partir da rede de energia ou de uma bateria fornecem as tensões que o circuito precisa para funcionar.

Nos casos em que o circuito opera com bateria, a fonte de alimentação pode ser muito simples, contando apenas com reguladores e proteções, já que o circuito pode ser projetado para operar diretamente com sua tensão. Este é o caso de equipamentos de comunicação móvel alimentados pela bateria de um carro.

3.4 – Os receptores

A finalidade de um receptor de rádio é receber os sinais de uma ou mais estações transmissoras e extrair a informação que esse sinal transporta. O exemplo mais simples é de um receptor de FM que recebe os sinais da estação e extrai a informação transportada, convertendo-a em som para um fone ou alto-falante, conforme mostra a figura 87.

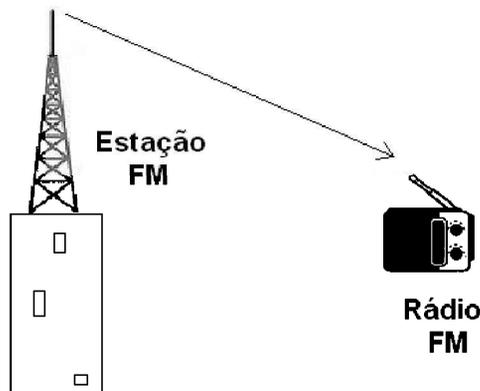


Figura 87 – Receptor de FM

Os receptores de rádio contem diversos blocos ou etapas cujas funções dependem do tipo de sinal que deve ser recebido. Existem diversas tecnologias utilizadas ao longo dos anos e que dependem também do tipo de sinal.

3.4.1 – Um pouco de história

Houve época em que toda a eletrônica se traduzia numa palavra: "rádio". De fato, naqueles tempos, o único aparelho que podia ser denominado eletrônico, e de uso comum, era o rádio. Presente em muitos lares ele permitia o "milagre" de se ouvir vozes de pessoas distantes. Com a evolução da eletrônica, novos equipamentos surgiram como os amplificadores para fonógrafos, gravadores, a TV e depois tudo que hoje conhecemos, uma infinidade de aplicativos a nossa disposição.

Assim, se quisermos ter uma visão da história da eletrônica, nada melhor do que usar o rádio como referência. A história do rádio está intimamente ligada a história da evolução de novas tecnologias.

Lendo os trabalhos de Maxwell, um cientista alemão chamado H. R. Hertz, em 1887, realizou as primeiras experiências práticas que provaram a existência de tais ondas.

A prova foi simples, consistindo na montagem do primeiro transmissor do primeiro receptor de rádio do mundo. Produzindo faíscas elétricas num canto do laboratório, estas faíscas geravam ondas eletromagnéticas que, provocavam o aparecimento de outras num dispositivo colocado do outro lado do laboratório.

Esta experiência também serviu para a elaboração da primeira antena que consistia em placas de metal.

Guglielmo Marconi, lendo os trabalhos publicados por Hertz, relatando suas experiências, percebeu que estas ondas poderiam, ser usadas para levar mensagens, trabalhando a partir de então no aperfeiçoamento da descoberta.

Marconi desenvolveu então dispositivos capazes de gerar e receber ondas eletromagnéticas.

A partir de 1895, com apenas 21 anos de idade, Marconi deu início a uma série de experiências que culminaram com a transmissão com êxito de mensagens a navios situados a 20 km de distância da costa.

Depois, Marconi criou um sistema capaz de transmitir direcionalmente os sinais eletromagnéticos e, finalmente em 1901, um sistema capaz de transmitir sinais entre a Inglaterra e a Terra Nova, sendo essa a primeira transmissão através do Atlântico.

A primeira transmissão de radiodifusão documentada ocorreu em 1906, tendo sido realizada por R. Fessenden nos Estados Unidos. Na véspera de natal de 1906, usando um alternador de radiofrequência, que operava em 50 kHz, construído pela General Electric, foi realizada a primeira transmissão de radiodifusão.

O microfone usado para modular este primeiro transmissor era

ligado diretamente à antena, controlando assim toda a potência aplicada. O resultado era que o microfone precisava ser refrigerado a água, tal o calor desenvolvido.

Landell de Moura

Da mesma forma que existe uma grande controvérsia em relação à invenção do avião, caso em que os americanos defendem os irmãos Wright e nós, Santos Dumont, podemos dizer que para o rádio existe também uma boa discussão sobre o assunto.

Os russos defendem Popov enquanto que “oficialmente”, Marconi é o inventor do rádio. No entanto, existem provas de que muitos pesquisadores transmitiram e receberam ondas de rádio antes de Marconi.

É o caso do padre brasileiro Landell de Moura que enviou sinais de rádio entre pontos diferentes da cidade de São Paulo, antes de Marconi e que também teria transmitido a voz e imagens na mesma época sem o devido reconhecimento.

3.5 - Os Circuitos Receptores

A partir do primeiro receptor de Hertz, que consistia simplesmente numa espira com duas esferas separadas por uma distância muito pequena, onde era possível observar as faíscas, foi criado um dispositivo denominado “coesor”. O coesor era um tubinho cheio de limalha de metal, onde a presença de sinais de rádio fazia saltar faíscas microscópicas, tornando-o condutor. A figura 88 mostra um coesor de Branley.

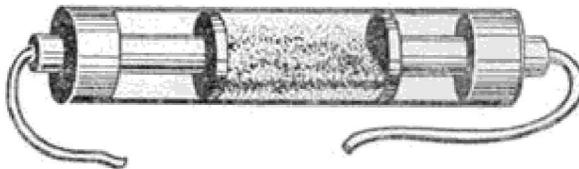


Figura 88 – o coesor de Branley, primeiro detector de sinais de rádio

Depois disso, diversos dispositivos foram criados para detectar as ondas de rádio, chegando às técnicas avançadas que hoje são utilizadas.

3.5.1 - Rádio de Galena

Um dos primeiros tipos de rádio que existiu, não utilizava nenhum dos modernos dispositivos eletrônicos que conhecemos como transistores ou circuitos integrados. Estes rádios tinham uma estrutura bastante simples, conforme mostra a figura 89.

Roberto Landel de Moura

Somente agora suas descobertas estão sendo revistas, com a atribuição do devido valor que possuem. Sugerimos aos leitores interessados que visitem o site de Luiz Netto sobre Landell de Moura em <http://www.landelldemoura.qsl.br/portugues.htm>, ou ainda que leiam o livro de Hamilton Almeida, Padre Landell de Moura: um herói sem glória. O brasileiro que inventou o rádio, a TV, o teletipo...” (Editora Record).



Roberto Landel de Moura
– Inventor do rádio

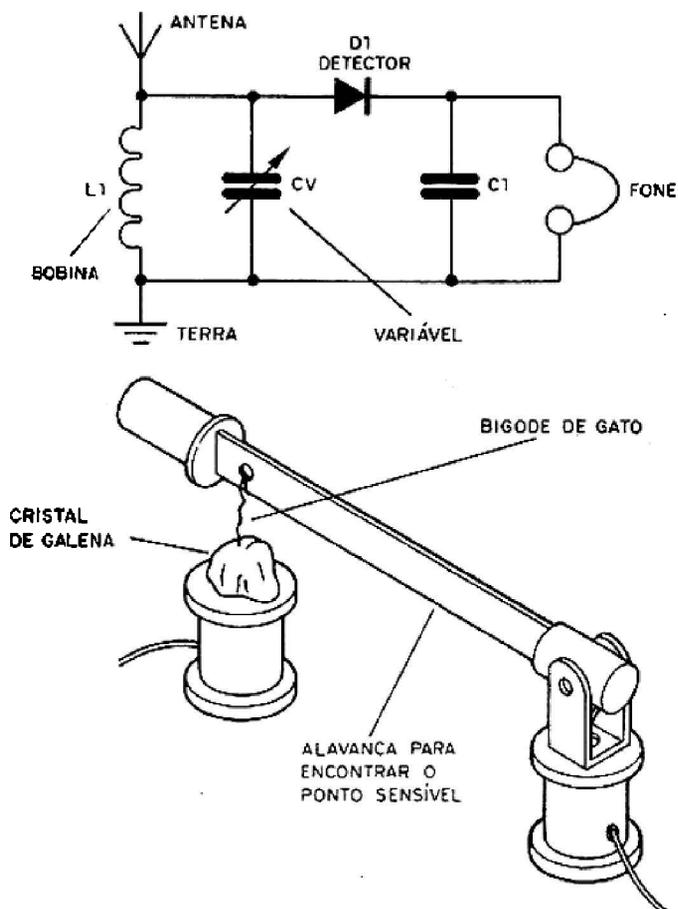


Figura 89 – Rádio de galena simples usando um diodo (D1) em lugar do cristal de galena. Na parte inferior, o cristal de galena.

Uma enorme antena (A), consistindo em fio estendido com comprimento de 10 a 50 metros de comprimento, captava o máximo de energia das ondas eletromagnéticas emitidas pela estação.

Estas ondas induziam na antena correntes de altas frequências que então eram levadas a um circuito seletor. O seletor mais simples que podemos descrever consiste numa bobina e num capacitor variável, ligados em paralelo, conforme mostra a figura 90.

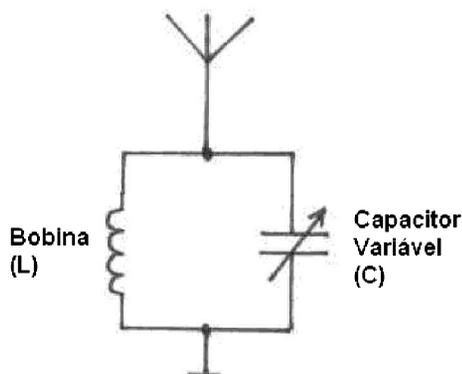


Figura 90 – Circuito de sintonia formado por uma bobina e um capacitor

Este circuito de sintonia até hoje é usado em muitos receptores de rádio. O número de voltas de fio da bobina e a quantidade de placas do capacitor determinam a faixa de frequências das estações que podem ser selecionadas.

Este circuito tem a propriedade de deixar passar para a terra as correntes de todas as frequências captadas, exceto as da frequência da estação que desejamos ouvir.

O sinal separado, da estação selecionada, é então levado a um detector de envoltória ou simplesmente detector. O detector nada mais é do que um retificador que conduz a corrente num único sentido de modo que, através de uma filtragem (filtro passa baixas), possamos separar a corrente de baixa frequência da modulação (som) da corrente de alta frequência que a transporta (portadora).

Atualmente temos componentes próprios que podem ser usados como detectores, como os diodos semicondutores. No entanto, antigamente, as coisas eram mais difíceis.

O detector tinha de ser fabricado com um cristal de galena, uma espécie de óxido de chumbo, que era montado numa base de material condutor. Um fio extremamente fino, chamado “bigode de gato”, era usado para encontrar os pontos sensíveis do cristal. Veja na figura 90.

O operador do rádio deveria, com muita calma e habilidade, encostar o bigode de gato em diversos pontos do cristal, até encontrar o “ponto sensível” que possibilitaria de detecção dos sinais de rádio. Sem dúvida, ouvir rádio exigia habilidade naqueles tempos!

A corrente que temos depois do diodo já é de baixa frequência, devendo ser filtrada antes de ser levada a um fone. O fone nada mais é do que um reproduzidor de som.

Veja que o princípio de funcionamento desse receptor é muito simples, mas apresenta muitos inconvenientes: toda a energia que vai para o fone deve ser captada pela antena. Assim, o volume do som depende da eficiência da antena na captação dos sinais.

Mesmo estações fortes ou próximas só podem ser ouvidas com o fone muito próximo do ouvido. O uso de um alto-falante é praticamente inviável com este tipo de receptor.

3.5.2 - A Válvula, o Transistor e a Amplificação Direta

Thomas Alva Edison havia descoberto um importante efeito em suas lâmpadas: quando uma placa adicional era colocada no interior da lâmpada, uma corrente podia ser detectada nesse elemento. Essa corrente, conforme se verificou posteriormente, era formada por elétrons que deixavam o filamento aquecido, conforme mostra a figura 91.

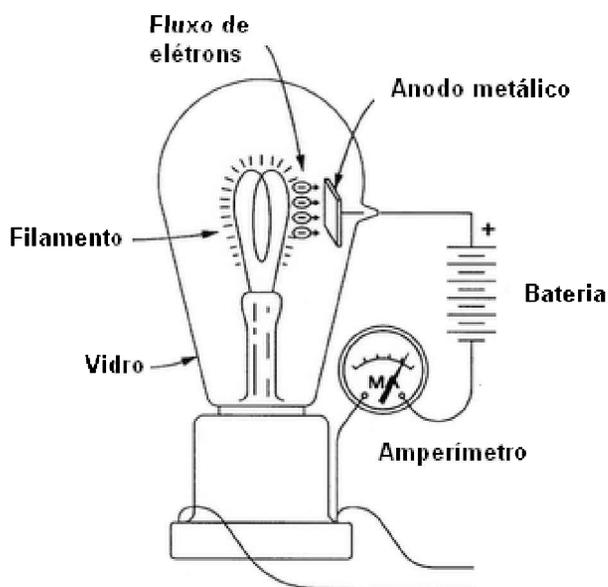


Figura 91 – A válvula diodo

J. A. Fleming, um inglês que visitava Edison justamente quando ele fez essa descoberta, observou que o dispositivo em questão funcionava como um diodo, deixando a corrente circular apenas num sentido.

Posteriormente, trabalhando nessa mesma válvula, o americano Lee de Forest, em 1906, colocou uma espécie de grade entre o filamento aquecido e a placa. Aplicando tensões nesta grade ele podia controlar a corrente que circulava entre o filamento e a placa, conforme mostra a figura 92.

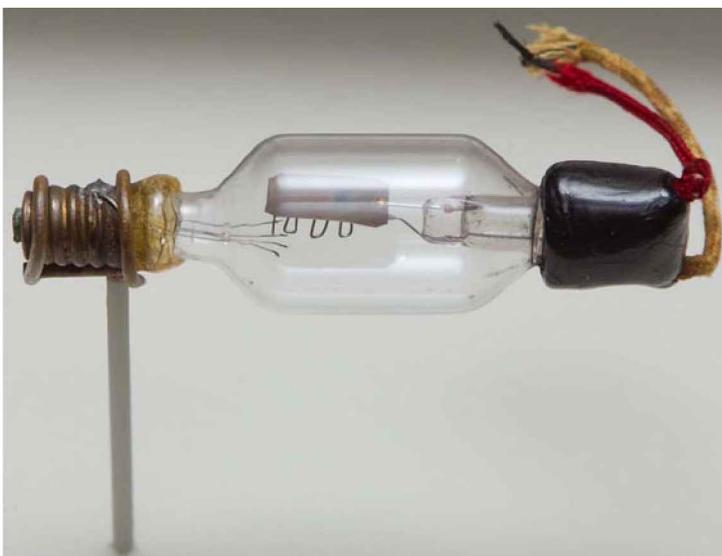


Figura 92 – Uma válvula triodo de 1906

Essa configuração, denominada válvula triodo, poderia ser usada num circuito conforme mostra a figura 93, para amplificar um sinal

de rádio detectado e dessa forma obter muito maior volume num fone de ouvido. Um rádio de maior sensibilidade poderia ser obtido com essa configuração.

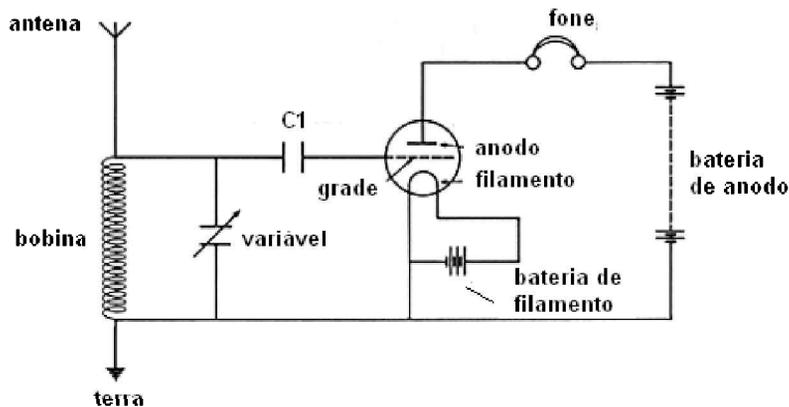


Figura 93 – Rádio com válvula triodo (audion)

Esse tipo de rádio, em que o sinal detectado (retirado do diodo) era aplicado diretamente a uma válvula amplificadora, recebeu o nome de receptor de “amplificação direta”.

O transistor, que foi inventado somente em 1948, na verdade funciona como um amplificador de sinais semelhante a válvula triodo, com a vantagem de que não usa um filamento.

3.5.3 - Receptores Reflex

Verifica-se que uma válvula triodo tanto pode amplificar os sinais detectados, como os próprios sinais de alta frequência captados pela antena. Num receptor reflex, utiliza-se a mesma válvula para amplificar duas vezes o sinal: na primeira vez o sinal amplificado é o de alta frequência, vindo do circuito de sintonia. Logo depois da amplificação, este sinal é detectado, voltando então a componente de baixa frequência à mesma válvula, onde recebe nova amplificação. Daí ele pode então ser aplicado ao fone de ouvido. Na figura 94 temos um circuito de um receptor antigo deste tipo.

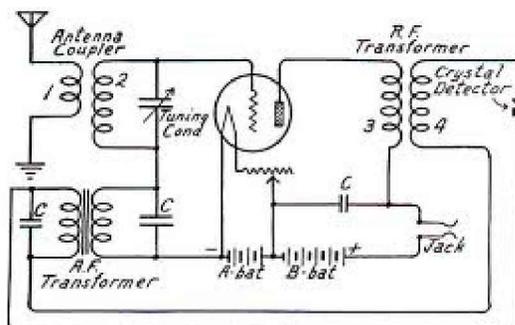


Figura 94 – Receptor reflex valvulado

Existe então um controle que “dosa” a regeneração de modo que ela seja máxima, mas não o suficiente para ocorrer a oscilação. Isto o operador pode perceber facilmente, pois no momento em que o ponto crítico é ultrapassado, o fone “apita”. Na figura 97 temos um circuito de um receptor transistorizado regenerativo para ondas médias.

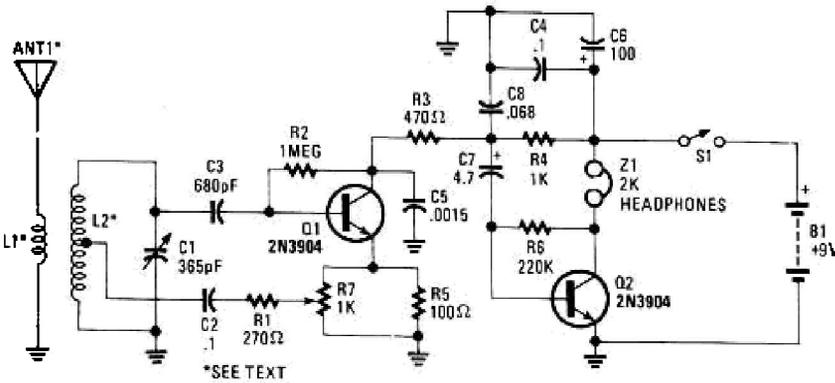


Figura 97 – R7 controla a regeneração

A bobina L2 consiste em 20 + 80 espiras de fio 28 num bastão de ferrite e L1 20 espiras sobre L2. Os transistores podem ser os BC548

3.5.5 - Diversas Etapas

É claro que, em lugar de se usar apenas uma válvula ou transistor para amplificar o sinal, é possível usar diversos. O sinal passa de um para o outro sendo amplificado, até atingir a intensidade desejada.

Com um número suficiente de válvulas ou transistores pode-se chegar a intensidade suficiente para excitar um alto-falante. Na figura 98 temos um circuito de duas etapas. Evidentemente são circuitos que têm apenas finalidade didática.

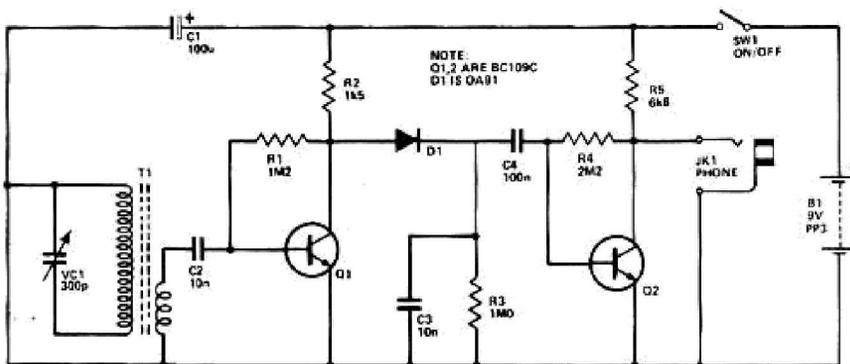


Figura 98 – Rádio de mais de uma etapa

Tente montar o circuito transistorizado. A bobina tem 80 voltas

de fio esmaltado 28 com tomada na 30ª espira e o capacitor variável é do tipo usado em rádios AM. O diodo é 1N34 e os transistores BC548. O fone é piezoelétrico de alta impedância, e também de 4 ou 8 ohms com 5 cm, e B1 é formada por 4 pilhas pequenas. A antena pode ser um pedaço de fio estendido de 3 a 5 metros de comprimento, já que temos muito maior sensibilidade do que nos receptores dados anteriormente.

Mas, mesmo com diversas etapas, os rádios ainda não podem ser considerados ideais, pois apresentam problemas como:

- Instabilidade: muitas etapas tendem a gerar oscilações por sinais que voltam às etapas de entrada. Apitos e ruídos podem ocorrer.
- Falta de seletividade: o rádio não consegue separar estações que transmitem em frequências próximas.

Para solucionar estes problemas foram criadas outras técnicas que apareceram com o tempo, algumas das quais muito engenhosas.

3.5.6 - Neutrodinos, Sincrodinos e Outros

Nesta fase da história do rádio, passou-se a ter uma preocupação maior com a estabilidade dos circuitos. Assim, um primeiro passo foi o que levou aos receptores denominados neutrodinos. Um processo de neutralização evitava que ocorressem oscilações por realimentação entre as diversas etapas do circuito.

No receptor sincrodino, o circuito gerava um sinal sincronizado com o da estação, dando assim maior estabilidade ao circuito. No entanto, estes rádios logo foram superados por uma categoria de circuito que existe até hoje: o superheteródino.

3.5.7 - O Superheteródino

Como conseguir aliar alta sensibilidade a uma ótima seletividade e tudo isso num circuito de grande estabilidade? A resposta para este problema está no circuito superheteródino.

Rádios de todos os tipos e até mesmo receptores de TV e telecomunicações modernos se baseiam nesta configuração que se revela satisfatória para a maioria dos casos em que a recepção dos sinais deva ser feita de forma estável e sensível.

Na figura 99 temos a estrutura em blocos de um receptor superheteródino, a partir da qual procuraremos explicar o funcionamento da maneira mais simples possível.

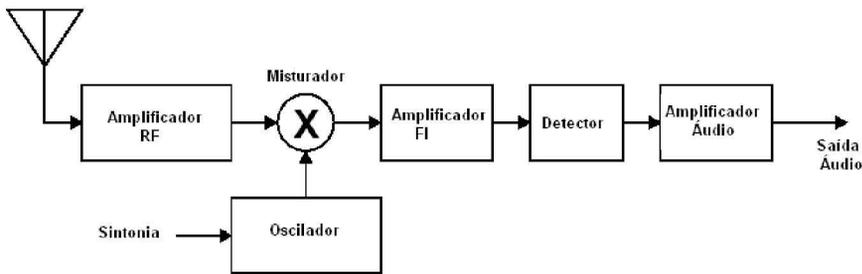


Figura 99 – Receptor superheteródino em blocos

Os sinais são captados pela antena e levados a um circuito de sintonia, onde o sinal da estação que se deseja ouvir é separado. O primeiro passo desse sinal é ser processado por uma etapa chamada misturadora.

A função da etapa misturadora ou misturador é simplesmente combinar o sinal da estação selecionada com um sinal que é gerado no próprio receptor. Este sinal deve ter uma frequência, que no caso do AM, deve ser 455 kHz maior que o sinal captado, e no caso do FM é 10,7 MHz maior.

A mistura dos dois sinais provoca um fenômeno denominado batimento ou heterodinagem: obtemos na saída da etapa dois sinais que correspondem à soma e diferença de suas frequências. Como a diferença é fixa, 455 kHz ou 10,7 MHz, as etapas seguintes podem perfeitamente trabalhar com frequências fixas, não se necessitando mais de circuitos de sintonia variável.

Nos receptores de AM temos então etapas amplificadoras seguintes operando em 455 kHz e nos de FM, operando em 10,7 MHz. Estas etapas são denominadas “de FI” ou “Frequência Intermediária”.

O sinal de FI que leva então a informação do sinal original captado, tendo apenas uma frequência, pode ser amplificado por uma ou duas etapas adicionais até ficar suficientemente intenso para poder ser detectado. A detecção é feita então da maneira convencional: nos rádios AM usamos um diodo que detecta a envolvente, ou seja, separa a modulação do sinal original de sua portadora, conforme mostra a figura 100.



Figura 100 – Detecção do sinal modulado em amplitude

Nos rádios de FM utiliza-se um circuito denominado discriminador, pois a modulação é feita de modo diferente. De qualquer forma, a partir dessa etapa temos no circuito apenas sinais de baixas frequências ou áudio que correspondem aos sons originais emitidos.

Podemos então amplificá-los ainda mais, mas agora usando um amplificador comum de áudio. O volume ou potência do som que obteremos na saída vai depender das características deste amplificador.

Nos rádios de FM estéreo, existe ainda um circuito adicional que é o decodificador (multiplex) que faz a separação dos sons dos dois canais que são enviados a dois amplificadores diferentes.

Assim, para rádios portáteis ou do tipo walkman, temos pequenos amplificadores com potências da ordem de milésimos de watt (mW), para os rádios maiores e de carro, as potências aumentam para vários watts e finalmente nos grandes sons, essa potência podem superar os 100 W. Na figura 101 temos um circuito típico de receptor superheteródino comercial.

3.6 – Sensibilidade e Seletividade

Ao analisarmos um receptor de rádio devemos levar em conta suas características. As duas principais são a sensibilidade e a seletividade.

Rádios modernos

Os receptores de rádio modernos para a faixa de radiodifusão (AM e FM) são fabricados em grande quantidade o que reduz seu preço. Assim, no mercado encontramos desde os tipos muito baratos, de pouca sensibilidade e seletividade, praticamente descartáveis até os tipos mais elaborados que fazem parte dos equipamentos de som e para o carro.

A sensibilidade de um receptor indica sua capacidade de receber sinais fracos. A sensibilidade de um receptor depende da topologia do circuito e também do tipo de processamento que o sinal recebe. Os receptores superheteródinos, por exemplo, são mais sensíveis que os receptores de amplificação direta ou de outro tipo.

Especificação a sensibilidade de um receptor em termos de microvolts (μV) ou ainda em decibéis x metros (dBm). O valor da sensibilidade indica qual é a intensidade mínima do sinal que faz com que o circuito o processe e tenhamos um sinal de saída. Para os receptores superheteródinos é a intensidade mínima que faz com que o controle automático de ganho (CAG) opere.

Receptores comuns do tipo superheteródino possuem sensibilidades entre $0,5 \mu\text{V}$ e $2,0 \mu\text{V}$.

A seletividade de um receptor é a sua capacidade de separar estações próximas. Receptores de pequenas sensibilidades “misturam” as estações.

A seletividade de um receptor depende das características dos circuitos sintonizados de entrada e das diversas etapas, ou seja do fator Q dos circuitos de cada etapa.

3.7 – Transceptores

Os transceptores são equipamentos de radiocomunicações que constam de um transmissor e um receptor conjugados.

Normalmente os circuitos compartilham da mesma antena e os receptores podem ou não operar na mesma frequência do transmissor.

Para que a operação do transmissor não ocorra ao mesmo tempo que se está recebendo um sinal, existe uma chave de comutação que deve ser utilizada quando se passa da função transmitir para receber e vice-versa.

Esta é a chave de câmbio, muito comum nos sistemas de radiocomunicações. Quando um equipamento só pode transmitir ou só pode receber num determinado instante, dizemos que se trata de uma comunicação half duplex, conforme mostra a figura 102.

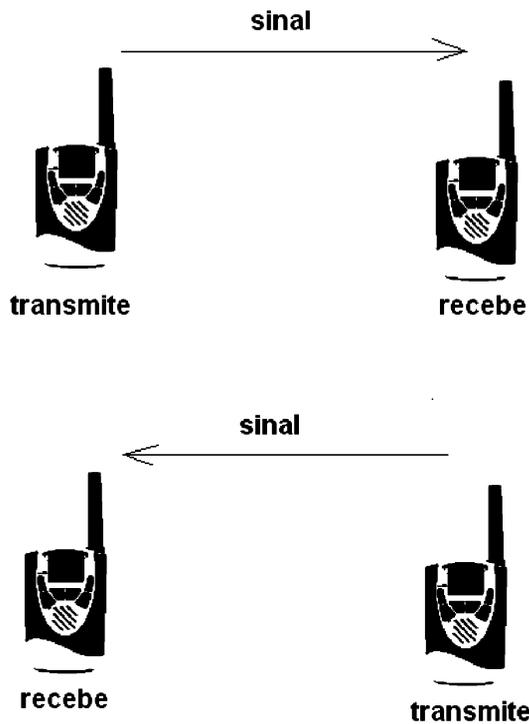


Figura 102 – A comunicação half duplex

Quando cada estação pode transmitir ou receber ao mesmo tempo, como ocorre num celular em que falamos e ouvimos ao mesmo tempo, temos uma comunicação full duplex, conforme mostra a figura 103.

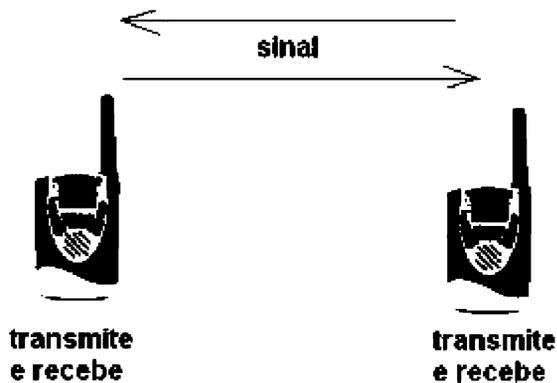


Figura 103 – A comunicação full duplex

Num transceptor full duplex a frequência de recepção é diferente da frequência usada na transmissão.

Exemplos de half duplex e full duplex são os sistemas adotados pela Nextel (rádio) que é half duplex e pelas empresas de celular que são full duplex.

Também podemos considerar como full duplex as comunicações das redes sem fio de computadores que transmitem e recebem dados ao mesmo tempo.

3.8 – Comunicação Via Satélite

Com a finalidade de superar as limitações que os sinais visuais de rádio apresentam em termos de alcance, pois não podem acompanhar a curvatura da terra, em 1945, Artur Clarke propôs a colocação em órbita de satélites geoestacionários que repetiriam os sinais para locais distantes, possibilitando assim a cobertura total da terra para as radiocomunicações.

Na figura 104, a capa da revista inglesa Wireless World em que saiu o artigo com a proposta de Clarke.

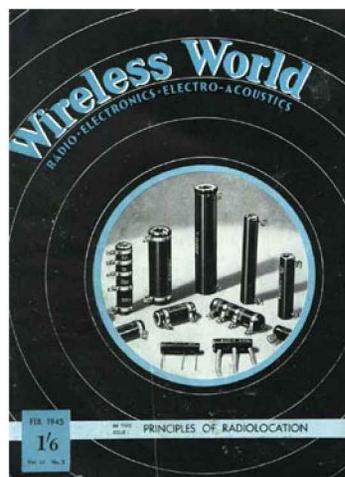


Figura 104 – Capa da revista com a proposta de Artur Clarke

Clarke propôs que bastariam apenas 3 satélites em órbitas geoestacionárias para que toda a terra tivesse uma cobertura total, conforme mostra a figura 105.

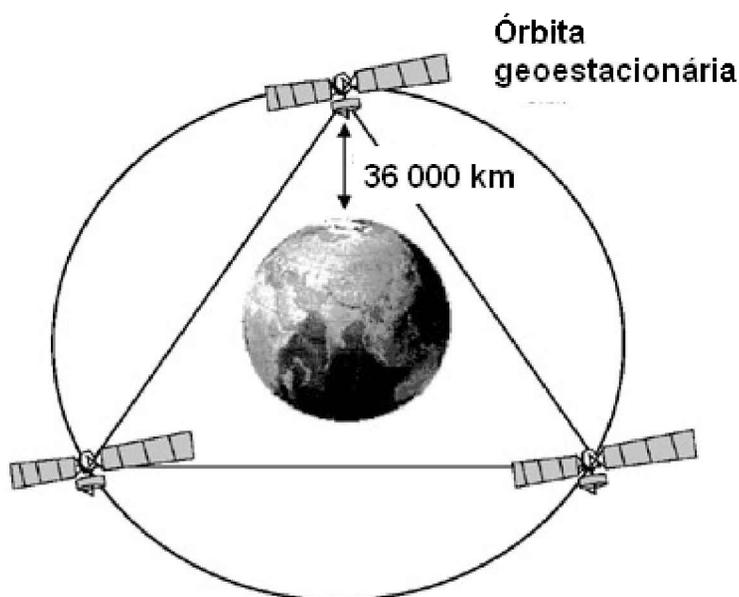


Figura 105 – Satélites em órbitas geoestacionárias

Na órbita geoestacionária, que ocorre a uma distância de 36 000 km da terra, o período de translação do satélite é de 24 horas, o que coincide com a rotação de nosso planeta. Desta forma, ele acompanha a rotação da terra, permanecendo sempre sobre o mesmo ponto.

Para quem está em terra, a posição dele no espaço se mantém e uma antena que se comunique com ele pode ser fixa. Este sistema é utilizado com os satélites de TV. A antena fica sempre apontando para o mesmo ponto do espaço.

No sistema de comunicações comum temos uma estação terrestre que envia o sinal para o satélite. O sinal é captado e enviado de volta à terra onde é captado por uma estação distante, conforme mostra a figura 106.

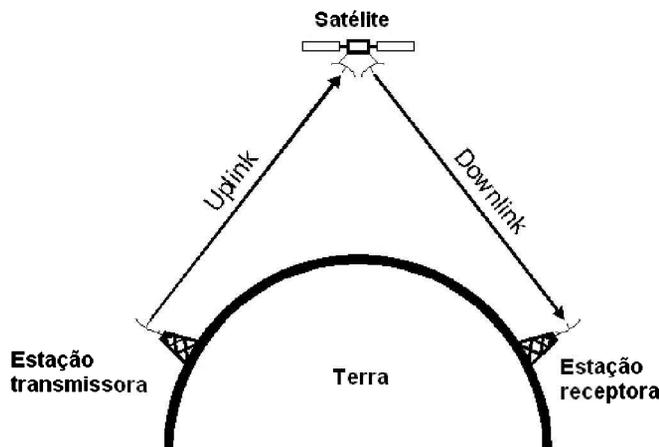


Figura 106 – O sistema básico de comunicações via satélite

Os primeiros sistemas de comunicação via satélite eram passivos. Neles, o satélite funcionava como um espelho, simplesmente refletiam os sinais captados para a terra. Não havia nenhum equipamento eletrônico no satélite.

Nos sistemas modernos, o satélite recebe o sinal numa frequência, e depois de convertê-lo para outra, o envia de forma amplificada para a terra. Isso é feito por um circuito denominado transponder.

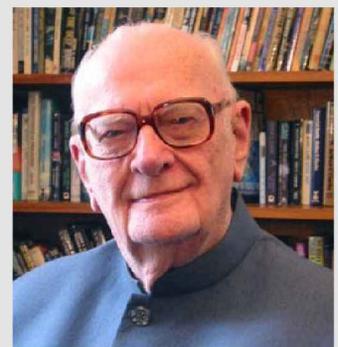
Nos sistemas de comunicações via satélite o setor segundo o sinal vai da estação terrestre para o satélite recebe o nome de link de subida ou uplink, enquanto que o setor em que o sinal vai do satélite para o receptor em terra recebe o nome de downlink.

Transponder ou repetidor

Não devemos confundir os dois tipos de circuitos. O repetidor recebe o sinal numa frequência e, depois de amplificá-lo, o envia a estação seguinte na mesma frequência. O transponder recebe o sinal numa frequência e o envia em outra.

Arthur Clarke

Além de engenheiro eletrônico Clarke ficou célebre por seus livros de ficção científica. Talvez seu trabalho mais famoso tenha sido “2001 – Uma Odisséia no Espaço”, ce- lebrizado pelo filme de Stanley Kubrick.



Arthur Clarke – 1917 - 2008

Questionário

- 1) As fibras ópticas consistem em que tipo de meio de transmissão?
 - a) Meio físico
 - b) Rádio
 - c) Ondas de baixa frequência
 - d) Meio líquido

- 2) A finalidade de um cristal de quartzo num transmissor é:
 - a) Gerar maior intensidade de sinais
 - b) Controlar a modulação
 - c) Controlar a frequência
 - d) Controlar a potência

- 3) Estações que tanto podem receber como transmitir sinais são:
 - a) Estações half duplex
 - b) Estações transceptoras
 - c) Sinalizadores
 - d) Rádio receptoras

- 4) Uma etapa de um transmissor que recebe um sinal de 20 MHz e altera sua frequência para 40 MHz, aumentando sua intensidade é uma etapa:
 - a) Amplificadora de potência
 - b) Dobradora de frequência
 - c) Moduladora
 - d) De alta potência de saída

- 5) Os celulares são transceptores:
 - a) Half duplex
 - b) Full duplex
 - c) Repetidores
 - d) Via satélite

- 6) Para que um satélite acompanhe a rotação da terra, sua órbita deve:
 - a) Ser perpendicular ao eixo da terra
 - b) Ficar entre a terra e a lua
 - c) Estar a 100 km de altura
 - d) Ser geoestacionária



» Modulação Analógica - 1

4. O que você vai aprender

A tecnologia das telecomunicações se baseia em grande parte na possibilidade que temos de usar sinais de altas frequências e ondas de rádio para transportar informações. Isto pode ser feito de diversas maneiras, por processos denominados “modulação”. Existem diversas tecnologias para se obter a modulação de um sinal, tanto analógicas como digitais. Este capítulo será dedicada ao processos de modulação analógica em amplitude. Ele será formado pelos seguintes itens:

- 4.1 – Modulação
- 4.2 – CW ou Onda Contínua
- 4.3 - AM – modulação em amplitude
- 4.4 – SSB
- 4.5 - AMDSB – O receptor
- 4.6 – Receptores de Telecom – Dupla Conversão
- 4.7 – Receptores para SSB e CW

4.1- Modulação

Para transportar informações, um sinal de alta frequência que produza uma onda de rádio, ou ainda que seja transmitido por meios físicos como cabos ou mesmo fibra ópticas, ele precisa passar por um processo especial. Neste processo, suas características são alteradas de modo que ele passe a conter as informações que desejamos transmitir.

O processo segundo o qual um sinal de alta frequência passa é denominado modulação. Na figura 104 temos um sinal modulador, o sinal que ele modula (portadora) e dois tipos de alteração que eles

provocam: amplitude e frequência, que serão estudadas em pormenores nos próximos itens.

Definição de modulação

Modular um sinal de alta frequência ou portadora é alterar uma ou mais de suas características de modo que ele possa transportar informação.

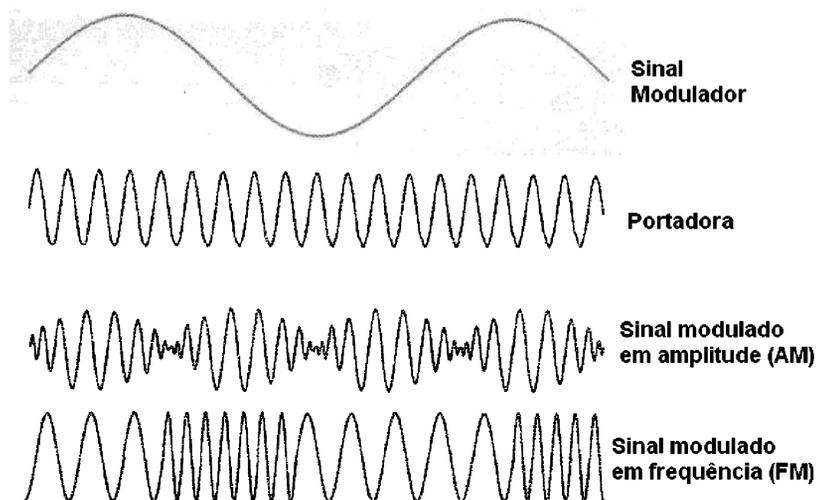


Figura 104 – Dois tipos comuns de modulação

O sinal que transporta a informação, que pode ser um sinal de RF que será transmitido por um cabo, um sinal que resulte numa onda de rádio que se propaga pelo espaço, um feixe de luz ou infravermelho que se propagada por uma fibra óptica ou mesmo pelo espaço, é denominado “onda portadora” ou simplesmente “portadora”.

A informação, que pode ser um som, imagem ou dados digitais ou analógicos, é denominada “modulação”.

Há basicamente dois tipos de modulação que se diferenciam pelo modo como os sinais são aplicados a uma portadora, ambas em uso atualmente em diversos sistema de telecomunicações.

Neste capítulo estudaremos inicialmente as modulações analógicas em que alteramos características do sinal fazendo-as variar linearmente dentro de determinados limites.

Veja que diferenciamos a modulação analógica da digital pelo fato de que na analógica variamos de forma continua as características do sinal dentro de certos limites, enquanto que na digital variamos aos saltos, ou seja, através de valores discretos ou dígitos as características da portadora.

É importante notar que a modulação não precisa ocorrer necessariamente entre sinais de tipos diferentes (ex: áudio e RF). Podemos usar um sinal de áudio de baixa frequência para modular um sinal de áudio de alta frequência, por exemplo, num controle remoto ultrassônico.

4.2 – CW ou Onda Contínua

A forma mais simples de se agregar informação a um sinal de alta frequência consiste em fazer sua interrupção de forma codificada, mas manualmente.

Podemos dizer que se trata de uma forma muito simples de modulação, em que pela interrupção do sinal em tempos diferentes podemos transmitir uns e zeros e com isso uma mensagem.

O sistema foi pela primeira explorado nos antigos telégrafos, onde o estabelecimento e a interrupção da corrente num circuito permitia a transmissão de uma mensagem.

Assim, um toque curto, com um sinal ou corrente de curta duração significava um ponto (.) e um toque mais longo, com uma corrente de maior duração significava um traço (-). Combinando pontos e traços era possível estabelecer uma codificação para as letras do alfabeto, números e símbolos. Podemos fazer a analogia dos pontos e traços com os zeros e uns do código binário e assim dizer que esta modalidade, na verdade também era uma forma rudimentar de modulação digital.

Isso resultou no conhecido Código Morse, nome em homenagem ao inventor do telégrafo, e que até é hoje é usado nas transmissões telegráficas por fio e sem fio. Na transmissão sem fio, o que se faz é estabelecer e interromper uma portadora de alta frequência de modo que os sinais com curta duração representem um ponto e os de maior duração um traço.

4.2.1 - O Telégrafo e o Código Morse

Nessa modalidade de transmissão, um manipulador interrompia e estabelecia a transmissão periodicamente, gerando assim pulsos de curta e longa duração, conforme mostra a figura 105.

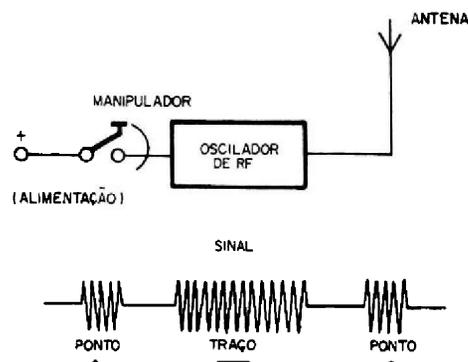
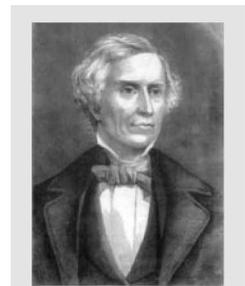


Figura 105- Um transmissor de onda contínua (CW)

Na figura 106 mostramos um manipulador telegráfico.

Samuel Morse

Pintor e inventor americano que inventou o telégrafo através de fios. Criador do código que recebeu seu nome. usando a Ponte de Wheatstone, também inventou um meio de transmitir sem fio sinais telegráficos através da água, superando assim o obstáculo que os rios consistiam para a passagem dos fios.



Samuel Morse (1791 – 1872)

Telegrafia Hoje e o SOS

Se bem que o sistema de transmissão telegráfica via CW esteja superado, ele ainda tem importância em casos de emergência. Quando é possível ter apenas um meio de se transmitir sinais, mas sem ser possível a modulação, ainda assim é possível fazer com que ele transporte mensagens. Mas, foi com a invenção da telegrafia sem fio (TSF) Marconi diante de convenções inadequadas da época redigiu uma nota em que, dizia que o sinal a ser usado pelos navios em caso de perigo seria CQD. Este sinal só poderia ser emitido por ordem do comandante. Em Julho de 1908 o sinal CQD foi substituído por SOS segundo decisão da Convenção Radio Telegráfica Internacional dado que empregava uma sequência pouco usada. A primeira vez que o sinal SOS foi usado foi no naufrágio do SS Arapahoe no Atlântico Norte, em 1909, com o sinal sendo captado numa estação dos Estados Unidos.



Figura 106 - Manipulador teleográfico antigo.

Os primeiros tipos de transmissores sem fio e mesmo as transmissões telegráficas através de fio se baseavam na emissão de pulsos codificados, exatamente como fazem os modems atuais, mas operados manualmente. O Código Morse completo é dado a seguir;

A	.-	M	--	Y	-.--	6	-....
B	---.	N	-.	Z	---.	7	---..
C	-.-.	O	---	Ä	.-.-	8	----.
D	..	P	---.	Ö	---	9	----.
E	.	Q	-.-.	Ü	..--	.	.-.-.
F	..-.	R	.-.	Ch	----	,	---..
G	--.	S	...	0	-----	?	..-..
H	...	T	-	1	.-----	!	..---
I	..	U	..-	2	..----	:	---..
J	.-.-	V	...-	3	...---	"	.-.-.
K	-.-	W	.-.	4-	'	..----
L	.-..	X	-.-	5	=	-.---

A modalidade de transmissão que usa este tipo de modulação é denominada CW ou onda contínua (continuous wave).

Alguns exames para profissionais de telecomunicações exigem o conhecimento do Código Morse.

Uma característica importante das transmissões de rádio em onda contínua (CW) é que a concentração da energia numa faixa muito estreita do espectro, pois a portadora não sofre variações de frequência, possibilita a obtenção de maior alcance e maior inteligibilidade.

4.2.2 – Baud e BPS

Antigamente, o principal meio de se enviar dados através de fios elétricos era o telégrafo. Um operador manipulava uma chave produzindo pulsos elétricos que atuavam sobre uma campainha ou receptor do outro lado da linha produzindo estalidos ou toques. Um toque curto era interpretado como um ponto e um toque longo como um traço. Traços e pontos (que poderiam ser associados aos zeros e uns

da comunicação digital) formavam então as letras, números, e outros símbolos.

A recepção da mensagem dependia principalmente do bom ouvido de quem deveria anotar os cliques curtos e longos correspondentes aos pontos e traços.

O operador, por outro lado deveria ter a capacidade de enviar estes impulsos com grande velocidade. Um francês denominado J. M. Emile Baudot foi o primeiro que criou uma maneira de se medir a velocidade das transmissões telegráficas dando origem a unidade denominada Baud. Ele também inventou o teletipo. Quando o telegrafista toca no manipulador ele produz uma transição de sinal na linha em que a tensão passa de 0 a 12 Volts, por exemplo, tantas vezes quantas ele atue sobre o manipulador. Cada vez que ele aciona o manipulador dizemos que um baud é transmitido. Indo além, e passando para a era digital em que não transmitimos pontos e traços mas zeros e uns para formar os bytes, podemos associar uma tensão de -12 V ao bit 0 e uma tensão de +12 V a um bit 1. Assim, se quisermos transmitir uma sequência de dados na forma digital como 11001101 a tensão no fio vai sofrer o mesmo número de transições quantos sejam os bits transmitidos.

Dizemos então que a quantidade de bits por segundo ou bps que transmitimos neste caso é igual a velocidade de transmissão em bauds.

QUANDO BAUD E BPS SÃO DIFERENTES

Tudo seria muito simples e haveria uma equivalência entre o baud e o bps se as linhas telefônicas não tivessem uma séria limitação de velocidade. A frequência máxima que uma linha telefônica pode transmitir é da ordem de 3000 Hz, o que significa que fica muito difícil tentarmos “empurrar”, da forma indicada por uma linha, bits numa velocidade maior que isso.

Na prática, esta velocidade está limitada a 2400 bauds. Para poder comprimir mais dados pela linha a solução usada é muito engenhosa. Por que não usar a transição de -12 a +12 V para transmitir não apenas os bits 0 ou 1 mas, para transmitir mais bits. Podemos, por exemplo, associar ao valor -12 V o grupo de bits 00, ao valor -6 V o grupo 01, ao valor +6 V o grupo 10 e ao valor +12 V o grupo 11, conforme mostra a tabela abaixo.

Tensão Dado

- 12 V	00
- 6 V	01
+ 6 V	10
+ 12 V	11

Veja então que, com 2 bauds na verdade podemos transmitir 4 bits diferentes, dobrando assim a velocidade. Assim, uma velocidade de 2 400 bauds pode perfeitamente, usando esta técnica transmitir 4



Jean Maurice Émile Baudot
– 1845 - 1903

Bauds e BPS

Lembre-se: bauds e bps (bits por Segundo) são diferentes.

800 bps. Na prática é justamente isso que os modems fazem. Mantendo a velocidade em bauds eles utilizam diversos tipos de modulação do sinal de modo a poder “enfiar” mais bits por transição. Eles podem utilizar mais de 4 amplitudes do sinal para multiplicar o número de bits, utilizar alterações de fase do sinal, etc. Assim, um modem de 2 400 bauds que aproveite 6 estados da transição do sinal, ou seja, pode enviar 6 bits por baud pode ter uma velocidade de 14 400 bps.

Uma taxa de modem de 28 800 bps pode ser obtida com um modem de 3 200 bauds que utilize 9 bits por baud. Com exceção dos modems de 56k os modems comuns operam em velocidades de 2 400, 3 000 ou 3 200 bauds quando conectados às linhas telefônicas. Os modems de 56 k podem usar velocidades maiores em bauds quando a linha admite mas em geral eles “ajustam” sua velocidade para valores menores dependendo das condições locais da linha de modo a conseguir uma operação segura, sem perdas de dados. Existem ainda os modems para a porta serial que operam em velocidades maiores como 19,2, 28,8, 33,6 , 57,6 e 115,2 k bps e em alguns casos valores de 230,5 k bps são possíveis.

4.3 – AM - Modulação em Amplitude

A modulação em amplitude foi a primeira técnica utilizada na transmissão de sons através das ondas de rádio. Até hoje, as emisoras de ondas médias e curtas, muitos serviços de comunicações mais simples como, por exemplo, de certas faixas de radioamadores utilizam esta tecnologia.

A própria TV analógica usa este tipo de modulação para transmitir imagens.

Poderemos entender melhor como é feita a modulação em amplitude ou AM (Amplitude Modulada) se tomarmos como ponto de partida o princípio de operação das estações de ondas médias.

Na nossa definição de modulação vimos que alteramos alguma características de um sinal de alta frequência, denominado “portadora”, se desejarmos que ele transporte algum tipo de informação.

Como os sons consistem em sinais de baixas frequências, podemos usar estes sinais para alterar a amplitude ou intensidade de um sinal de alta frequência que, aplicado a uma antena, resultará numa onda eletromagnética. Na figura 107 vemos de que modo o sinal transmitido “combina” as características da portadora de alta frequência e do sinal de áudio que corresponde à informação.

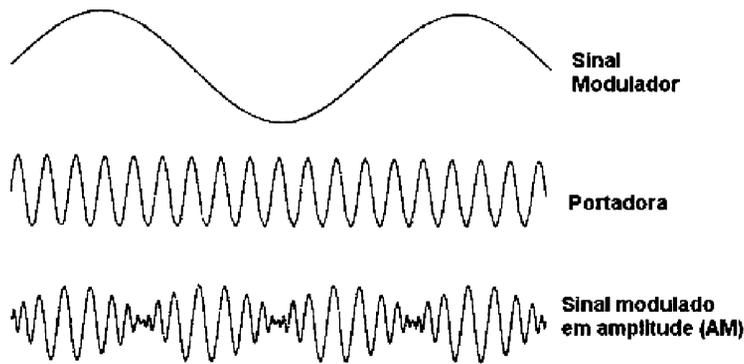


Figura 107 – Na modulação em amplitude, o sinal de alta frequência varia conforme o sinal de baixa frequência

Para tornar as coisas mais claras, vamos imaginar o princípio de funcionamento de uma estação de AM de radiodifusão (*)

Os sinais captados por um microfone que correspondem à voz do locutor, por exemplo, são amplificados dentro de sua faixa de frequências de 20 Hz a 20 kHz aproximadamente que corresponde à faixa de sons audíveis. Se esses sinais fosse aplicados a uma antena, além de não termos alcance com as ondas produzidas elas se espalhariam pela faixa de espectro correspondente, impossibilitando sua sintonia.

Não seria possível também separar estes sinais dos sinais de outras estações, pois eles ocupariam a mesma faixa de frequências.

Para que os sinais das diversas estações possam ser separados eles devem ser transportados por sinais que tenham frequências diferentes e ocupem uma faixa estreita do espectro.

Através de uma convenção mundial feita pela ITU (*), escolheu-se a faixa de 530 kHz a 1700 kHz para a transmissão em ondas médias. No entanto, nos diversos países, pequenas alterações limitam estas faixas a outros valores.

Cada estação ocupa uma faixa de 10 kHz, o que limita o número de estações em operação simultânea na mesma localidade a 117 estações. Nosso país existem mais estações porque, como o alcance é limitado, podemos colocar duas estações na mesma frequência em localidades afastadas umas das outras. Na figura 108 temos o espectro das estações de AM na faixa de ondas médias (OM).

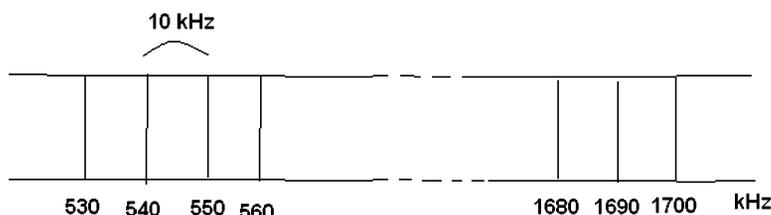


Figura 108 – O espectro das estações AM de ondas médias (OM)

(*) O AM analógico que opera em muitos locais ainda, está com os dias contados com a chegada a modulação digital, ou AM digital, que assim como o FM digital, deverá ser implantado, como foi com o caso da TV analógica que passou a ser digital.

(*) ITU significa International Telecommunications Union ou União Internacional de Telecomunicações. Trata-se de uma organização internacional que regulamenta as telecomunicações no mundo inteiro.

TV Analógica

A TV analógica utiliza modulação em amplitude para transmitir os sinais de vídeo.

Radioamadores

Os radioamadores formam uma categoria de pessoas que usam equipamentos de radiocomunicações para trocar mensagens e informações utilizando certas faixas do espectro de rádio. Para operar uma estação de radioamador e preciso obter uma licença especial. Essa licença pode ser obtida depois de curso e exame na entidade que regulamente os serviços, que no nosso país é a LABRE (Liga Amadora Brasileira de Radio Emissão). Procure um escritório da LABRE mais próximo de sua localidade se desejar saber como ser um radioamador.

Assim, os sinais de baixas frequências são aplicados a portadoras de altas frequências nos canais indicados na figura acima, de modo a produzir a modulação e assim o seu transporte através de ondas de rádio até as estações receptoras.

Veja que precisamos estabelecer uma faixa de frequências para cada estação e não apenas uma frequência única, pois conforme veremos, ao se fazer a modulação o sinal resultante se espalha dentro da faixa.

Além da faixa de ondas médias, o mesmo processo é aplicado às estações de radiodifusão que operam em ondas curtas e a serviços de telecomunicações e radioamadores.

4.3.1 – O Transmissor de AM

Um transmissor de AM típico pode conter diversos estágios amplificadores que, a partir de um oscilador, chegam ao sinal final que deve ser transmitido, conforme mostra a figura 109.

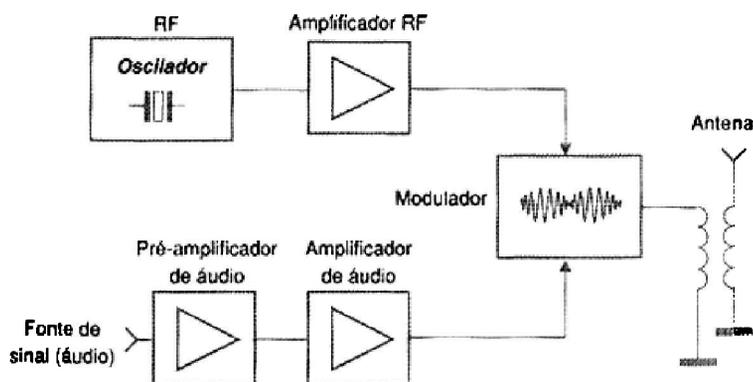


Figura 109 – O transmissor de AM

A modulação de um transmissor que tenha essa estrutura básica pode ser feita de diversas formas.

No caso específico de um transmissor de informações que correspondam à voz (sons) como, por exemplo, de radiodifusão, o que se faz é acoplar um amplificador de áudio ao último estágio amplificador, conforme mostra a figura 110.

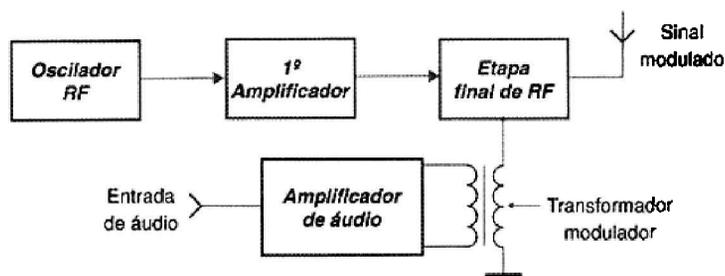


Figura 110 – Modulação na etapa final de potência

O amplificador usado deve ter uma potência que depende da etapa final de RF no qual ele está acoplado de modo a se obter 100% de modulação, conforme mostra a figura 110. (*)

(*) Veremos mais adiante o que significa 100% de modulação.

Na figura 111 damos um exemplo de circuito modulador usando um transformador.

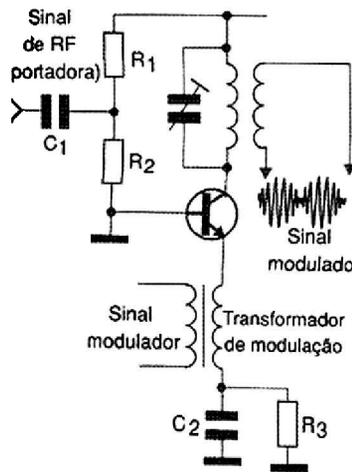


Figura 111 – Circuito modulador com transformador

O sinal modulador é aplicado a um transformador cuja finalidade é tanto isolar o circuito de modulação do circuito de RF como casar suas impedâncias, controlando a corrente de emissor do transistor amplificador e com isso a amplitude do sinal. A modulação ocorre justamente em vista das características não lineares do transistor.

Na figura 112 temos um circuito modulador de um transmissor valvulado do tipo encontrado em emissoras de radiodifusão para modulação em amplitude.

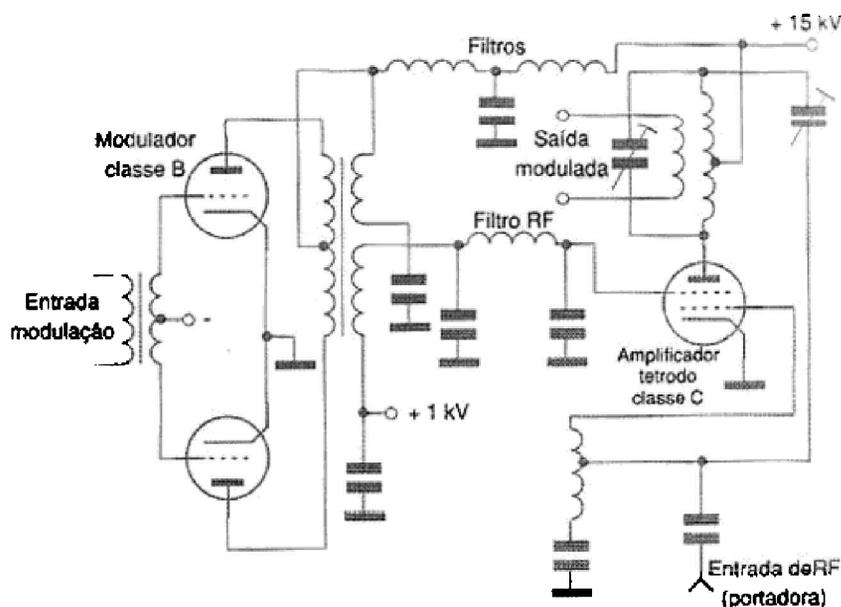


Figura 112 – Etapa de modulação em amplitude de um transmissor de alta potência de radiodifusão

Nessas configurações, o sinal modulador pode ser aplicado à grade de blindagem. A desvantagem dessa configuração está na distorção relativamente alta que ocorre. Se o transmissor tem uma potência muito alta, tornando-se problemático o uso de um amplificador de áudio com potência da mesma ordem para a modulação, o que se faz é modular o sinal numa etapa intermediária de amplificação, conforme mostra a figura 113.

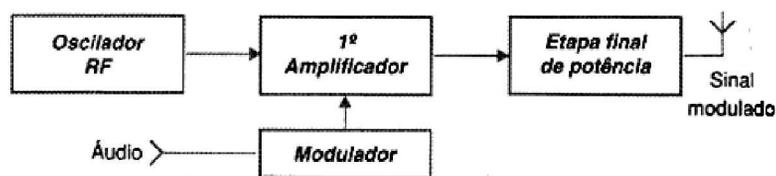


Figura 113 – Modulação numa etapa intermediária

Existem três configurações básicas destinadas à modulação em etapas intermediárias com menor potência: Chireix, Ampliphase e Doherty. Essas configurações se baseiam na combinação de sinais com fases diferentes.

4.3.2 – Cálculos de Modulação

Existem parâmetros importantes que devem ser considerado na modulação em amplitude e eles seguem a procedimentos de cálculos bem definidos. Se o leitor tem dificuldades em entender estes cálculos, sugerimos que deixe para ler este item quando estiver mais familiarizado com a matemática.

Quando modulamos um sinal de alta frequência com um sinal de baixa frequência, por exemplo, um som de frequência fixa de uma nota musical, não apenas a amplitude da portadora varia como também, pelo fenômeno do batimento, são obtidas duas frequências adicionais ou duas raiais.

Assim, o sinal final obtido além das variações da amplitude passa a ocupar três raiais no espectro, conforme mostra a figura 114.

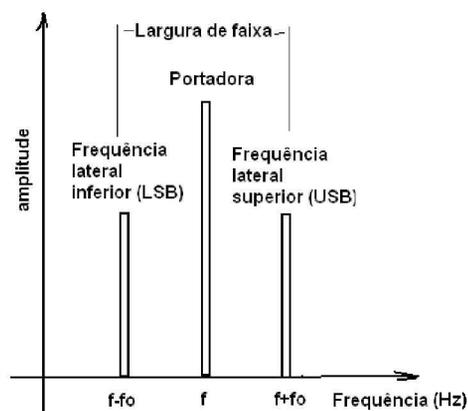


Figura 114 – Faixas laterais geradas na modulação em amplitude

Agora o leitor pode perceber melhor porque é preciso deixar uma certa faixa de frequências no espectro para cada estação. Na modulação, o sinal “espalha” precisando, portanto, de espaço no espectro para fazer isso sem causar problemas de interferências nas estações adjacentes.

A raia central é a portadora. A raia inferior é denominada frequência lateral inferior ou faixa lateral inferior, abreviada por LSB (lower Side Band), do termo correspondente em inglês.

A faixa superior ou faixa lateral superior é abreviada por USB de Upper Sideband que é o termo correspondente em inglês.

Se o sinal modulador for a voz ou a música, composta de muitas frequências, o que obtemos não é apenas uma banda estreita superior e uma inferior, como na figura 114, mas sim, faixas mais largas como mostra a figura 115.

As abreviações em português são BLS (Banda lateral superior) e BLI (Banda Lateral Inferior).

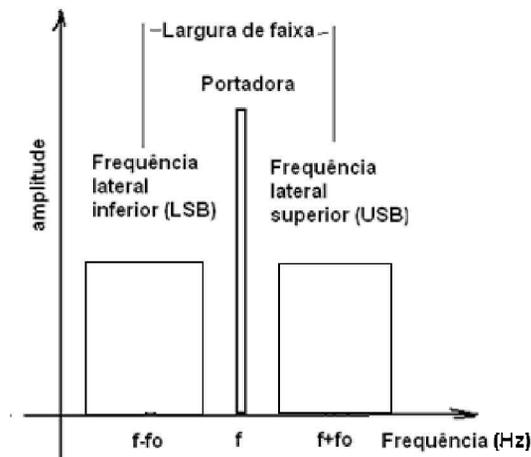


Figura 115 - Sinal modulado por um som complexo, como a voz humana.

As intensidades das duas raiais dependem da intensidade ou profundidade com que a modulação é feita.

Quando somamos as intensidades dos sinais das duas bandas, para uma modulação feita com um sinal senoidal de frequência única, obtemos um sinal conforme mostra a figura 116. Em torno deste sinal podemos traçar uma curva denominada envolvente ou envoltória.

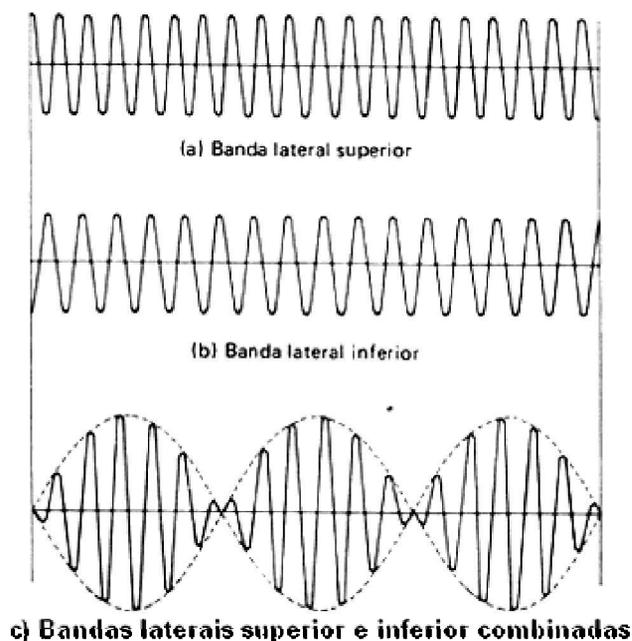


Figura 116- Bandas combinadas com a envolvente em (c)

Observe que os sinais contidos nas duas bandas são os mesmos, apenas são invertidos em relação ao tempo, ou seja, no espectro. A envolvente ou envoltório representa o sinal modulador presente no sinal. Nesse exemplo, o sinal modulador é um sinal senoidal de frequência fixa.

4.3.3 - Índice de Modulação em Amplitude

Para que haja correto funcionamento de um transmissor de AM, de modo que seja obtido maior alcance e para que ele não cause interferências, a modulação deve ser feita de forma bem determinada.

Uma modulação pobre, em que a amplitude da portadora varie pouco de intensidade faz com que o rendimento da estação seja pequeno. Por outro lado, uma modulação excessiva que ultrapasse a variação da amplitude do sinal de alta frequência faz com que ocorram distorções e, mais do que isso, sejam geradas interferências.

Na prática a modulação é medida na forma de uma porcentagem. Assim, uma modulação de 100% é aquela em que a amplitude do sinal varia entre zero e o valor máximo.

Uma modulação pobre, menor que 100% não faz com que o sinal varie em toda sua amplitude. Pode ocorrer ainda que a modulação supere os 100%, caso em que teremos instantes em que o sinal se anula.

Um sinal não deve ser modulado em mais do que 100%, pois além de ocorrerem distorções dos sinais, são geradas bandas laterais fora das faixas designadas causando interferências. Neste caso, dize-

mos que ocorre uma sobremodulação. Na figura 117 mostramos os três casos.

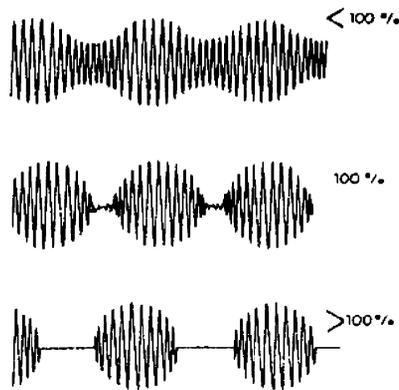


Figura 117 – As porcentagens de modulação

Calculamos o índice de modulação de um sinal modulado em amplitude usando a fórmula abaixo:

$$m = \frac{B-A}{B+A} \times 100$$

Onde:

m = índice de modulação (%)

A = amplitude máxima do sinal

B = amplitude mínima do sinal

Na figura 118 temos um sinal modulado, mostrando os valores de A e B .

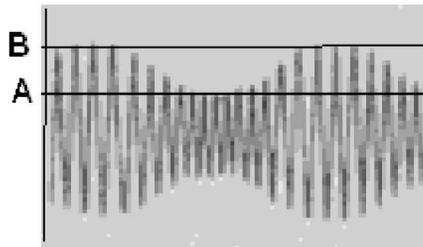


Figura 118 – Medindo o índice de modulação

4.4. – SSB (Single Side Band) ou BLU (Banda Lateral Única)

Pelo que foi estudado, podemos perceber que, se uma das bandas laterais for suprimida e o sinal transmitido, ele não perde as informações que se deseja transmitir.

A vantagem de se poder fazer isso é que, quando bandas laterais são geradas na modulação, a energia do transmitida se espalha pelo espectro e menor rendimento é obtido. Assim, se suprimirmos uma das faixas laterais, podemos obter maior rendimento numa transmissão, com maior alcance. Na figura 119 mostramos a divisão de potência de um transmissor para uma modulação de 100%.

Cálculos

Novamente recomendamos aos leitores menos afeitos à matemática que não se preocupem se tiverem dificuldades com esta parte do curso, deixando para voltar depois, quando estiverem já mais familiarizados com os cálculos envolvidos.

SSB Na Prática

Muitos serviços de radio-comunicações hoje utilizam o SSB pelas vantagens que este sistema apresenta. Pode-se obter maior alcance e maior imunidade a ruídos à interferências utilizando-se potências menores. Os radioamadores também usam intensamente esta modalidade de comunicação.

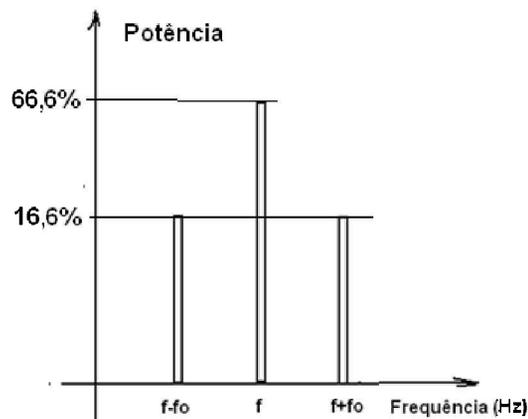


Figura 119 – Divisão de potência para o máximo de modulação

A modalidade de transmissão que faz isso é denominada SSB (Single Side Band) que em português recebeu a sigla BLU (Banda Lateral Única) sendo utilizada em por radioamadores, serviços de comunicações móveis e fixos, etc. O que se faz nessa modalidade é suprimir a portadora e uma das faixas laterais, transmitindo-se apenas a outra faixa lateral.

A faixa transmitida pode ser tanto a faixa superior como a inferior, conforme mostra a figura 120.

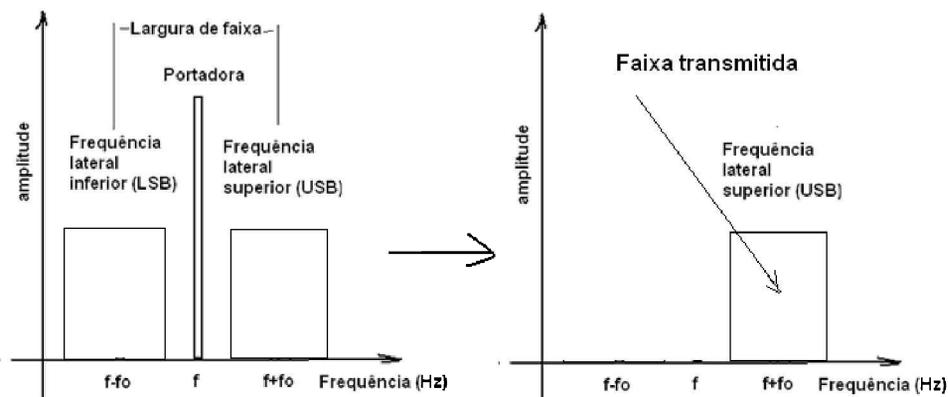


Figura 120 – Apenas uma das faixas laterais é transmitida

Além da vantagem de economizarmos energia, não transmitindo a portadora e uma das faixas, temos a concentração de toda a energia do transmissor numa faixa mais estreita. Assim, no espectro cabem mais estações ou canais de comunicação, se elas usarem essa modalidade de transmissão.

Para recuperar a informação quando se recebe um sinal deste tipo, o receptor gera através de um oscilador um sinal na mesma frequência da portadora. Assim, com sua presença. A detecção pode ser feita da maneira convencional.

A modulação comum em amplitude que estudamos em que as duas faixas e a portadora são transmitidas recebe o nome de AMDSB

ou Amplitude Modulation Double Side Band ou Modulação em Amplitude com Dupla Faixa Lateral.

4.5 – AMDSB - O Receptor

Na capítulo anterior em que tratamos dos receptores em geral, demos alguns tipos de circuitos para a recepção de sinais AM. No entanto, um tipo especial de receptor, pela sua importância deve ser analisado com maior detalhamento. Trata-se do receptor superheteródino.

Estes receptores, por suas características de sensibilidade e seletividade são os mais utilizados tanto na recepção de sinais modulados em amplitude (AM) como para outros tipos de sinais, tais como FM, SSB, etc. Na figura 121 temos o diagrama de blocos deste tipo de receptor, de que já falamos na capítulo anterior, e que agora vamos analisar com um pouco mais de profundidade.

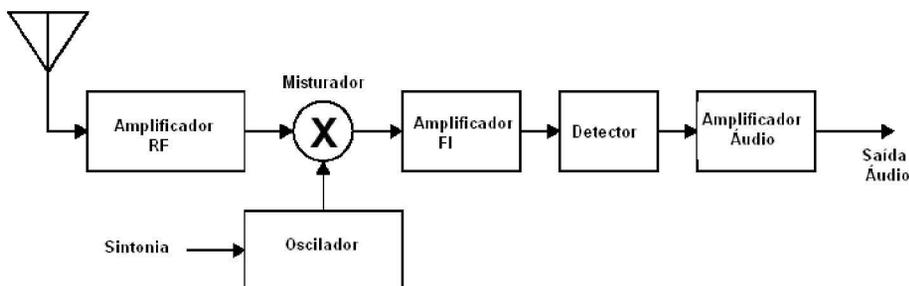


Figura 121 – Diagrama de blocos de um receptor superheteródino para AMDSB.

O que diferencia este receptor dos demais tipos, que estudamos na capítulo anterior, é o fato dele transformar os sinais das estações recebidas num sinal de frequência única que assim podem ser amplificado por circuitos de frequência fixa. Desta forma, uma vez ajustados, estes circuitos proporcionam uma amplificação de melhor qualidade.

Vamos então analisar o funcionamento deste receptor bloco a bloco ou etapa por etapa. Se o leitor quiser se aprofundar mais, pode partir dos ensinamentos de nosso curso básico de eletrônica e curso de eletrônica analógica com a análise de cada circuitos no nível dos componentes.

Partindo então do ponto em que a antena intercepta os sinais de todas as frequências existentes no local em que ela se encontra, vamos ao primeiro bloco.

4.5.1 - O Amplificador de RF

A função deste bloco é sintonizar a estação que se deseja receber e fornecer uma primeira amplificação ao sinal obtido. Encontramos neste bloco um circuito LC que pode sintonizar a estação desejada e

Superheteródino

Nos cursos de reparação de rádio e TV explora-se de forma bastante detalhada o funcionamento dos rádios AM e FM superheteródinos. O próprio autor deste curso tem livros e artigos sobre o assunto que podem ser consultados por quem deseja saber mais.

componentes ativos de amplificação, como transistores e, nos equipamentos antigos, válvulas.

Nos circuitos mais comuns é utilizado um capacitor variável para fazer a sintonia, variando-se a frequência de ressonância do circuito LC. Nos receptores mais modernos, a sintonia pode ser feita pela variação da tensão num varicap, ou diodo de capacitância variável colocado no circuito LC.

O sinal obtido nesta etapa ainda tem a frequência original da estação sintonizada. Este sinal é aplicado à etapa seguinte.

4.5.2 – O Conjunto Oscilador Local-Misturador

Uma característica do receptor superheteródino é a de amplificar sinais numa frequência fixa. No entanto, esses receptores devem normalmente receber sinais de estações de frequência diferentes.

Assim, a finalidade desta etapa é converter a frequência da estação que está sendo recebida para esta frequência fixa de modo que eles possam ser amplificados. Esta frequência fixa, para a qual o sinal é convertido, é denominada frequência intermediária ou FI.

Para os receptores AM, operando nas faixas de ondas médias curtas, essa frequência é padronizada em 455kHz. No entanto, encontramos em receptores antigos, outras frequências. Podemos dar como exemplo, a frequência de 915 kHz usada em receptores da Segunda Guerra Mundial.

O sinal de FI é gerado por um oscilador que opera numa frequência tal, cuja diferença em relação ao sinal recebido resulta na frequência intermediária. Essa diferença é obtida pelo fenômeno do batimento.

O batimento ocorre quando sinais de frequências diferentes se combinam resultando em sinais que são a soma e diferença das frequências, conforme mostra a figura 122.

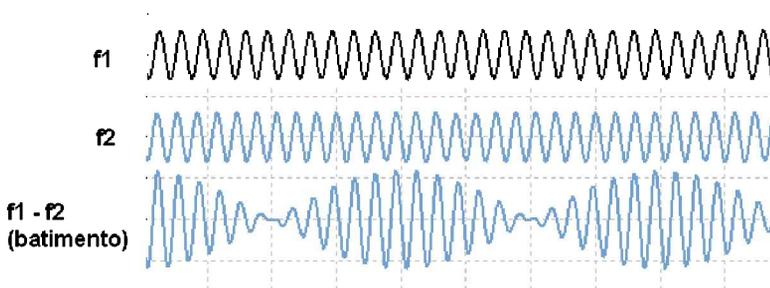


Figura 122 – O batimento, neste caso é a diferença entre as frequências de dois sinais que se combinam

Desta forma, o oscilador local deve acompanhar a sintonia das estações, pode estar em frequências diferentes quando fazemos sua sintonia.

O oscilador local pode operar "por baixo" da faixa sintonizada, quando sua frequência é 455 kHz a menos que a estação que está sendo sintonizada ou, "por cima", quando sua frequência é 455 kHz maior que a estação sintonizada. Nos dois casos, a diferença é 455 kHz e o circuito opera normalmente, conforme mostra a figura 123.

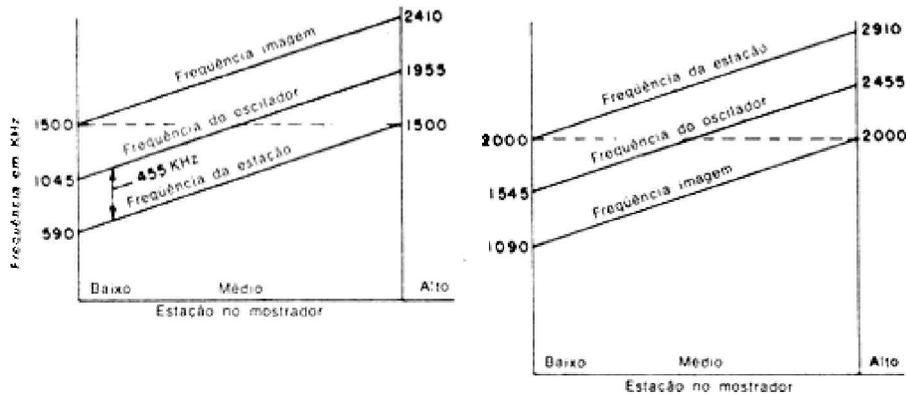


Figura 123 – Oscilador local operando por baixo e por cima da frequência sintonizada.

Quando o sinal do oscilador se combina com o da estação são geradas duas frequências: soma e diferença, a diferença é a que aproveitamos na etapa de FI. No entanto, se a frequência soma, denominada imagem, cai na faixa sintonizada, ela poderá aparecer no circuito causando problemas de interferências. A mesma estação pode ser captada em dois pontos do mostrador. Para evitar isso, a frequência imagem, conforme mostram os gráficos deve ficar sempre fora da faixa sintonizada.

Nos receptores superheteródinos temos então um capacitor variável duplo, onde uma seção sintoniza a estação, atuando sobre o circuito ressonante de entrada e a outra seção atua sobre o oscilador local, de modo a manter a diferença em 455 kHz.

No circuito mostrado na figura 124, a função de oscilador e de misturador dos sinais que gera a frequência intermediária é feita por um único bloco com um transistor. Este circuito é de um receptor comercial transistorizado antigo para AM.

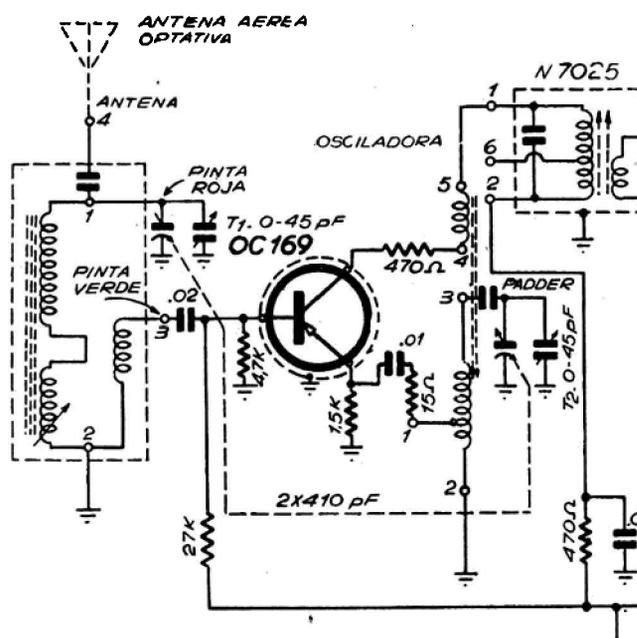


Figura 124 – Etapa osciladora-misturadora de um receptor transistorizado antigo.

Observe as linhas tracejadas que indicam que o capacitor de sintonia é duplo. N7025 é o transformador de FI, e a bobina ligada a antena forma o circuito de sintonia e a bobina com os terminais 1, 2 e 3 forma o circuito oscilador.

Em alguns circuitos esta etapa tem um bloco oscilador e um bloco misturador separados como, por exemplo, no circuito mostrado na figura 125 de um rádio comercial para a faixa de AMDSB antigo.

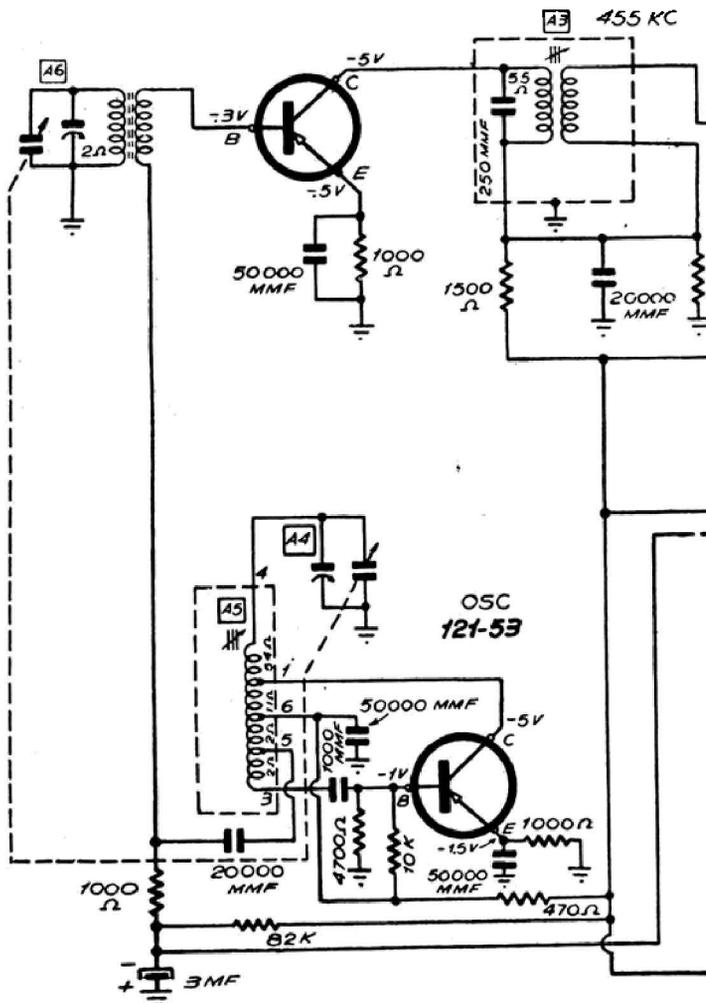


Figura 125 – Neste circuito temos um transistor oscilador e um transistor misturador (superior). O capacitor variável também é duplo.

Nos receptores com circuitos integrados modernos, o princípio de funcionamento desta etapa é o mesmo. A diferença está no fato de que os componentes principais são internos ao CI. São externos basicamente as bobinas e o capacitor variável e eventualmente alguns componentes que não podem ser integrados facilmente como, por exemplo, capacitores eletrolíticos.

4.5.3 - Etapa de FI

Na entrada da etapa de FI o sinal de alta frequência (RF) ainda é muito fraco, necessitando de amplificação adicional. Para isso podemos ter uma ou duas etapas de amplificação.

As etapas seguintes são as etapas amplificadoras de frequência intermediária ou FI. Na figura 126 temos o circuito típico de uma dessas etapas usando um transistor, como a encontramos num rádio convencional de AM.

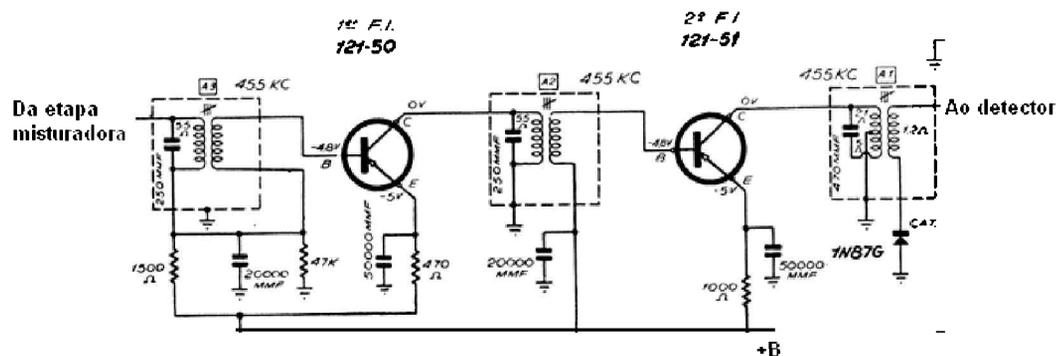


Figura 126- Duas etapas amplificadoras de FI de um receptor transistorizado antigo.

Em receptores mais modernos, esta etapa poderá estar "embuída" num circuito integrado. Os transformadores observados no circuito são sintonizados na frequência intermediária, existindo para esta finalidade núcleos ajustáveis de ferrite.

Em receptores de telecomunicações antigos valvulados, a sintonia dos transformadores de FI era feita, em alguns casos, através de trimmers.

Com o uso de uma ou mais etapas de amplificação o sinal, não apenas tem sua intensidade aumentada, como obtém-se uma seletividade maior para o receptor.

4.5.4 – Detector

Até este ponto do circuito temos o processamento de sinais de altas frequências que mantém a modulação em amplitude do sinal original transmitido pela estação. No entanto, é preciso extrair a componente de baixa frequência que modula este sinal, um som no caso de um rádio AM de ondas médias ou curtas, por exemplo.

Essa função é exercida pelo detector que, normalmente neste tipo de circuito, é um diodo. Obtemos então um sinal que corresponde à envolvente da portadora modulada, conforme mostra a figura 127.

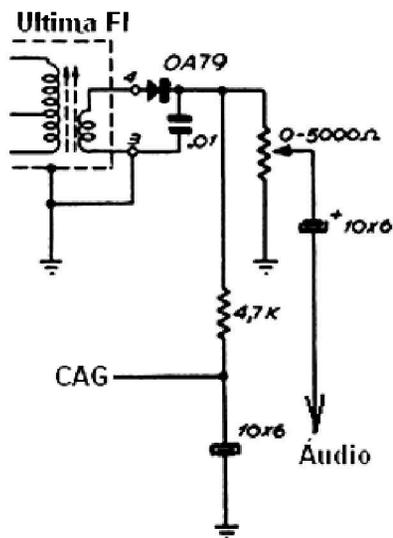


Figura 127 – Etapa detectora de um receptor AMDSB comum com transistores. O diodo é o detector de envoltente

Neste circuito, o potenciômetro é o controle de volume. Em alguns receptores, em lugar do diodo, a própria junção base emissor de um transistor amplificador de áudio serve como detector.

Assim, temos uma etapa que ao mesmo tempo detecta e amplifica os sinais de áudio.

4.5.5 - Controle Automático de Ganho (CAG)

Devido à problemas de propagação, eventualmente de reflexões na ionosfera que são afetadas constantemente, os sinais podem variar de intensidade ao chegar ao receptor. Nos rádios de ondas curtas isso resulta num fenômeno denominado “fading” ou desvanecimento, em que a estação aumenta e diminui de volume, parecendo ir e vir. Na prática temos três fatores influenciando neste fenômeno:

- As estações não possuem a mesma potência
- Os receptores podem estar a distâncias diferentes da estação
- Influências na propagação podem ocorrer tanto pelas condições do meio como pela própria ionosfera, no caso de onda curtas ou da captação de estações distantes.

A finalidade do controle automático de ganho (CAG, também abreviado por AGC do inglês como acrônimo para Automatic Gain Control) é aumentar automaticamente a amplificação quando o sinal é fraco e reduzir quando o sinal é forte.

O circuito do CAG nada mais é do que um filtro passa-baixas que recupera o valor médio do sinal obtido depois da detecção e o aplica de volta a primeira etapa de FI de modo a alterar seu ganho, conforme mostra a figura 128.

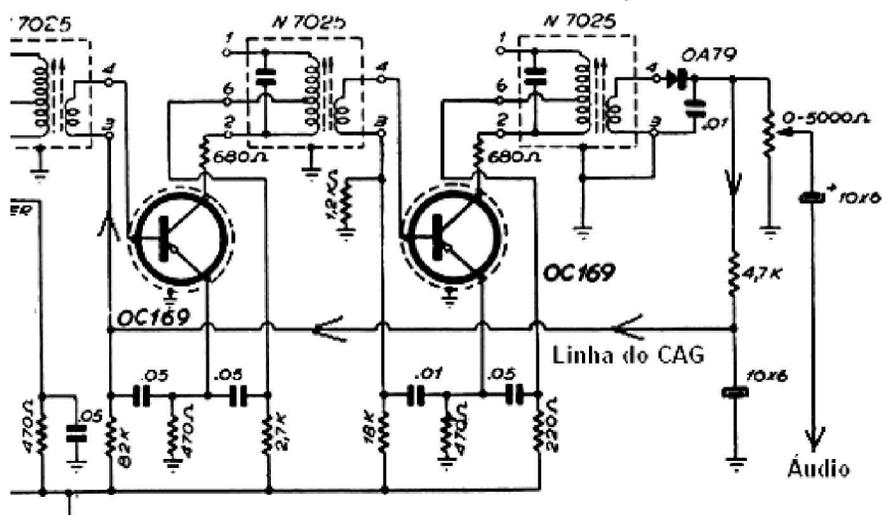


Figura 128 – o CAG de um receptor AMDSB convencional.

4.5.6 - O Amplificador de Áudio

A etapa anterior (detector) é um ponto do circuito em que deixamos de ter sinais de alta frequência (RF – FI) e passamos a ter sinais de áudio. Podemos então utilizar qualquer tipo de amplificador de baixa frequência, ou áudio, para processar o sinal, aplicando-o a um alto-falante ou fone de ouvido, se o sinal consistir em sons. A potência depende apenas da finalidade do receptor.

Na figura 129 temos uma etapa amplificadora de áudio classe B de um receptor antigo. Nos tipos mais modernos podemos encontrar etapas em simetria complementar e até mesmo com circuitos integrados.

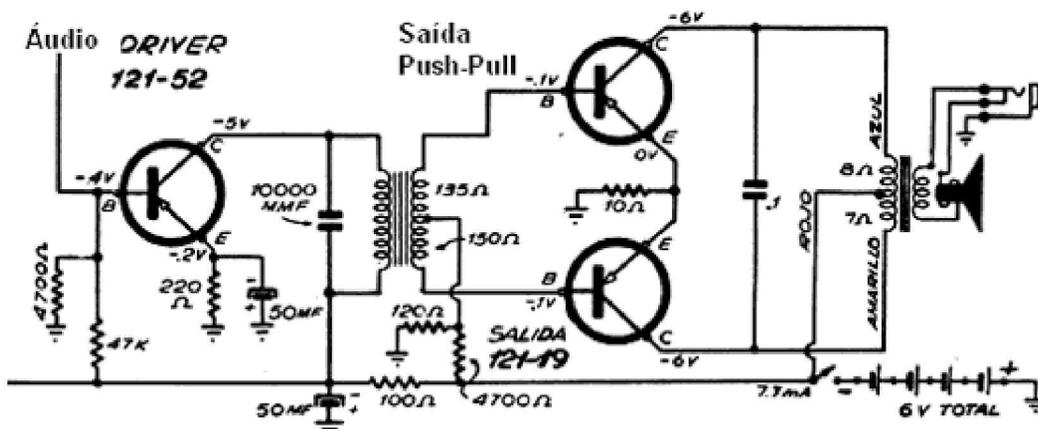


Figura 129 – Etapa driver (impulsora) e saída de um rádio comum transistorizado.

Na figura 130 temos um circuito típico de saída complementar. Os transistores usados dependerão da tensão de alimentação e da potência de áudio desejada.

Em receptores portáteis as potências variam entre 20 mW e 2 W e para os aparelhos de som que incluem toca-CDs e FM a potência poderá chegar a várias dezenas de watts.

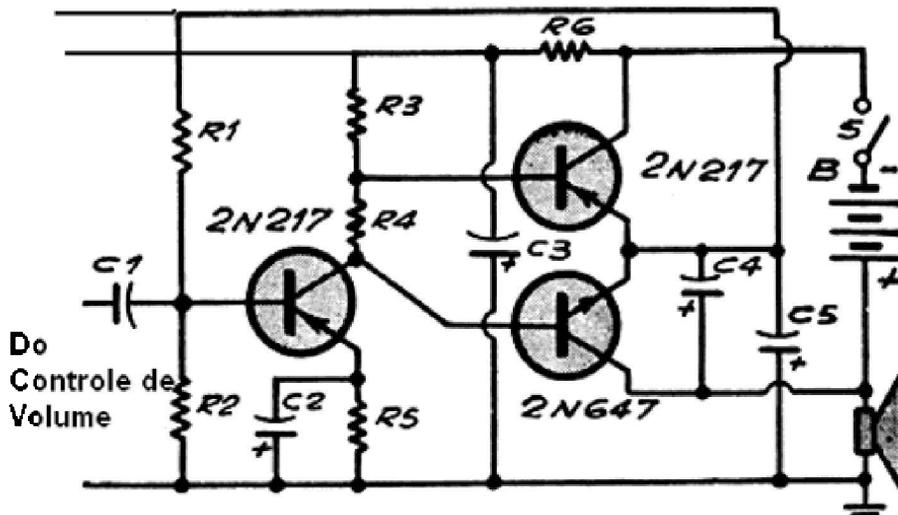


Figura 130 – Etapa de saída sem transformadores com transistores complementares.

4.6 – Receptores de Telecomunicações – Dupla Conversão

Nos casos em que se exige um circuito com mais recursos para aplicações profissionais, por exemplo, o receptor pode contar com diversas etapas adicionais e até mesmo tecnologias que permitem obter muito mais sensibilidade e seletividade do que um receptor comum de uso doméstico, portátil ou automotivo.

Assim, em alguns receptores, para se obter mais amplificação, pode-se ter dois conjuntos de circuitos de frequência intermediária, operando em frequências diferentes. Estes receptores são denominados de “dupla conversão”. Na figura 131 temos um diagrama de blocos de um receptor deste tipo.

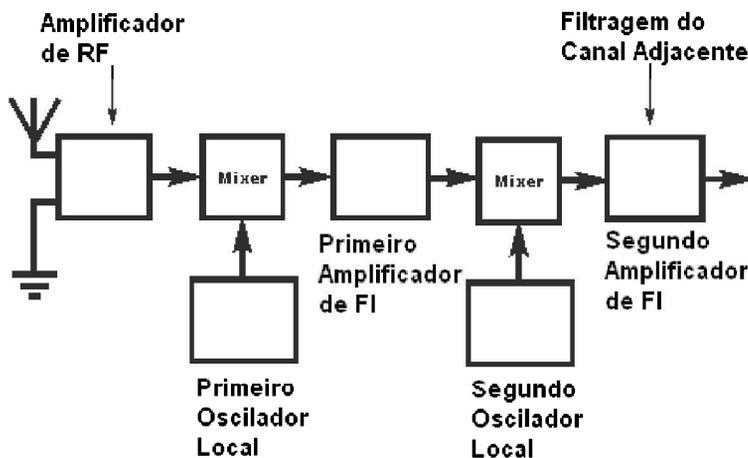


Figura 131– Diagrama de blocos de um receptor de dupla conversão

Neste tipo de receptor, uma primeira frequência intermediária mais alta afasta na posição do espectro a imagem, o que leva o circuito a ter maior grau de rejeição. A segunda frequência intermediária proporciona amplificação adicional alcançando assim um melhor desempenho do circuito.

Existem diversas tipologias possíveis para este circuito, normalmente dependentes da aplicação.

Também é possível alcançar maiores graus de desempenho com receptores de tripla conversão. Na figura 132 temos um receptor de dupla conversão usado por radioamadores.

Receptores de Comunicações

Os receptores dos equipamentos de radiocomunicações estão cada vez mais sofisticados, com circuitos digitais que fazem a síntese da frequência do oscilador e a sintonia, através de PLLs. Estes circuitos são bastante complexos, dado o uso de microcontroladores e DSPs, devendo ser abordados nas lições que tratam da modulação digital. Isso ocorre, porque muitas vezes os sinais captados são convertidos para a forma digital, processados, e a informação extraída na forma digital é convertida para a forma analógica para reprodução (sons).



Figura 132 – Receptor de dupla conversão antigo



Figura 133 – Equipamento de dupla conversão moderno

O da figura 133 e do tipo de sintonia contínua analógica enquanto que o segundo contém recursos digitais para mostrar a frequência sintonizada.

Nos receptores de muitas faixas, existem jogos de bobinas osciladoras e de sintonia (antena) para cada faixa os quais são comutados por “chaves de ondas”, normalmente colocadas em monoblocos.

4.7 – Receptores Para CW e SSB

Quando um receptor capta um sinal de onda contínua (sem modulação), não há som no alto-falante ou fone, apenas uma espécie de “sopro” dado pela presença da onda. Assim, para se obter um tom de recepção, os receptores de CW incluem um oscilador próprio que

gera um sinal que ao se combinar com o sinal obtido gera um tom de áudio.

Este oscilador é denominado OFB (Oscilador de Frequência de Batimento) ou BFO (Beat Frequency Oscillator), para o acrônimo do inglês.

Para receber sinais SSB, também precisamos de circuitos adicionais no receptor. Um oscilador gera a portadora que foi suprimida de modo a se recuperar a modulação pelo método convencional da detecção de envolvente. Este é o mesmo oscilador usado nos receptores para receber sinais em CW.

O sinal deste oscilador é injetado na última FI de modo que ao se combinar com o sinal amplificado, resulta um batimento na frequência audível, o qual é detectado e amplificado.

Questionário

1. Modular um sinal de alta frequência é:
 - a) Alterar sua velocidade de propagação para que ele transporte informações
 - b) Aumentar sua intensidade conforme a informação a ser transportada
 - c) Alterar suas características conforme a informação a ser transportada
 - d) Interromper o sinal de modo que ele possa ser controlado

2. No AM a características do sinal portador a ser alterada é:
 - a) Frequência
 - b) Velocidade
 - c) Amplitude
 - d) Fase

3. Um sinal modulado em frequência também é modulado em:
 - a) Amplitude
 - b) Fase
 - c) Quadratura
 - d) SSB

4. No SSB eliminamos que componente do sinal?
 - a) Portadora
 - b) Portadora e uma das faixas laterais
 - c) As duas faixas laterais
 - d) Uma faixa lateral e a portadora

5. Quando um ciclo de um sinal pode transportar mais de uma unidade de informação podemos dizer:
 - a) O número de bauds é igual ao de bps
 - b) O número de bauds é diferente dos bps
 - c) Não podemos mais falar em número de bauds
 - d) O sinal é digital

6. O bloco de um receptor AMDSB em que ocorre a transição dos sinais de RF para baixa frequência é:
 - a) O misturador
 - b) O detector
 - c) A primeira etapa de FI
 - d) O amplificador de áudio

7. Os receptores que possuem dois circuitos de FI que operam em frequências diferentes são chamados:
 - a) Simples conversão
 - b) Conversão direta
 - c) SSB
 - d) Dupla conversão



» Transistor Unijunção e de Efeito de Campo

5. O que você vai aprender

Neste capítulo continuaremos a falar da modulação analógica, agora com um tipo especial, bastante usado em radiodifusão que o FM. Veremos como é feita a modulação em frequência, alguns cálculos relativos a suas características e também as vantagens que ela apresenta em relação a outros tipos de modulação. Também estudaremos os receptores e as técnicas de demodulação desses sinais com a inclusão da modalidade estéreo. Este capítulo constará dos seguintes itens:

- 5.1 – Modulação em frequência ou FM
- 5.2 – FM faixa estreita e faixa larga
- 5.3 – Desvio de frequência
- 5.4 – Circuitos moduladores de FM
- 5.5 – Demodulação de FM
- 5.6 – FM estéreo
- 5.7 – Receptores de FM

5.1 – Modulação em Frequência ou FM

Outra forma de se agregar informações a uma portadora de alta frequência é através da modulação em frequência ou FM. O exemplo mais comum é o das estações de radiodifusão de FM que transmitem basicamente música. No entanto, a FM pode ser usada para transmitir outros tipos de informações e até mesmo dados.

Na modulação em frequência, a característica da portadora que é alterada segundo o sinal modulador é a frequência. No entanto, como nesta alteração, o ângulo de fase também sofre modificações, também

podemos chamar a modulação em frequência de modulação angular ou modulação de fase.

No sinal modulado em frequência, a frequência de uma portadora é variada segundo a amplitude do sinal modulador de baixa frequência. Na figura 134 mostramos o que ocorre.

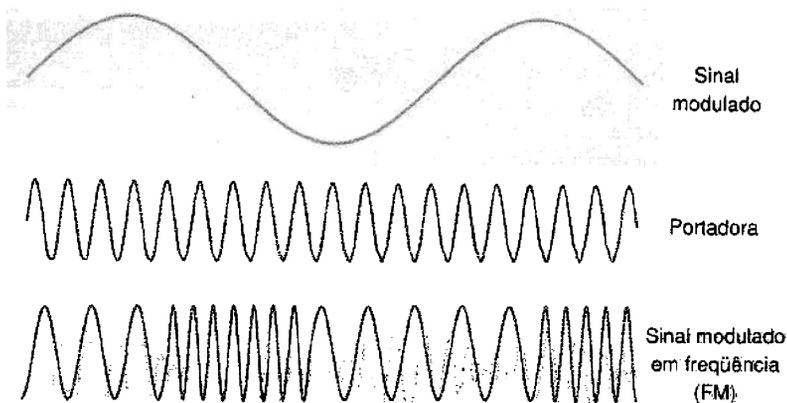


Figura 134 – A frequência da portadora varia com a amplitude do sinal modulador.

Nessa modulação, a frequência da portadora varia entre dois valores definidos pela faixa ocupada no espectro. A frequência será máxima quando o sinal modulador tiver sua intensidade máxima positiva. A frequência da portadora será mínima no pico negativo do sinal modulador, conforme mostra a figura 135.

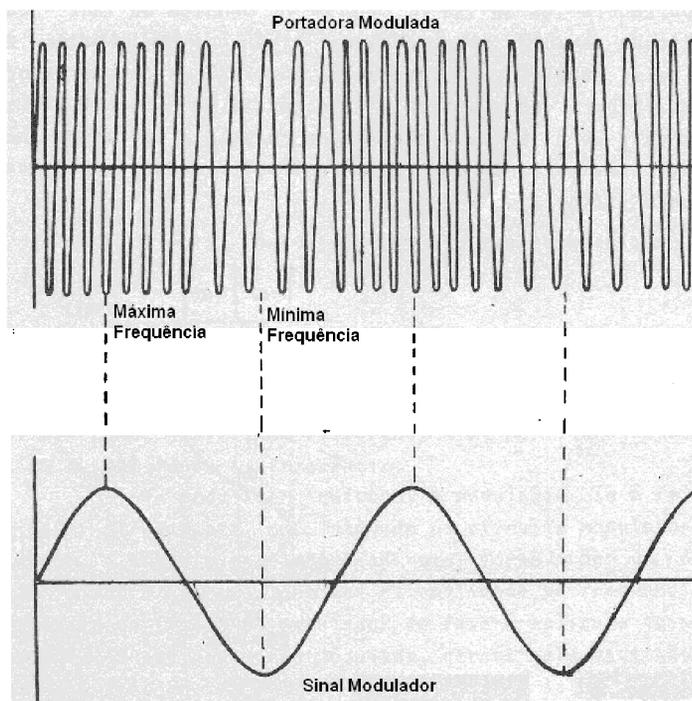


Figura 135 – Variações da frequência de um sinal modulado em frequência

Veja que a faixa ocupada pelo sinal modulado em frequência depende da intensidade do sinal modulador. Podemos então definir o índice de modulação de um sinal de FM, conforme mostra a figura 136.

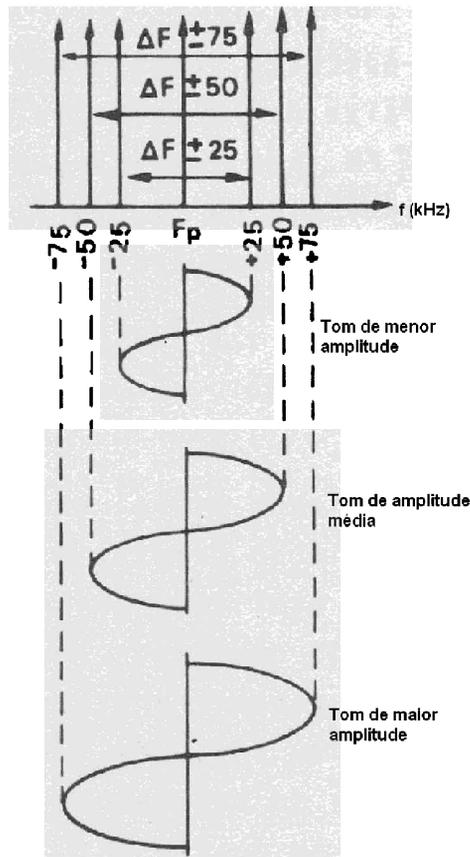


Figura 136 - Profundidade ou índice de modulação para o FM

Como teoricamente a frequência do sinal pode ser variada numa largura infinita do espectro é preciso determinar uma faixa ou largura do canal que corresponde a uma modulação de 100%.

Supondo que a faixa de referência tem uma largura de 10 kHz e um sinal modulador faz com que ocorra um deslocamento de 5 kHz dentro desta faixa, podemos dizer que o índice de modulação será:

$$M = 5 \text{ kHz} / 10 \text{ kHz} = 1/2 \text{ ou } 50\%, \text{ expressando na forma de porcentagem}$$

Nesta modulação temos uma grande vantagem em relação à modulação em amplitude. Como na AM a amplitude varia, temos instantes em que a intensidade do sinal é baixa. Nestes pontos, os ruídos podem sobressair e aparecer na reprodução após serem detectados.

Na modulação em frequência a amplitude se mantém constante, de modo que os picos de ruído que estejam abaixo de sua amplitude não aparecem, não sendo detectados. A figura 137 mostra o que ocorre.

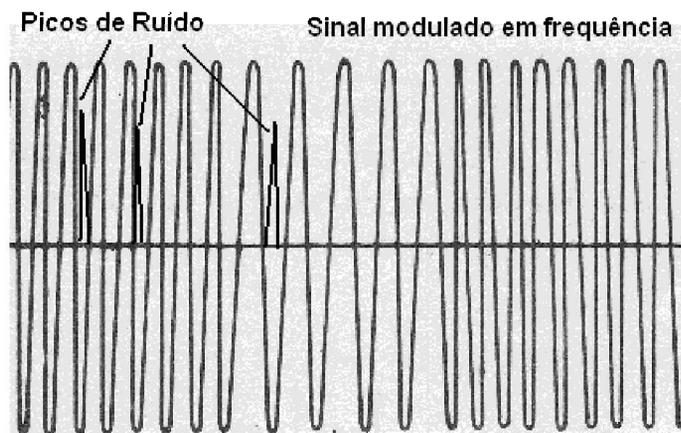


Figura 137 – Os picos de ruído não aparecem

Veja que é por esse motivo que a recepção os programas das rádios de FM é muito menos afetados num dia de tempestade com raios, que geram pulsos de ruído, ou ainda quando passamos perto de fontes de ruído, em relação a recepção num rádio de AM.

Conforme vimos, quando modulamos um sinal em frequência, sua fase também varia, o que significa que ele também pode ser considerado um sinal PM (Phase Modulation). Neste caso é a fase do sinal que varia com a amplitude ou intensidade do sinal modulador, conforme mostra a figura 138.

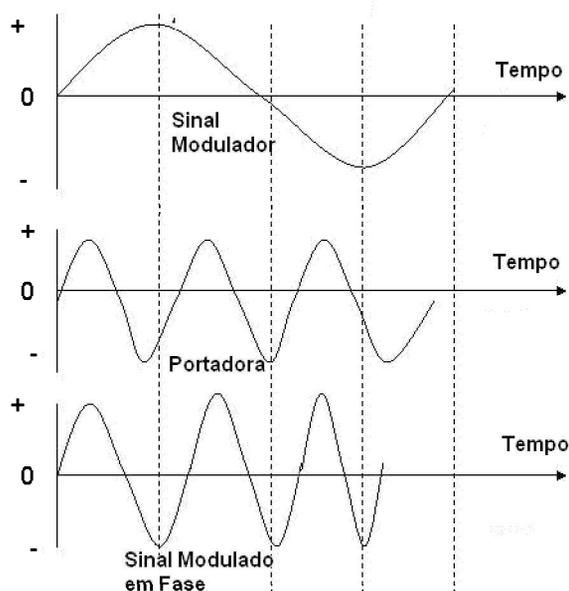


Figura 138 – Variações de fase de um sinal modulado em frequência o que torna o sinal também modulado em fase

Na modulação em fase, também a frequência do sinal se altera. Desta forma, no tratamento matemático dessa modulação, a derivada do sinal modulador tem seu máximo positivo na passagem por zero e oscila entre valores positivos e negativos.

Veja que a simples análise de uma forma de onda não permite saber se um sinal está sendo modulado em fase ou frequência. Para saber qual é a modulação usada temos também de conhecer o sinal modulador.

5.2 – FM Faixa Estreita e Faixa Larga

Quando modulamos uma portadora em frequência ou em fase, a faixa ocupada depende de dois fatores: da sua profundidade de modulação e das componentes harmônicas do sinal modulador que podem gerar uma quantidade infinita de raias simétricas em relação à frequência da portadora, conforme mostra a figura 139.

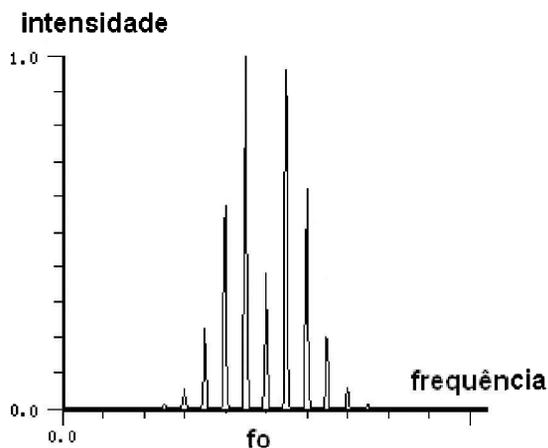


Figura 139 – A quantidade de raias depende da profundidade da modulação

Na prática, ao se calcular a faixa ocupada por um sinal deste tipo, as raias com menos de 10% da amplitude do sinal não são consideradas, pois equivalem a menos de 1% da potência do sinal da portadora.

Para calcular a faixa ocupada é utilizada a Fórmula de Carson:

$$B = 2 \times (df + fm_{max}) = 2 \times (n + 1) fm_{max}$$

Onde:

B é a largura de faixa ou banda em hertz (Hz)

dF é o desvio de frequência máximo ou de pico em hertz (Hz)

fm_{Max} é a frequência máxima do sinal modulador em hertz (Hz)

n é o índice de modulação

O índice de modulação para os sinais modulados em frequência é dado por:

$$n = df/fm$$

O Inventor do FM

No dia 26 de dezembro de 1933, Edwin Howard Armstrong recebeu quatro patentes pela invenção da frequência modulada (FM). Com essas patentes ele procurou apoio da RCA para colocar em prática a emissão nesta modalidade, mas a RCA estava mais interessada em TV. No entanto, ele conseguiu apoio da General Electric e da Zenith, que possibilitaram a realização de testes. No entanto, o sistema foi gradualmente atraindo o interesse dos engenheiros e ouvintes. Assim, em 1939 já haviam 20 estações experimentais. Até então era proibido veicular anúncios nestas estações. Em 1940, entretanto o FCC alocou a faixa de 49 MHz a 50 MHz para estas emissões e em outubro do mesmo ano já eram 15 estações em operação. No final de 1941 a Zenith já havia vendido mais de 400 000 receptores de FM e daí hoje sabemos o que a radiodifusão de FM significa em nossos dias.



Edwin Howard Armstrong (1890-1954) - Foto :IEEE History Center

Onde:

Δf é o desvio de frequência máximo ou de pico em hertz (Hz)

f_m é a frequência máxima do sinal modulador em hertz (Hz)

Conforme o valor de n constataremos a presença de diversas raias espectrais conforme mostra a figura 140. As raias de menos de 10% da amplitude da portadora podem ser desprezadas.

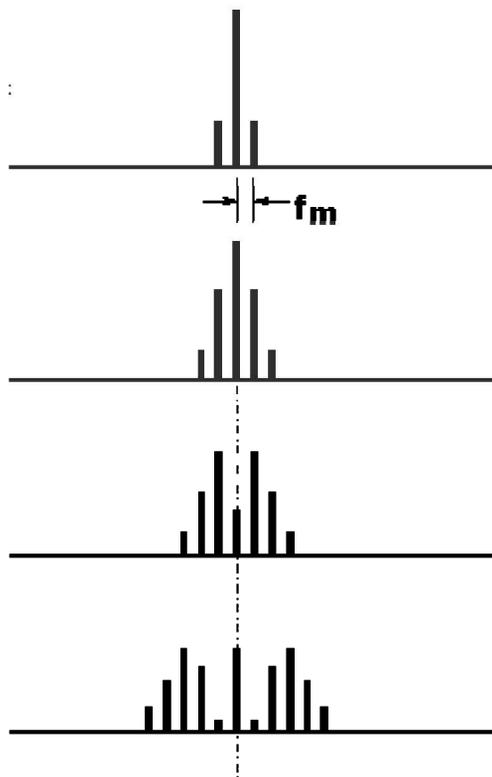


Figura 140 – Raias para diversos índices de modulação

Para os que desejarem aprender a calcular as intensidades das raias recomendamos estudar a aplicação da Lei de Carson em cursos mais avançados de matemática para eletrônica.

Podemos entender melhor o que ocorre quando uma portadora de alta frequência é modulada por um sinal senoidal de baixa frequência, que corresponde a um som, por exemplo, tomemos a figura 141 como exemplo.

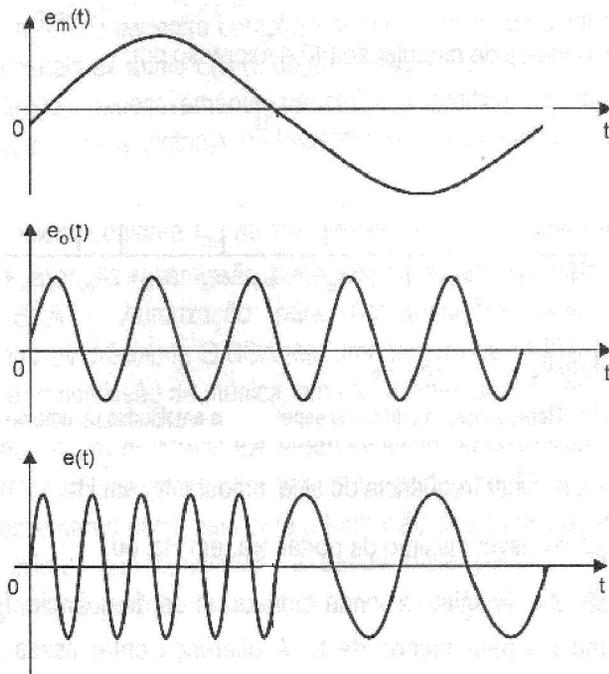


Figura 141 – Modulação em frequência para um tom de baixa frequência

Nesta figura:

$e_m(t)$ = Informação - sinal que será transmitido

$e_o(t)$ = portadora – sinal na frequência de operação da emissora, sinal senoidal

$e(t)$ = sinal modulado – sinal pronto para ser enviado

Podemos dar como exemplo para esta aplicação as estações de radiodifusão de FM em que os sinais de áudio são mais complexos, correspondendo à voz e música com muitas harmônicas.

5.3 - Desvio de Frequência

O índice de modulação para um sinal modulado em frequência é o desvio de frequência que ocorre pela presença do sinal modulador.

Observe que no caso da modulação em frequência não existe limite para a profundidade da modulação, pois o sinal teoricamente pode se espalhar por todo o espectro de RF, o que não ocorre no caso de um sinal modulado em amplitude. Lembramos este fato mais uma vez.

Dessa forma, o valor 100% é escolhido arbitrariamente dentro de uma faixa de frequências. Podemos tomar como exemplo uma emissora de FM cuja faixa de frequências alocada é de 100 kHz, conforme mostra a figura 142.

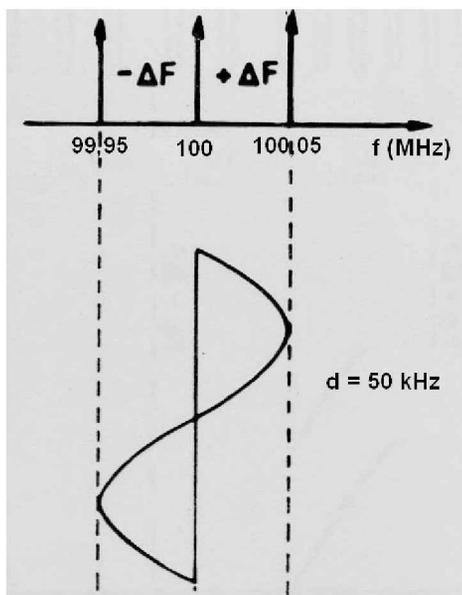


Figura 142 – Exemplo de emissora com largura de faixa de 100 kHz

Se quisermos calcular o desvio de frequência que causa um sinal que tenha a intensidade máxima prevista, fazemos:

$$d = 100 \text{ kHz} \times 0,5 = 50 \text{ kHz}$$

Também podemos expressar a modulação de um sinal modulado em frequência através do índice de modulação angular. Esse índice é expresso em termos de deslocamento de fase da portadora dado em radianos (rad).

Tomemos como exemplo uma portadora que recebe a modulação de um sinal senoidal de 5 kHz que tem a amplitude dada pelo valor máximo permitido. A frequência da portadora é de 100 MHz. Podemos então calcular:

a) Desvio de frequência

$$Df = 100 \text{ kHz} \times 0,5 = 50 \text{ kHz}$$

b) Desvio de fase ou índice de modulação

$$B = 50 \text{ kHz} / 5 \text{ kHz} = 5 \text{ rad}$$

5.3.1 - Modulação FM – Faixa Estreita

Chamamos de sinal de FM em faixa estreita ou FMFE os sinais de FM que possuem pequenos valores do índice de modulação. Os valores são inferiores a 1 rad e o sinal é formado por apenas uma componente de banda lateral superior e uma componente inferior, além da portadora, conforme mostra a figura 143.

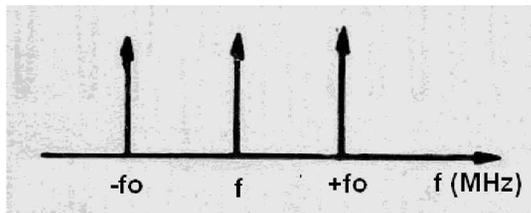


Figura 143 – Modulação de FM Faixas Estreita

5.3.2 - Modulação FM – Faixa Larga

Se os valores do índice de modulação forem maiores do que 0,2 ($\beta > 0,2$), além da portadora, o sinal contém um número infinito de componentes que se distribuem simetricamente em torno dela. Um sinal deste tipo é denominado FM-Faixa Larga ou abreviadamente FMFL.

Na análise deste tipo de sinal é conveniente limitar o número de faixas laterais, com uma precaução para que as faixas eliminadas nos cálculos não venham a causar distorções. A regra de Carson nos permite fazer os cálculos envolvendo esta modulação.

Tomemos como exemplo em que a frequência moduladora é de 1,5 kHz, e a amplitude do sinal é de 5 V.

Exemplo:

$$f_m = 1,5 \text{ kHz} \quad D_f = 3 \text{ kHz} \quad A_c = 5 \text{ V}$$

a) Calculamos então o índice de modulação:

$$b = D_f / f_m = 3 / 1,5 = 2$$

b) O número de faixas laterais será calculado da seguinte forma:

$$n = b + 1 = 2 + 1 = 3$$

c) Para calcular a largura de faixa ocupada pelo sinal fazemos:

$$B = 2 \cdot (b + 1) \cdot f_m = 2 \cdot (2 + 1) \cdot 1,5 = 9 \text{ kHz}$$

ou

$$B = 2 \cdot (D_f + f_m) = 2(3 + 1,5) = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ kHz}$$

AM e FM

É possível combinar num sinal único a modulação em amplitude e a modulação em fase (Intensidade e Fase) com a possibilidade de se usar esta tecnologia para a transmissão de dados com grande eficiência. Nas próximas lições, em que trataremos da modulação digital, veremos como isto pode ser feito.

5.4 – Circuitos Moduladores de FM

Para modular um sinal em frequência podem ser utilizados diversos tipos de circuitos. Encontramos estes circuitos em transmissores e suas configurações dependem da aplicação.

Na figura 144 temos um circuito modulador de reatância em que se emprega um MOSFET de porta dupla num oscilador.

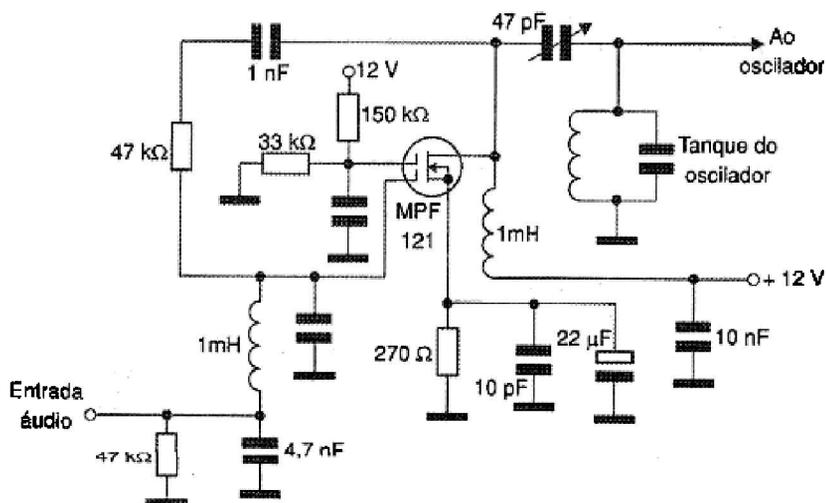


Figura 144 – Um circuito modulador de FM de reatância

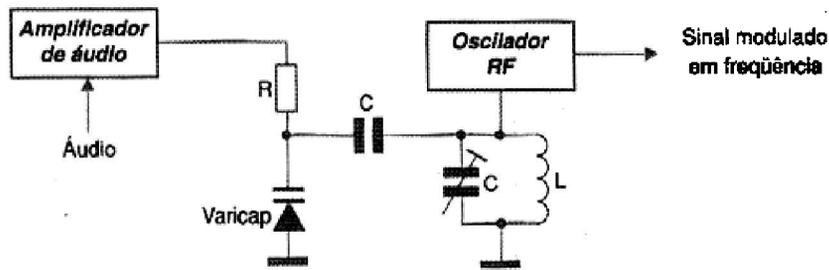
Nesse circuito, de modulação direta, normalmente opera-se numa frequência mais baixa do que a de saída do transmissor, sendo o seu sinal aplicado a etapas multiplicadoras de frequência e amplificadoras.

Isso também é necessário porque, para maior estabilidade o circuito deve operar com um desvio pequeno na frequência gerada quando modulado, esse desvio fica multiplicado nas etapas seguintes, obtendo-se a profundidade de modulação desejada.

Uma desvantagem desse tipo de circuito está no fato de que ao mesmo tempo em que se obtém uma modulação em frequência, uma alteração da amplitude do sinal também é inevitável. Isso ocorre porque, saindo da frequência de ressonância, o ganho da etapa se altera. Para se evitar esse problema, o sinal aplicado à etapa seguinte deve passar por algum tipo de circuito limitador que mantenha sua amplitude constante dentro da faixa de modulação.

Um outro ponto importante a ser considerado está na possibilidade de geração de bandas laterais pelo batimento da frequência de modulação com o sinal da portadora. Para que isso seja evitado, o sinal aplicado ao modulador deve passar por um filtro que elimine suas componentes de frequências mais altas.

Uma forma muito usada de se obter a modulação direta de frequência é através de diodos de capacitância variável ou varicaps, conforme configuração mostrada na figura 145.



Veja no Curso de Eletrônica Analógica (vol 2) como funcionam os varicaps

Figura 145 – Modulador com varicap

Os diodos varicaps possuem uma característica de capacitância que depende da tensão inversa que lhes seja aplicada, conforme mostra a figura 146.

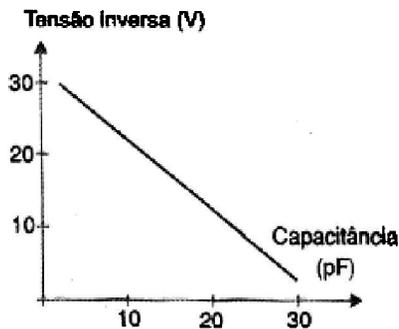


Figura 146 – Característica tensão x capacitância de um varicap

Assim, se não houver tensão aplicada a esses diodos, a junção tem sua largura mínima atuando como o dielétrico de um capacitor, resultando assim numa capacitância máxima. Com uma tensão inversa aplicada, a largura da junção aumenta e com isso a capacitância diminui.

Se aplicarmos ao diodo varicap um sinal de baixa frequência, e ele estiver ligado no circuito oscilante, o resultado será uma modulação em frequência do sinal de alta frequência gerado pelo oscilador. Na figura 147 temos um circuito típico de um oscilador modulado em frequência por um varicap.

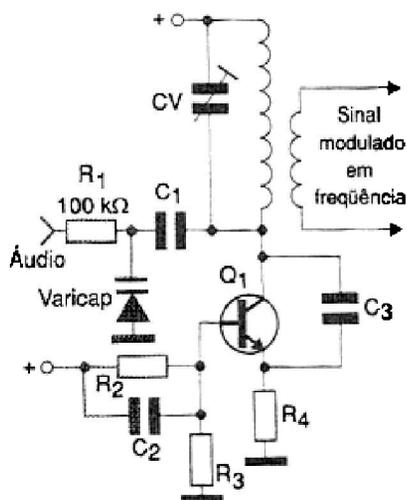


Figura 147 – Oscilador modulado com varicap

Na modulação indireta o que se faz é aplicar o sinal modulador num circuito modulador de fase, conforme mostrado na figura 148.

Circuitos

Para saber mais sobre os circuitos recomendamos o nosso Curso Básico de Eletrônica e o Curso de Eletrônica Analógica. Nelas detalhamos os funcionamentos dos circuitos e componentes que tomamos como exemplo neste item.

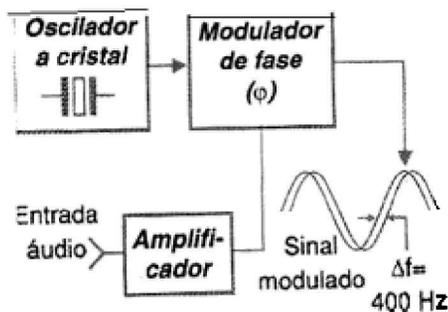


Figura 148 – Modulação indireta em blocos

Podemos então usar um oscilador controlado por cristal o que garante excelente estabilidade de funcionamento. Nesse circuito, o sinal gerado pelo oscilador é aplicado ao modulador de fase juntamente com o sinal modulador. Na saída deste circuito temos a portadora modulada em fase ou MPH. Uma desvantagem desse sistema é que o desvio de frequência obtido é muito pequeno e existe muita distorção e ruído.

Podemos ter um sistema muito melhor para modular um sinal em frequência se associarmos os dois processos vistos anteriormente.

Na figura 149 temos então um diagrama de blocos em que utilizamos um oscilador controlado a cristal e um oscilador modulador.

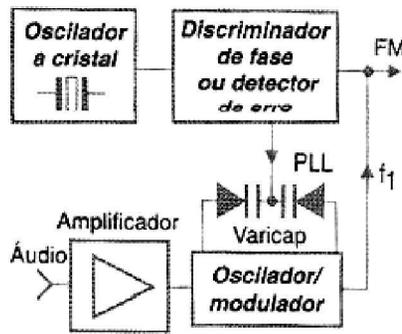


Figura 149 – Usando um oscilador controlado a cristal

O sinal modulador é aplicado diretamente ao oscilador de onde é obtida uma amostra da frequência que está já modulada. Esse sinal é comparado com o sinal gerado pelo oscilador controlado a cristal gerando assim uma tensão de erro. Essa tensão de erro é re aplicada ao oscilador livre de modo a controlar sua frequência.

5.5 - Demodulação de FM

No caso dois sinais de AM, a extração da informação correspondente ao sinal modulador recebe o nome de detecção. No caso dos sinais modulados em frequência, a separação do sinal modulador ou demodulação recebe o nome de “discriminação”. Existem diversos circuitos para se fazer a discriminação de um sinal de FM.

5.5.1- Discriminador de Inclinação ou tangencial

A forma mais simples de se extrair a informação de um sinal modulado em frequência é através do discriminador de inclinação ou tangencial. O que se faz é aproveitar a inclinação linear da região não ressonante de um circuito sintonizado.

De uma forma simples, o que se faz é aproveitar o fato de que um circuito sintonizado não tem um Q infinito, mas uma faixa de sintonia que deixa passar as frequências numa certa faixa.

Temos então um filtro simples que é capaz de converter a variação da frequência do sinal modulado em um sinal com variações correspondentes de amplitude. Gera-se então uma envoltória que pode ser detectada por um detector simples. Na figura 150 temos um circuito desse tipo.

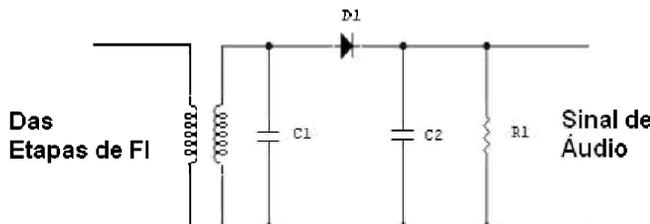


Figura 150 – Discriminador de inclinação ou tangencial

Este tipo de circuito apresenta algumas desvantagens.

Uma delas é que o desvio da frequência não pode ser muito grande. Ele deve ser tal que se encaixe na porção linear da curva de resposta do circuito sintonizado. Na prática, o que se faz é diminuir o fator Q do circuito pelo acréscimo de uma resistência de valor apropriado. No entanto, fazendo isso, o ganho do circuito cai.

Outro problema é a região que seria linear na prática não é, e uma distorção do sinal é introduzida. Este tipo de circuito, pela sua simplicidade é encontrado em receptores de baixo custo como rádios portáteis, som doméstico comum, etc.

5.5.2 - Discriminador de Inclinação Balanceado

Pode-se melhorar o desempenho do circuito discriminador anterior, reduzindo os efeitos que vimos serem desvantajosos, com a utilização simultânea de dois discriminadores, que são projetados de modo a melhorar as características da inclinação da região não ressonante.

Neste circuito, duas configurações simples de moduladores tangenciais são ligadas em série de modo que uma opere no setor de subida e a outra no setor de descida da curva de seletividade, aproveitando apenas suas partes lineares.

Um circuito deste tipo é mostrado na figura 151.

Som e TV

O som de TV também é modulado em frequência, ocupando uma faixa própria dentro do canal de vídeo. Assim, nos setores de áudio da TV analógica encontramos circuitos demoduladoras deste tipo.

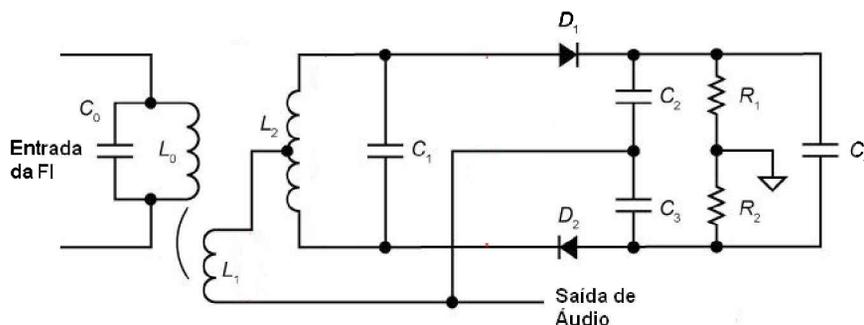


Figura 151 – Discriminador balanceado

5.5.3- Demodulação pelo Método Digital – Detector de Quadratura

Um tipo de demodulador muito usado com sinais de FM é o que se denomina detector de quadratura. Este circuito opera com base nas variações de fase que ocorrem quando a frequência do sinal varia.

O detector de quadratura inicialmente converte as variações de frequência em variações de fase empregando um circuito passa-faixa.

Em seguida, ele converte as variações de fase em variações de amplitude através de um circuito misturador. Este circuito atua como um comparador de fase.

Finalmente ele filtra as variações de amplitude com um filtro

passa-baixas, eliminando a componente de alta frequência. Na figura 152 temos um circuito detector de quadratura para receptores FM utilizando o circuito integrado CA3189E.

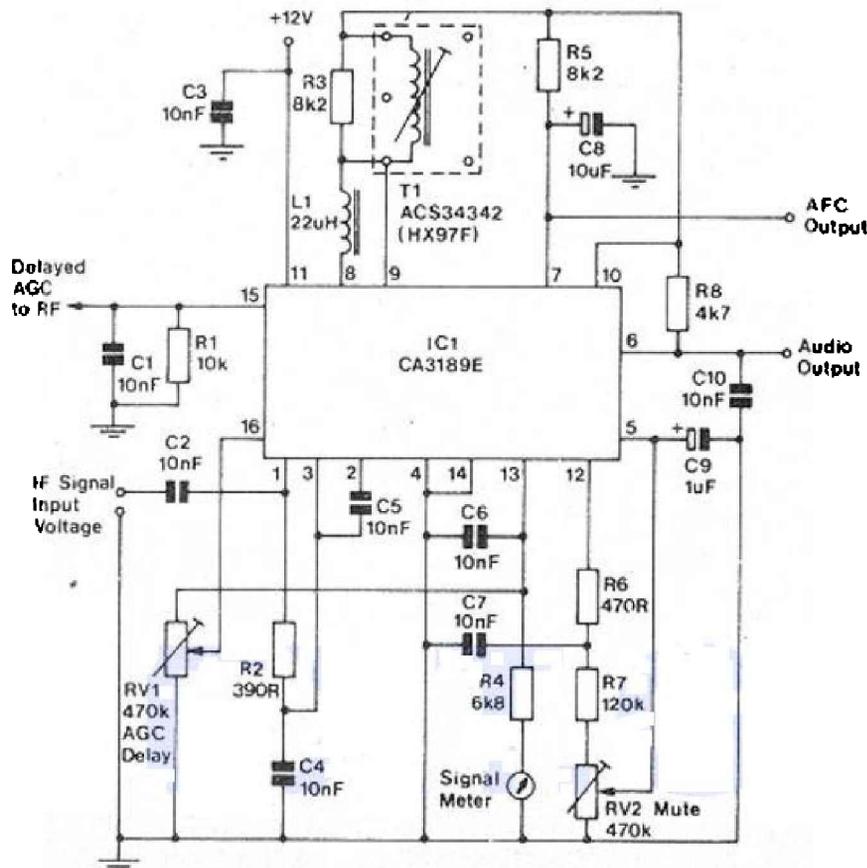


Figura 152 – Detector de quadratura com circuito integrado.

Como este, existem diversos circuitos integrados que reúnem todas as funções necessárias à decodificação de sinais estéreo. Também existem circuitos integrados para outras funções como as etapas de RF e FI e certamente não podemos esquecer os de áudio.

5.6 – FM Estéreo

As emissoras que transmitem sinais estereofônicos utilizam uma técnica denominada multiplexação. Através da multiplexação, os receptores que contenham decodificadores apropriados (decodificadores multiplex estéreo), podem separar os dois sinais para os dois canais e assim ser obtida uma reprodução estéreo.

Para que o leitor entenda como funciona o circuito que propomos neste item será conveniente analisarmos o princípio de funcionamento do sistema todo.

Assim, vamos partir do fato de que as estações de FM têm uma largura de faixa ou canal de 200 kHz. Supomos então que desejamos transmitir dois sinais de áudio de frequências diferentes, conforme mostra a figura 153.



Figura 153 – Sinais de áudio correspondentes aos canais direito (R) e esquerdo (L)

Os sinais correspondem aos dois canais de som de um sistema estéreo convencional. Vamos supor tons puros para tornar mais simples as explicações.

Para multiplexar este sinal, no codificador estéreo existe um oscilador que gera um sinal de 38 kHz, conforme mostra a figura 154.

Figura 154 – Sinal de amostragem de 38 kHz

Se usarmos este sinal para chavear os dois sinais de áudio que devem ser transmitidos, obteremos um sinal que contém na envoltória a forma de onda de cada canal (Direito e Esquerdo -R e L), conforme mostra a figura 155.

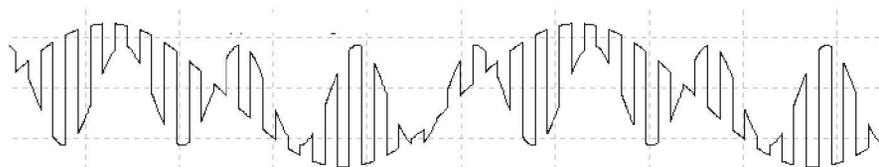


Figura 155 – Sinal resultante em que os pulsos tem sua intensidade variada de tal forma que contem tanto a informação do canal direito como esquerdo.

Como temos um sinal único, ele pode ser usado para modular a portadora da estação de modo a transmitir a informação correspondente aos sons dos dois canais de áudio.

Na figura 156 temos então o diagrama de blocos de um codificar estéreo típico.

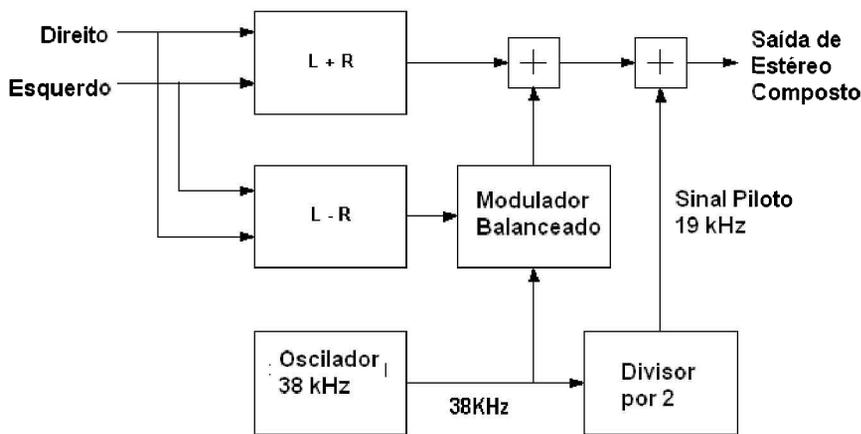


Figura 156 – Diagrama de blocos de um codificador estéreo

No transmissor temos um oscilador de 38 kHz que aplica seu sinal a um flip-flop que, ao mesmo tempo divide a frequência por 2, e produz um clock complementar, ou seja, quando uma saída está no nível alto a outra vai ao nível baixo.

Estes dois sinais complementares controlam duas chaves eletrônicas que deixam passar alternadamente partes do sinal de áudio dos dois canais, gerando o sinal amostrado que vimos na figura 155.

Assim, o que estas chaves fazem é uma amostragem muito rápida dos sinais, numa velocidade maior do que a maior frequência que podemos ouvir de modo que isso não seja percebido no receptor.

Isso significa que o sinal obtido neste circuito, na verdade, não é uma mistura dos sinais de áudio dos dois canais de som, mas sim formado por trechos de um e de outro canal, muito bem separados, conforme vimos.

O sinal obtido tem um espectro complexo que contém as informações dos dois canais e também o sinal piloto, conforme mostra a figura 157.

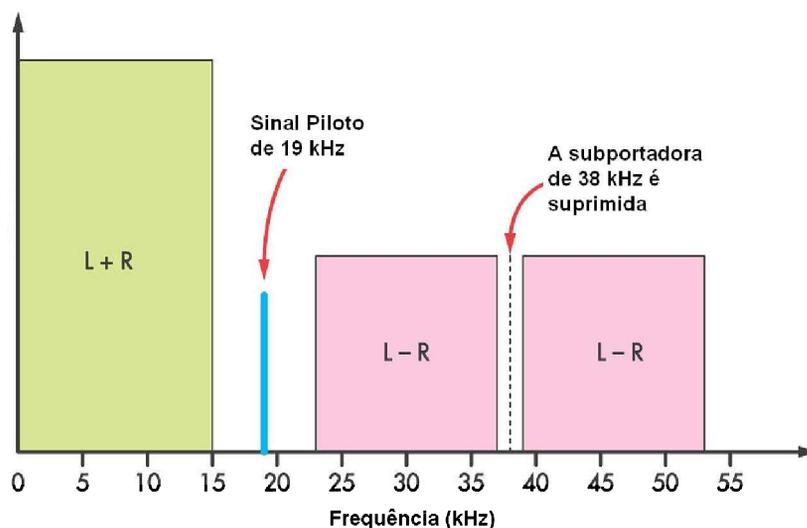


Figura 157- Espectro do sinal modulador FM estéreo

Este sinal é, portanto resultado de uma multiplexação dos sinais de entrada e como ele não é a mistura dos sons ele pode ser separado no receptor.

Num receptor comum, esta multiplexação não é reconhecida e os sinais são misturados de modo a serem reproduzidos num alto-falante único. No entanto, num receptor que tenha um circuito que decodifique este sinal, as informações podem ser separadas para os dois alto-falantes.

Para que o circuito receptor possa separar os dois sinais além do decodificador é preciso contar com um sinal capaz de sincronizar esta separação.

Este sinal de 19 kHz é transmitido juntamente com o sinal codificado e obtido a partir do próprio oscilador que controla o flip-flop do codificador.

Este sinal é denominado “piloto” e na sua presença a luz indicadora do receptor (LED) acende. Quando o LED acende é porque o circuito decodificador do receptor reconheceu que o sinal é estéreo e está funcionando no sentido de fazer sua separação.

Os decodificadores estéreo dos receptores contém então chaves que são acionadas pelo sinal piloto de modo que elas abrem e fecham deixando passar para um canal as partes do sinal que correspondem a ele, e para o outro as partes do segundo canal.

Um filtro retira a componente de alta frequência do sinal piloto de modo que ela não afete a qualidade de áudio. Nas saídas obtemos então os sinais de áudio que correspondem aos dois canais.

Na figura 158 temos um circuito típico de decodificador FM estéreo.

Rádio Digital e AM Estéreo

É possível usar processo semelhante na codificação do AM estéreo, se bem que pelo fato da faixa de canal ser bem mais estreita, a qualidade de som não será boa. Diversas sistemas para transmitir o AM estéreo foram feitas, com a implantação em algumas estações experimentais. No entanto, com a chegada do rádio digital (AM e FM Digitais) a transmissão tanto AM como FM estéreo com esta tecnologia deixa de ser usada. Na verdade, com a transmissão digital, diversos canais podem ser multiplexados com a transmissão de canais de som separados como ocorre com a TV no SAP (Second Audio Program) e até informações.

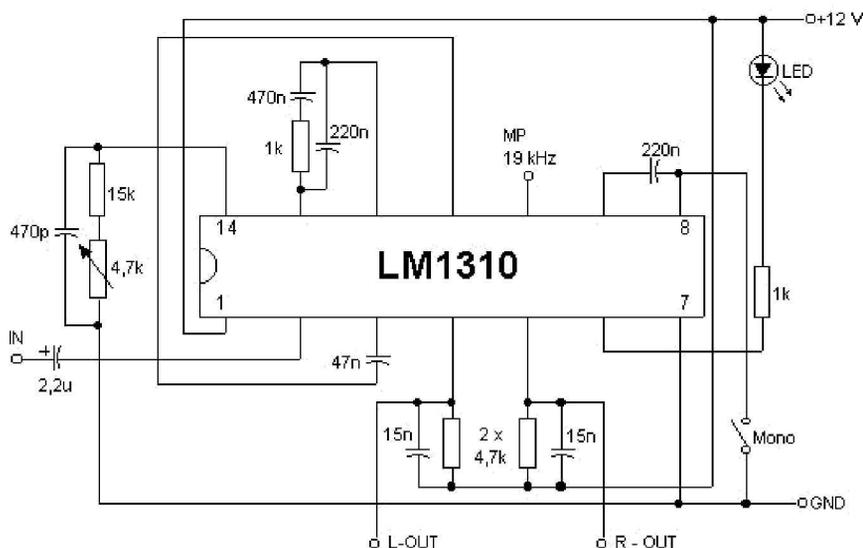


Figura 158 – Decodificador FM Estéreo com o LM1310

vel, porque quando o sinal é de 455 kHz na sintonia do AM, o transformador de FM de 10,7 MHz se comporta como uma impedância muito baixa, deixando-o passar. Por outro lado, quando o sinal é de 10,7 MHz, do FM, as FIs de 455 kHz os deixa passar sem problemas. Na figura 160 um circuito deste tipo mostrando transistores únicos amplificando FI de AM e FM.

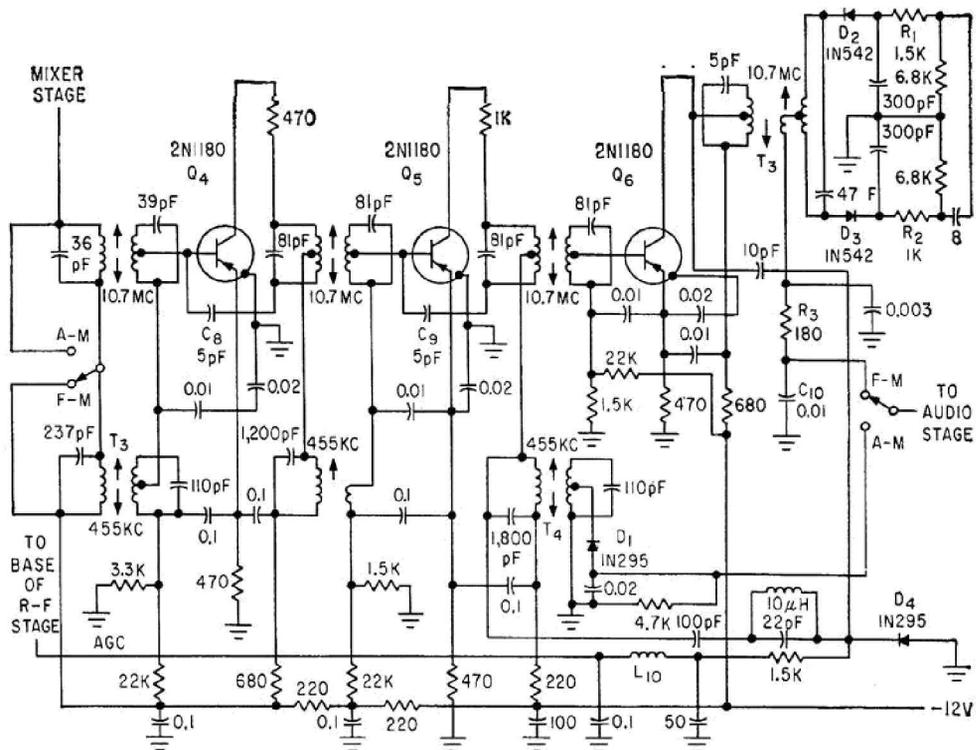


Figura 160 – FI de AM e FM

Nos receptores estéreo encontramos o decodificador que separa os sinais de áudio dos dois canais, como o LM1310 da figura 158, aplicando esses sinais a dois amplificadores separados, cuja potência depende da reprodução.

Temos então sinais de alguns miliwatts para fones de ouvidos e rádios portáteis até dezenas ou centenas de watts para aparelhos de som doméstico, automotivos e para grandes ambientes.

Reparação de Rádios

Nos cursos de reparação de rádios (técnico de rádio e TV) os circuitos de receptores de FM são analisados profundamente. O autor deste livro tem outros livros que trata do assunto e também artigos em seu site, os quais podem ser consultados por quem deseja saber mais.

QUESTINONÁRIO

1. Na modulação em frequência, o que varia numa portadora é:
 - a) Amplitude
 - b) Frequência
 - c) Velocidade
 - d) Índice de modulação

2. Se o índice de modulação de uma transmissão de FM é inferior a 0,1 rad dizemos que se trata de uma transmissão:
 - a) Monofônica
 - b) Faixa estreita
 - c) Faixa larga
 - d) SSB

3. A frequência intermediária de um receptor de FM para radiodifusão é:
 - a) 455 kHz
 - b) 10,7 MHz
 - c) 4,2 MHz
 - d) 88 MHz

4. O circuito que demodula sinais de FM recebe o nome de:
 - a) Demodulador sincronizado
 - b) Detector de envolvente
 - c) Discriminador
 - d) Decodificador multiplex

5. Para poder calcular o índice de modulação em FM precisamos:
 - a) Definir a frequência central da portadora
 - b) Definir a tensão máxima de modulação
 - c) Calcular a velocidade do sinal
 - d) Definir a largura do canal ocupado pela transmissão

6. O sinal piloto de uma transmissão estéreo tem uma frequência de:
 - a) 19 kHz
 - b) 38 kHz
 - c) 72 kHz
 - d) 10,7 MHz

Falso Estéreo

Tem sido constatada má fé de vendedores e mesmo fabricantes de rádios, e mesmo gravadores que, usando apenas um alto-falante, apregoam que seu equipamento é estéreo. Não é possível obter som estéreo com um alto-falante, pois a própria definição de som estéreo exige que existam duas fontes de som separadas, ou seja, dois fones e dois alto-falantes. E, ainda assim, dois alto-falantes sem a separação dos sinais também não é som estéreo. Para ser som estéreo os alto-falantes devem receber sinais diferentes de programas diferentes, ou seja, de dois canais separados. Não é som estéreo o equipamento que pega a saída única de um amplificador e a joga em dois alto-falantes em paralelo. Para ser som estéreo o equipamento tem de possuir dois amplificadores internos separados ou dois canais. Cuidado para não ser enganado.



» Modulação Digital

6. O que você vai aprender

Equipamentos de telecomunicações em geral, comunicação de dados sem fio (WLANs), sistemas de aquisição e monitoramento de dados são alguns exemplos de aplicações da modulação digital. Isso significa que entender como este tipo de modulação funciona é de vital importância para o profissional das telecomunicações. Neste capítulo abordaremos os principais tipos de modulações digitais utilizadas atualmente e algumas que já não são tanto, mas cujo conhecimento é importante.

6.1 – Introdução

6.2 - Técnicas de Modulação Digital

6.3 - Representações Gráficas

6.4 - Análise geral das Principais Técnicas de Modulação Digital

6.5 - AFK

6.6 - FSK

6.7 - BPSK e QPSK

6.8 - MSK

6.9 – QAM

6.10 – Taxa de erros e correções

6.11 – Outros tipos e variações

6.1. Introdução

Grande parte dos equipamentos digitais que utilizamos tem a capacidade de se comunicar uns com os outros. O computador se comunica com telefone celular, com a máquina fotográfica, com sistemas de aquisição de dados, formando uma grande rede em que todos se entendem, e tudo isso sem usar fios. As WLANs (Wireless Local Area Networks ou Redes Locais Sem Fio) são uma realidade e devem ter capacidades específicas para operar. Na figura 161 mostramos a variedade de equipamentos que podem ser comunicar utilizando sinais de rádio em redes sem fio.

Rádio Digital

Na época em que Este capítulo foi escrito já estava em testes o rádio AM digital assim como o FM, visando escolher o padrão a ser adotado em nosso país. É claro que, da mesma forma que a TV analógica teve estabelecido um prazo para a total transferência de um sistema para outro, prazo em que os dois sistemas vão coexistir, o mesmo deve ocorrer em relação ao rádio digital, pois caso contrário, isso implicaria na necessidade de se descartar imediatamente os milhões de rádios analógicos que ainda operam em nosso país. Os sistemas em teste atualmente são o IBOC e DAB.

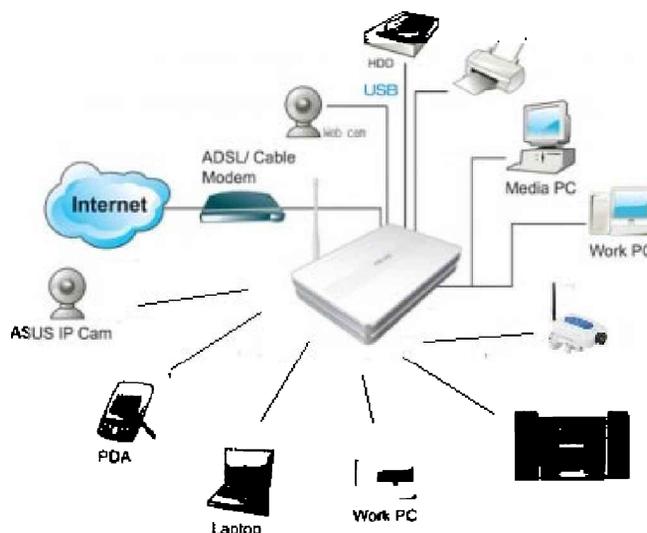


Figura 161 – Um sistema de comunicações digitais sem fio e com links por fio

Os fluxos de dados incluem sons, imagens, informações de sensores e de controle que exigem grande capacidade dos sistemas de modulação utilizados. A modulação utilizada nestes sistemas não mais pode ser a analógica que estudamos nas lições anteriores, mas deve ter características próprias para este tipo de aplicação, ou seja, deve empregar técnicas digitais.

Assim, os processos de modulação digital para sinais destas redes e para outras modalidades de maior alcance evoluíram muito, atingindo enormes capacidades de operação as quais serão justamente o assunto central deste capítulo.

As vantagens das transmissões digitais em relação as analógicas não se restringem apenas à maior velocidade. Estas transmissões ocupam de forma mais racional o espectro e têm uma imunidade muito maior às interferências de ruído.

Essas vantagens são tantas que as formas de radiocomunicações que ainda usam técnicas de modulação analógica em breve estarão sendo substituídas pelas tecnologias digitais. É o caso do rádio AM e FM que já está passando da forma analógica para a digital, com o advento da radiodifusão digital em AM e FM.

Conforme estudamos no capítulo anterior, a idéia da transmissão digital não é nova, pois podemos considerar a telegrafia uma forma de modulação digital primitiva, em que os dados são codificados manualmente através de um manipulador.

Inicialmente usando meios físicos (fios) a telegrafia passou a ser usada no rádio (CW) antes mesmo de se inventar a transmissão da voz utilizando-se a modulação em amplitude e muito tempo depois a modulação em frequência.

Inicialmente sem uma evolução grande, dado o emprego de outras modulações, a telegrafia praticamente ficou em segundo plano,

até que o advento do computador e das informações na forma digital levaram a idéia da transmissão digital a um novo nível.

Partindo então da idéia de se transmitir dígitos, e não sinais analógicos, a modulação digital se tornou importante com a criação dos modems, inicialmente operando através de meios físicos (fios).

Modem significa MODulador-DEModulador de sinais digitais, consistindo num equipamento que transformar os sinais digitais de um computador ou outro equipamento que opere com estes tipos de sinais num formato que possa ser transmitido através de um fio, de um sinal de rádio ou mesmo de luz/infravermelho, para ser transmitido através de fibras ópticas. Na figura 162 mostramos um modem sem fio que opera por sinais de rádio.

Faixas de Frequências

A quantidade enorme de dados que deve ser transmitida nos sistemas de radiocomunicações digitais exige o emprego de altas frequências. Assim, na maioria dos sistemas estaremos tratando de comunicações que modulam portadoras ou sinais na faixa dos gigahertz (GHz).



Figura 162 – Modem sem fio

6.2 - Técnicas de Modulação Digital

Conforme sabemos, os sinais digitais são formados por bits (unidades binárias), ou seja, sequências de zeros e uns. No caso de um sinal de rádio os bits devem ser transmitidos um a um em sequência, formando o que denominamos uma transmissão serial.

Os sinais devem então modular uma portadora de alta frequência de modo a ocupar uma faixa do espectro muito estreita.

Conforme estudamos nas lições anteriores, a forma mais simples de se transmitir dados digitais é através da interrupção e estabelecimento codificado de um sinal, por exemplo, como a feita na comunicação em onda contínua (CW).

É possível codificar esse sistema de modo automático e isso foi feito na prática nas antigas máquinas de teletipo, conforme mostra a figura 163;

Nestas máquinas pontos codificados por intervalos eram transmitidos por um teclado e depois reproduzidos numa máquina semelhante na estação receptora que gravava a mensagem numa fita perfurada. Evidentemente, o sistema era lento. Na figura 163 mostramos uma dessas máquinas.



Figura 163 – Uma antiga máquina de teletipo. Veja a fita perfurada do lado esquerdo.

Na figura 164 mostramos o código que era usado nestas transmissões. Um operador de teletipo experiente conseguia ler diretamente a mensagem gravada na fita.

Analógico ou digital

Veja que no fundo, para transmitir dados digitais, alteramos característica analógicas do sinal, como a fase e amplitude. Chamamos de modulação digital porque estamos transmitindo dados digitais.

Na prática são usadas diversas técnicas de modulação digital, algumas criadas há um bom tempo e já caindo em desuso e outras que ainda estão evoluindo rumo a maiores capacidades de transmissão.

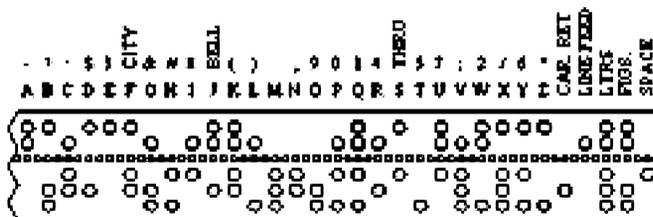


Figura 164 – Código usado nas transmissões por teletipo

Posteriormente, as máquinas foram aperfeiçoadas para digitar automaticamente numa folha de papel o texto ou mensagem correspondente, como a mostrada na figura 157. Esta máquina, conforme o nome sugere era uma “máquina de escrever a distância” ou “teletypewriter” de onde o nome “teletype” ou teletipo em português.

Na transmissão digital para que um sinal de alta frequência transporte uma sequência de bits, devemos associar o bit 1 e o bit 0 a uma ou mais característica do sinal. Essa característica do sinal deve ser alterada no transmissor e reconhecida pelo receptor.

Para isso, é interessante notar, que as características podem ser alteradas por uma modulação analógica, por exemplo, dois tons diferentes ou ainda fase e amplitude. O resultado, entretanto será uma transmissão digital.

6.3 - Representação Gráfica I/Q

A representação gráfica de um fenômeno periódico, como os que envolvem sinais, é muito importante para se obter uma visualiza-

ção mais amigável que nos ajuda a entender melhor o que ocorre.

Na modulação digital uma representação gráfica importante é a que relaciona o que ocorre com a amplitude (I) e a fase (Q).

O que ocorre é que as alterações principais que podemos fazer na modulação de um sinal de alta frequência são a amplitude, fase e frequência. No entanto também vimos que, quando alteramos a frequência de um sinal também alteramos sua fase, o que quer dizer que esses processos de modulação se confundem.

Assim, para a transmissão de sinais digitais, o que fazemos usar a amplitude (I) e a fase (Q) para a modulação, de modo que uma portadora de alta frequência transporte informações digitais.

Assim, ao representar um sinal modulado desta forma precisamos colocar nesta representação tanto a fase como a amplitude e isso pode ser feito através de um gráfico, conforme mostra a figura 165.

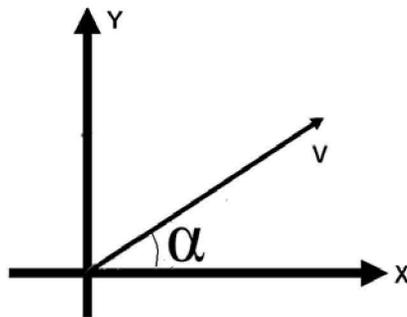


Figura 165 – Representação polar de uma modulação fase-amplitude

Nesta representação o módulo (comprimento do vetor ou da seta) representa a amplitude do sinal enquanto que o ângulo representa a fase. Esta forma de representação é denominada polar.

Na prática, entretanto, existe uma outra forma de se representar um sinal modulado em amplitude e fase. Trata-se de uma forma de representação denominada retangular. Esta forma mais usada em Telecomunicações é denominada polar e nela a coordenada do eixo horizontal (I) representa a intensidade e a coordenada do eixo y representa a fase (Q). Na figura 166 mostramos esta representação.

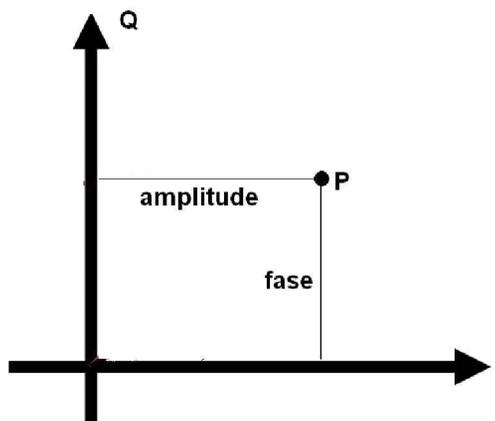


Figura 166 – Representação retangular de uma modulação fase-amplitude

Veja então que podemos associar dois níveis de amplitude para significar numa transmissão os bits 0 e 1, como mostrado na figura 167 em (a) ou podemos associar dois ângulos de fase como mostrado em (b)

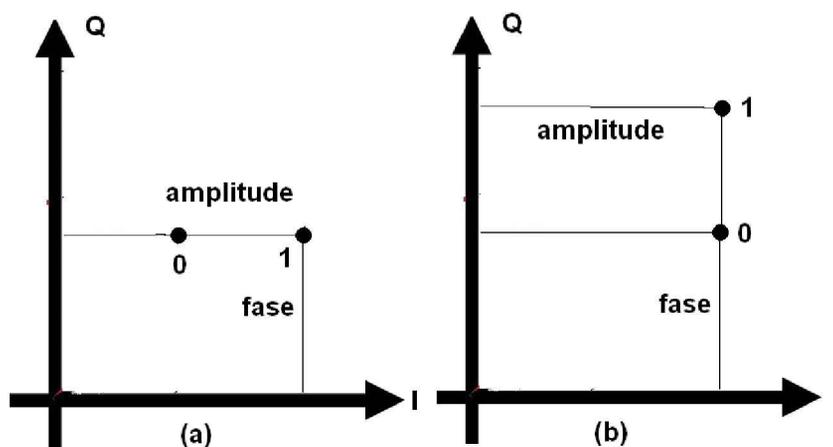


Figura 167 – Usando a modulação em amplitude (a) ou em fase (b) para transmitir os bits 0 ou 1.

Quando trabalhamos com a transmissão de sinais digitais este tipo de representação é muito importante, pois casa-se perfeitamente com os moduladores usados que são os moduladores I/Q.

Os moduladores I/Q misturam os sinais I e Q utilizando um único oscilador local e depois dele, um circuito que desloca a fase do sinal de 90°. Uma fase controla os sinais I (portadora) e a outra fase controla o sinal Q (portadora -90°).

O sinal obtido passa então por um misturador, obtendo-se então o sinal de saída de RF como mostra a figura 168.

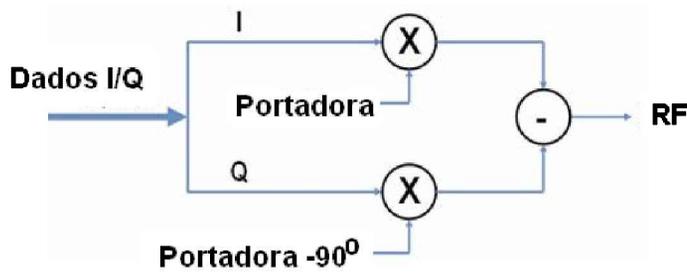


Figura 168- Um modulador I/Q.

Como os sinais obtidos estão separados por uma diferença de fase de 90° , eles são denominados ortogonais ou em quadratura. Com isso, um sinal não interfere no outro.

Observe que nos exemplos dados na figura 167, usamos apenas um dos quatro quadrantes possíveis numa representação gráfica. Neste tipo de modulação usamos dois quadrantes. Na representação vetorial desta modulação, mostrada na figura 169 fica evidente porque os sinais se encontram quadratura ou ortogonais (90°).

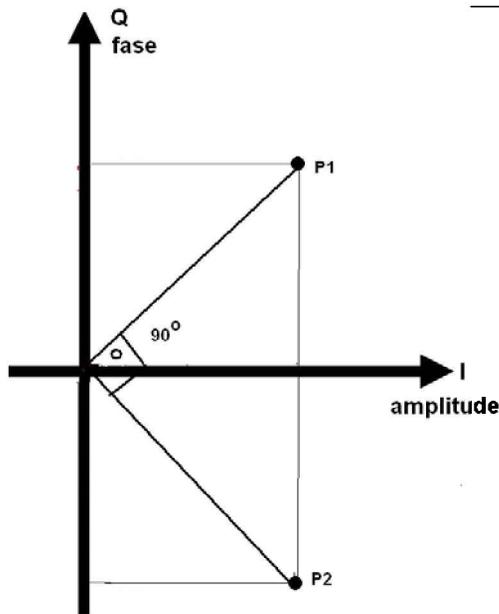


Figura 169 – Sinais em quadratura

Símbolo e Bit

Da mesma forma em que existe uma diferença entre bps e baud, também precisamos diferenciar em telecomunicações, dois termos muito usados símbolo transmitido e bits transmitidos. Um ciclo de sinal ou uma unidade de informação é um símbolo. Por exemplo, um símbolo ou um ciclo de um sinal pode carregar um ou mais bits.

Os sinais obtidos correspondem então às componentes somadas do sinal transmitido. Com isso, sinais I e Q podem ser transmitidos por uma mesma portadora, utilizando-se circuitos relativamente simples. Observe que a amplitude deste tipo de sinal se mantém constante. Modula-se apenas a fase.

Com a modulação I/Q pode-se fazer com que um ciclo de sinal carregue mais de um bit. Isso é muito importante, pois pode-se utilizar técnicas apropriadas de modulação muito eficientes pela capacidade de transmissão de muitos bits por símbolo.

Rádio e Meios físicos

As técnicas de modulação digital citadas neste item não apenas podem ser utilizadas para modular portadoras de alta frequência para transmissão via rádio como também para modular portadoras que podem ser transmitidas via meios físicos como, por exemplo, cabos e fibras ópticas

6.4 – Análise Geral das Principais Técnicas de Modulação

Para a transmissão de sinais digitais existem diversas técnicas. Nos itens seguintes estaremos estudando cada uma delas em detalhes, com suas principais aplicações. Estas técnicas são:

ASK (Amplitude Shift Keying)

FSK (Frequency Shift Keying)

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

MSK (Minimum Shift Keying)

QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Também levamos em conta que os sistemas modernos de telecomunicações, incluindo as radiocomunicações, devem ter a capacidade de transmitir informações de diversas origens ao mesmo tempo. Esta capacidade deve-se a um processo denominado multiplexação.

Estudaremos também Neste capítulo os principais sistemas de multiplexação usados na transmissão de informações digitais. Estes sistemas são:

TDMA (Time Division Multiple Access)

CDMA (Code Division Multiple Access)

6.5 - ASK (Amplitude Shift Keying)

Esta modulação, cujo acrônimo pode ser traduzido como Chaveamento por Desvio da Amplitude, altera a amplitude da portadora entre dois valores, cada qual significando um bit, 0 ou 1.

Assim, no envio de uma informação digital, os pulsos de alta frequência da portadora são chaveados, mudando de intensidade em tempos regulares, conforme o bit que vai ser transmitido. Na figura 170 mostramos um sinal deste tipo.

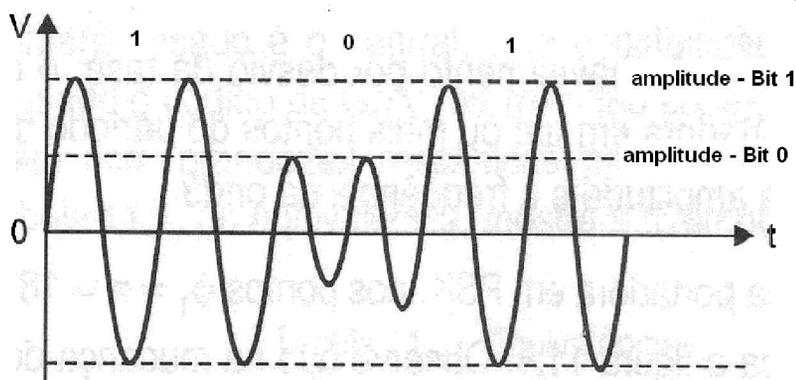


Figura 170 – Um sinal com modulação digital ASK

Uma possibilidade seria usar o nível 0 (ausência de sinal) para transmitir o bit 0, mas isso traz um problema, que é a possibilidade de introdução de ruído neste intervalo.

Veja também que são necessários pelo menos dois ciclos sucessivos do sinal para que o receptor reconheça o seu nível. Assim, a transmissão nesta modalidade é lenta.

Se usarmos uma linha telefônica, por exemplo, cuja frequência máxima transmitida é da ordem de 2 kHz, a velocidade de transmissão com este tipo de modulação estaria limitada a apenas 1 kbps.

Pela sua baixa velocidade, este tipo de modulação não é mais usado, salvo em aplicações muito especiais.

6.6 - FSK

Da mesma forma que podemos chavear a amplitude do sinal da portadora para poder transmitir os bits 1 ou 0, podemos fazer o mesmo com sua frequência. Indo um pouco além, podemos simplesmente chavear as frequências transmitidas, se quisermos usar um meio físico sem a necessidade de uma portadora.

Assim, usando uma linha telefônica, ou um cabo, chaveamos dois sinais de baixa frequência, áudio, por exemplo, conforme o bit a ser transmitido.

Este tipo de modulação foi muito usado nos primeiros tempos dos computadores, quando se desejava enviar dados ou trocar programas pela linha telefônica.

Existiam então modems que chaveavam dois sinais de áudio, um de 400 Hz e outro de 1 kHz, que representavam os bits 0 e 1, e que eram enviados através da linha telefônica. É claro que também era possível usar estes sinais para modular uma portadora e fazer a transmissão via rádio.

Alguns modems antigos até usavam um apoio para o telefone (gancho) de modo que a interface dos tons emitidos e captados era feita diretamente pelo som emitido pelo fone ou captado pelo microfone. Um sistema muito lento, mas que se adaptava aos arquivos muito pequenos que eram transmitidos na época.

Na figura 171 mostramos como a frequência do sinal é chaveada de modo a transmitir os bits 1 ou 0.

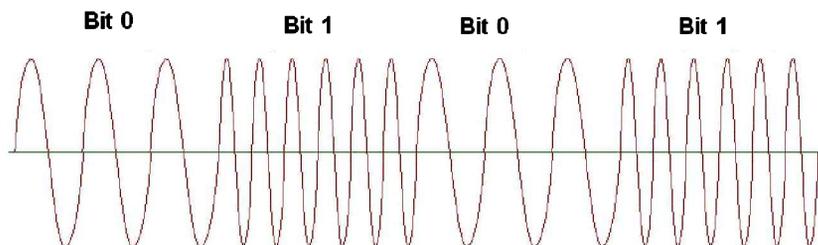


Figura 171 – Sinal modulado FSK

Veja que, para que os filtros reconhecedores de frequência usados na recepção destes sinais possam reconhecer o bit é preciso transmitir pelo menos 3 ciclos do sinal.

Gravação de Dados em Fita Cassete

Os primeiros computadores pessoais, como os MSX em nosso país, usavam esta tecnologia para gravar e obter arquivos gravados em gravadores de fita cassete, pois naquela época não existiam os discos rígidos disponíveis. Um cabo de áudio era conectado a saída de fone do gravador para transferir os sinais para o modem do computador ou então a entrada de microfone para transferir os sinais para o gravador.



Um antigo computador pessoal com o gravador cassete para “guardar” os arquivos, como jogos e dados.

Passando estes sinais por filtros é possível recuperar as informações que eles transportam, convertendo-as para a forma digital original, ou seja, níveis lógicos.

6.7 - BPSK e QPSK

BPSK é o acrônimo para Bi-Phase Shift Keying ou Chaveamento por Deslocamento de Bi-Fase. Trata-se de uma das formas de modulação digital mais simples.

Dentre as aplicações para este tipo de modulação encontramos a telemetria e as pesquisas espaciais. Nos dois casos, a quantidade de dados a ser transmitida é pequena (dados de sensores, por exemplo), não se necessitando de uma alta velocidade. É claro que nos casos em que isso ocorrer, por exemplo, na transmissão de imagens, outras formas de modulação devem ser utilizadas.

Neste tipo de modulação a fase de uma portadora de amplitude constante ocupa dois valores possíveis entre 0 e 180° num diagrama I/Q como o mostrado na figura 172. Assim, muda apenas o estado I, que pode ter duas posições diferentes no sinal modulador, conforme sua fase.

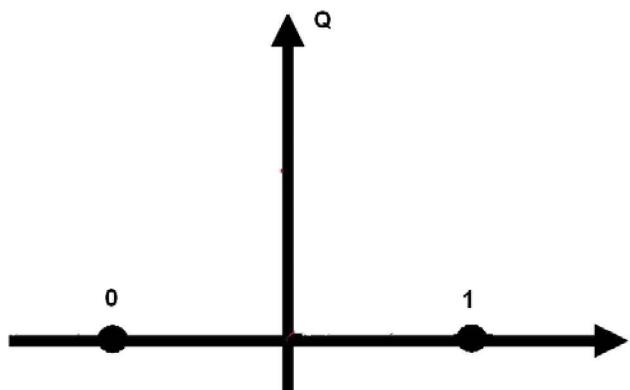


Figura 172 – Modulação BFSK

Veja então que o estado I (fase) pode assumir dois valores diferentes, conforme o bit transmitido seja 0 ou 1.

Uma forma mais avançada de se fazer a modulação digital utilizando-se os deslocamentos de fase é a QPSK ou Quadrature Phase Shift Keying ou Chaveamento por Deslocamento de Fase em Quadratura.

Por ser mais eficiente, esta forma de modulação digital é bastante utilizada em sistemas de comunicação via rádio como celulares CDMA e redes sem fio.

Neste sistema de modulação, os deslocamentos dos sinais ocorrem entre estados que estão separados por um ângulo de 90°, ou seja, em quadratura, conforme já vimos nesta mesma lição. Na figura 173 mostramos estes sinais.

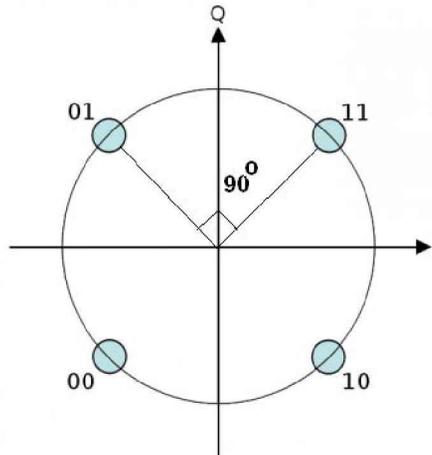


Figura 173 – Estados dos sinais digitais com modulação QSPK.

Assim, em relação ao eixo I, os sinais podem assumir ângulos de fase de 45, 135, -45 e -135 graus.

Como temos quatro estados diferentes para o sinal em cada símbolo, com este sistema podemos transmitir dois bits de cada vez. Obtemos então uma velocidade duas vezes maior do que a que se consegue com o BFSK.

Veja também que se considerarmos que a portadora é um sinal senoidal, o chaveamento é feito em quatro pontos diferentes da senóide, conforme mostra a figura 174.

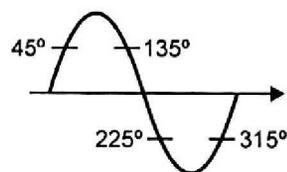


Figura 174 – O chaveamento ocorre em três pontos diferentes da senóide

Na figura 175 mostramos um sinal obtido por este tipo de modulação. Observe as transições rápidas da senóide em determinados instantes.

Trigonometria

O leitor que está acompanhando este curso deve estar percebendo que entender um pouco de trigonometria (medida de ângulos e medidas num círculo) é muito importante para que os processos de modulação também sejam compreendidos. A matemática para eletrônica é muito importante neste caso.

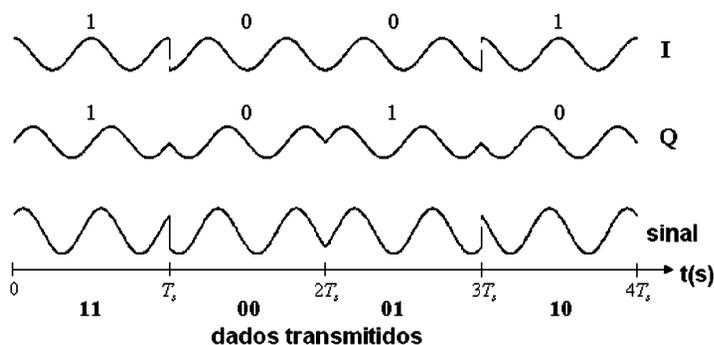


Figura 175 – Um sinal QSPK

6.8 - MSK

MSK significa Minimum Shift Keying ou Chaveamento por Deslocamento Mínimo.

Conforme estudamos, quando mudamos a frequência de um sinal FSK, ocorre também um avanço ou retardo da fase dos sinais. Isso significa que podemos detectar os desvios de fase por uma amostragem de fase de cada símbolo que seja transmitido.

Para detectar os deslocamentos de fase de $(2N + 1) p/2$ podemos usar um demodulador I/Q, conforme mostra o diagrama de blocos da figura 176.

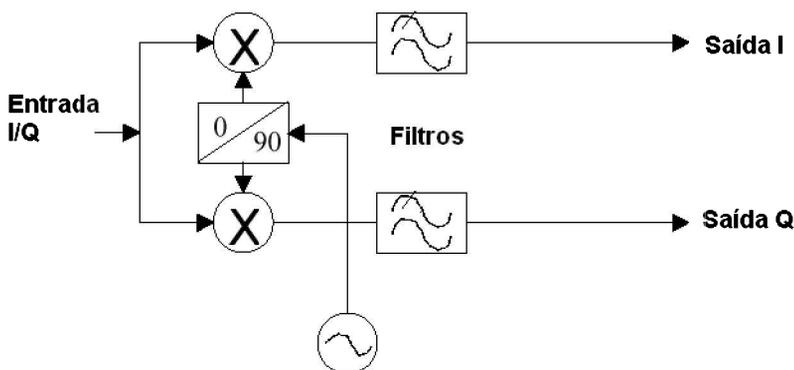


Figura 176 – As saídas deste circuito são aplicadas a conversores A/D

Quando os símbolos ímpares são transmitidos, muda a polaridade do canal I e quando os símbolos pares são transmitidos, muda a polaridade do sinal Q.

Com isso temos uma ortogonalidade de dados entre I e Q, o que facilita a detecção e até reduz o consumo dos receptores. Nas comunicações móveis e em GSM, este processo de modulação é utilizado.

Conforme vimos, os processos de modulação digital FSK e MSK geram sinais com amplitude constante, o que é importante para se obter maior eficiência dos equipamentos de transmissão. Além disso, na modulação MSK temos uma ocupação melhor do espectro, pois estes sinais ocupam uma faixa mais estreita do que a obtida na modulação FSK.

Isso ocorre porque transições rápidas de sinal tendem a ocupar um espectro mais largo. Uma forma de se estreitar o espectro ocupado por um sinal digital é através do chamado filtro Gaussiano. Este filtro recebe este nome por ter uma curva de resposta semelhante à curva de Gauss, conforme mostra a figura 177.

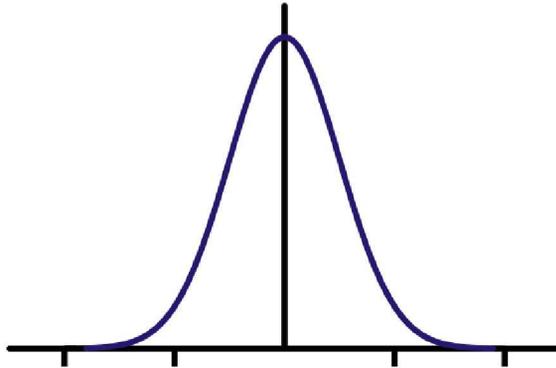


Figura 177 – Curva de Gauss

Ocupar menos espaço no espectro é um requisito muito importante para os sistemas de comunicações atuais, dado que o congestionamento é cada vez maior.

6.9 -QAM

QAM é o acrônimo para Quadrature Amplitude Modulation (Modulação em Amplitude em Quadratura). Trata-se de uma outra forma de modulação digital muito importante em nossos dias.

Encontramos aplicações para esta modulação como o rádio digital por microondas, vídeo digital por cabo e outras. A modulação QAM pode ser encontrada em diversas variações.

Este tipo de modulação também é conhecido por AMPSK ou modulação combinada de amplitude e fase. Como podem ser transmitidos diversos bits por símbolo, também é chamado M-QAM onde o M é um número múltiplo de 2 como 4, 8, 16, 36, 64, etc.

Num primeiro caso podemos citar a modulação QAM de 16 estados ou 16QAM que permite a transmissão de 16 símbolos diferentes com 4 estados de fase (Q) e quatro estados de amplitude (I) diferentes, conforme mostra a figura 178.

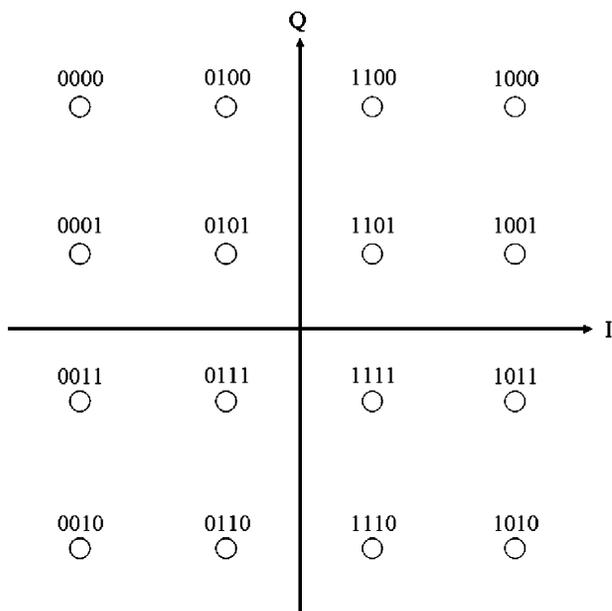


Figura 178 – Os bits transmitidos pela modulação 16 QAM

Esta forma de representação, em que colocamos num gráfico os diversos bits que podem ser transmitidos na modulação digital, recebe o nome de diagrama de constelação. Na figura 171 temos um diagrama de constelação retangular, mas podemos também fazer a representação dos estados do sinal através de um diagrama de constelação polar, conforme mostra a figura 179;

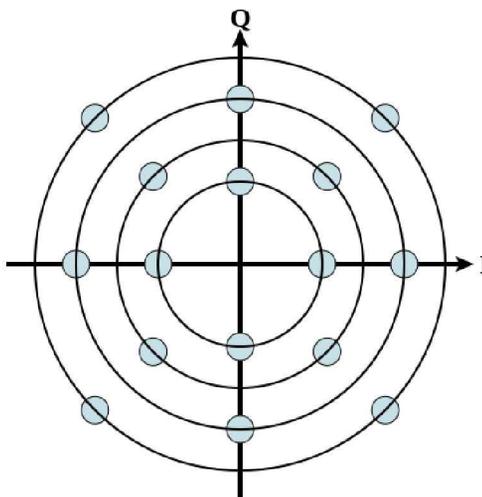


Figura 179 – Diagrama de constelação polar para a 16QAM

Conforme podemos ver por esta figura, cada estado pode significar 4 bits o que resulta na possibilidade de transmitirmos de 0000 a 1111 num mesmo ciclo de sinal.

Numa forma natural de se fazer a transmissão desses sinais, os valores decimais passariam de um para outro sucessivamente conforme a contagem binária.

No entanto, para se obter um melhor desempenho, podemos utilizar o código Gray

Decimal	Natural	Gray
1	0000	0000
2	0001	0001
3	0010	0011
4	0011	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1110
14	1110	1001
15	1111	1000

Código Gray

A grande vantagem do código Gray é que na passagem de um valor para outro sucessivo ou antecedente apenas um bit ou dígito muda. A tabela que vimos fornece as representações nesse código para os decimais de 0 a 15. Por exemplo, na passagem de 11 para 12 muda apenas o segundo dígito, enquanto que no código binário mudam três dígitos (segundo, terceiro e quarto). Em telecomunicações ou no controle de máquinas e outras aplicações em que é importante a quantidade de dados enviados em cada instante, indicar apenas uma mudança de dígito é uma vantagem, daí a ampla utilização do Código de Gray nestes campos.

Observação: a modulação QSPK é equivalente a 4QAM.

Indo além podemos falar na modulação 32QAM, Neste caso, temos 6 valores de I e seis valores Q que resultam em 6 x 6 combinações possíveis.

No entanto, o valor mais próximo de 36 que é uma potência de 2 é 32, na prática o que se faz é não utilizar os 4 valores de I/Q que ficam nos extremos de cada quadrante, conforme mostra a figura 180.

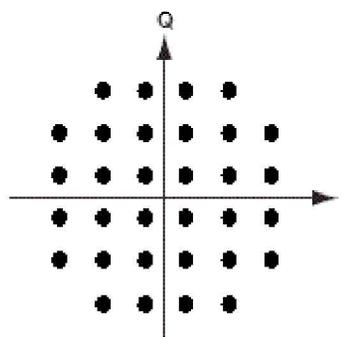


Figura 180 – Diagrama retangular de constelação da modulação 32QAM

Com esta modulação é possível transmitir 5 bits por símbolo, ou seja, de 00000 a 11111, o que representa a possibilidade de se multiplicar a velocidade de uma transmissão por 5. O diagrama de constelação com as posições dos símbolos transmitidos é dado na figura 181.

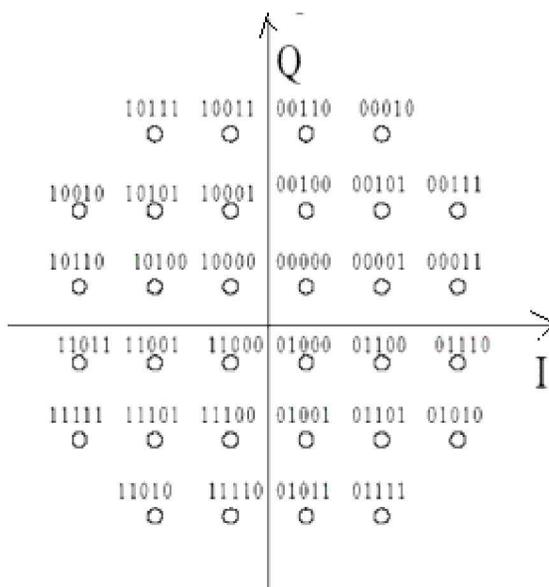


Figura 181 – Diagrama de constelação 32QAM com os símbolos transmitidos

Podemos ter ainda mais bits por símbolo na modulação 256QAM, conforme mostra a figura 182.

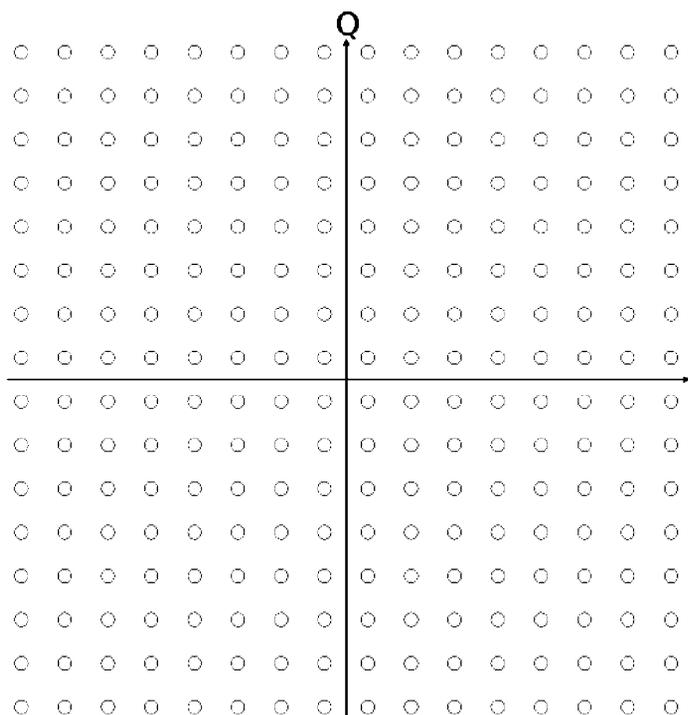


Figura 182 – Modulação 256QAM

Modulações 512QAM e 1024QAM são possíveis, mas na prática existem sérios problemas para sua implementação. A proximidade das intensidades e fases torna difícil sua detecção nos receptores.

Na prática quanto maior for o aproveitamento de uma faixa de radiocomunicações, melhor será o sistema.

Desta forma a eficiência de um sistema de comunicações que utilize modulação digital pode ser avaliada pela faixa que ela ocupa no espectro de transmissão para uma certa quantidade definida de dados.

A título de comparação, enquanto uma modulação BPSK envia 80 k símbolos por segundo (80 ksym), com apenas um bit por símbolo, o sistema 256QAM envia 8 bits por símbolo na mesma velocidade de 80 ksym ocupa 1/8 da faixa, sendo portanto 8 vezes mais eficiente.

6.10– Taxa de Erros e Correções

Os meios através dos quais os sinais devem ser enviados não são perfeitos, assim como os sistemas receptores e com isso, erros podem ocorrer. Um sistema pode perfeitamente reconhecer um bit 0 como 1 e vice-versa, acarretando assim erros.

No caso das transmissões de dados por sinais de rádio, estes problemas podem ocorrer devido a ruídos, interferências, reflexões dos sinais, levando as ondas a terem percursos múltiplos, conforme estudamos nas lições iniciais deste curso.

Nos receptores a finalidade dos circuitos é fornecer em sua saída os níveis lógicos correspondentes aos bits 1 e 0 que estão sendo recebidos, mas nem sempre isso pode ser feito com precisão. Assim, conforme mostra a figura 183, existe uma zona de indefinição onde não se pode prever que bit vai ser interpretado pelo circuito.

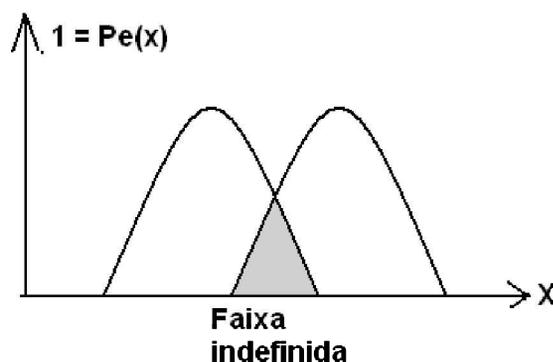


Figura 183 – Área de probabilidade de indução de erros na recepção de um bit

Para indicar a taxa de erros em bits ou BER (bit error rate) em valores relativos utiliza uma representação na forma de uma potência negativa, conforme a seguinte relação:

$10^{-1} = 1:10$ – um erro em cada 10 bits recebidos

$10^{-2} = 1:100$ – um erro em cada 100 bits recebidos

$10^{-3} = 1:1000$ – um erro em cada 1 000 bits recebidos

$10^{-4} = 1:10\ 000$ – um erro em cada 10 000 bits recebidos....

Dada a impossibilidade de se evitar o aparecimento de erros nas transmissões, algumas técnicas permitem fazer sua correção. São utilizados então corretores de erros. O corretor de erro é um código que aplicado aos bits transmitidos permite saber se houve erro na sua transmissão e eventualmente fazer sua correção.

Desta forma, o que se faz é dividir o fluxo de dados em segmentos e em cada segmento introduzir códigos que possam servir para a verificação da transmissão. Os códigos de correção se baseiam em algoritmos de grande complexidade, os quais determinarão não só a integridade dos dados transmitidos, como também sua segurança.

São estes códigos que verificam se o número que você digitou ao pagar um boleto na internet está correto ou não, dando uma mensagem de erro se necessário.

Basicamente existem três tipos de códigos de correção. Os códigos de bloco, cíclicos e convolucionais. Alguns códigos bastante utilizados recebem nomes específicos como o Reed Solomon (RS), Hamming, Viterbi, BCH e outros.

Os leitores que desejarem se aprofundar no conhecimento desses códigos devem dominar bem a matemática e procurar literatura específica.

6.11 - Variações dos Tipos de Modulações

Existem processos de modulação que consistem em variações dos tipos que estudamos. A seguir vamos estudar alguns deles.

Os tipos de modulação estudados apresentam algumas variações que passamos a estudar.

6.11.1 - Offset QPSK

Este tipo de modulação digital é empregado na telefonia celular CDMA (Code Division Multiple Access no link entre a estação móvel e a estação rádio-base (ERB). A diferença em relação ao QPSK é que neste os bits I e Q são comutados simultaneamente.

No Offset QPSK os sinais correspondentes a I e Q são deslocados de 1 bit um em relação ao outro. Não é usada a modulação em amplitude. A representação destes sinais num diagrama de constelação é mostrada na figura 184.

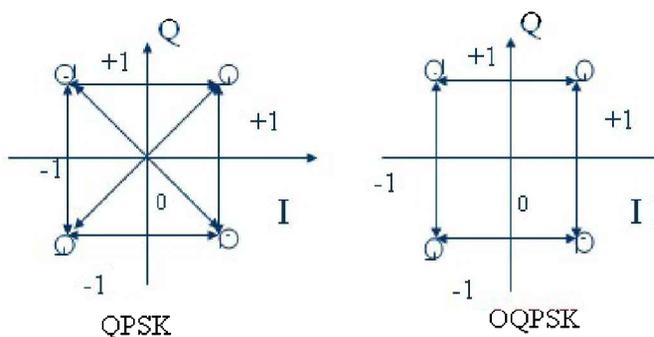


Figura 184 – Diagrama de constelação para o Offset QPSK (OPSK) comparado ao QPSK

As setas indicam como os sinais são manuseados. Veja que no OPSK as transições são mais curtas, o que significa um melhor aproveitamento da potência do transmissor.

6.11.2 - Modulação diferencial

Esta forma de modulação digital derivada do QPSK é a DQPSK ou Modulação diferencial. No caso, o termo diferencial é aplicado para significar que a informação não é transportada pelo estado absoluto dos sinais mas sim pela transição entre os estados.

Exemplo deste tipo de modulação é a $\pi/4$ DQPSK onde a trajetória dos sinais não passa pela origem, conforme mostra a figura 185.

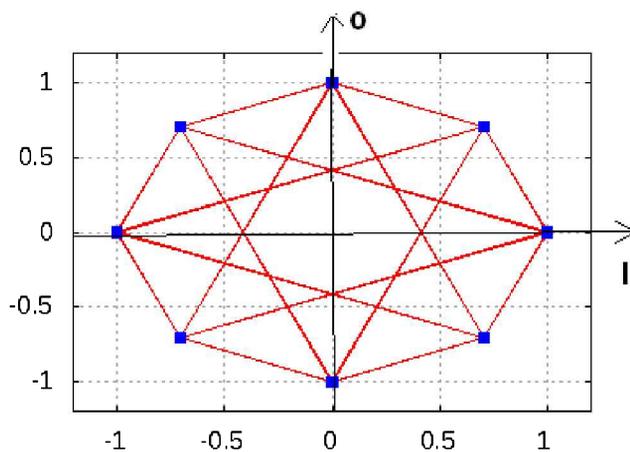


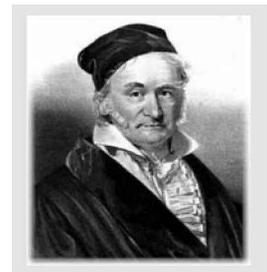
Figura 185 – Diagrama de constelação da DQPSK

As linhas que unem os estados representam as transições de sinal.

Esta modulação é usada em alguns sistemas de telefonia celular, telefones sem fio e sistemas de comunicação comerciais.

Gauss

As descobertas matemáticas de Gauss são hoje utilizadas em uma infinidade de aplicações práticas, incluindo as telecomunicações. Johann Carl Friedrich Gauss foi um matemático, astrônomo e físico alemão que trouxe enormes contribuições à ciência, ajudando no entendimento de fenômenos elétricos e também no campo da matemática. Com apenas 7 anos de idade foi considerado um prodígio em matemática, conseguindo realizar cálculos matemáticos complexos “de cabeça”. Com apenas 18 anos descobriu o modo de determinar quando equações quadráticas podem ser resolvidas.



Johann Carl Friedrich Gauss
(1777 - 1855)

Termos para pesquisar :

- Telegrafia
- Modem
- Telefone celular
- Rádio digital
- TV digital
- Redes sem fio
- WMAX
- Redes

Questionário

1. O telégrafo inventado por Morse transmite informações ou dados. Neste sistema de comunicações podemos dizer que é utilizada uma modulação:

- a) Analógica
- b) Não há modulação
- c) Digital
- d) Em amplitude

2. Os sinais modulados digitalmente são normalmente representados por um gráfico I/Q. Nesse gráfico a projeção do vetor no eixo Q representa: que grandeza?

- a) Bit
- b) Intensidade
- c) Fase
- d) Frequência

3. Quantos bits por símbolo podem ser transmitidos na modulação digital 256 QAM?

- a) 8
- b) 16
- c) 64
- d) 256

4. Que característica do sinal é usada para detectar o sinal na modulação MSK?

- a) A amplitude
- b) A largura do espectro
- c) A frequência
- d) O deslocamento de fase

6) Na indicação da taxa de erros BER o valor 10^{-3} significa:

- a) 1 erro a cada 10 bits
- b) 10 erros a cada 100 bits
- c) 1 erro da cada 1000 bits
- d) 3 erros a cada 1 000 bits



» Multiplexação e Divisão do Espectro

7. O que você vai aprender

Depois de estudarmos os diversos processos de modulação analógica e digital nos capítulos anteriores, passamos agora a analisar como é possível enviar diversas informações de fontes diferentes simultaneamente por um único canal. O processo de multiplexação pode ser realizado com diversas tecnologias. Também veremos como é possível empregar tecnologias que maximizam o uso do espectro, como hoje ocorre em serviços como a telefonia celular, GPS, e outros. Este capítulo terá os seguintes itens.

- 7.1 – Introdução
- 7.2 - Multiplexação
- 7.3 - Multiplexação por divisão de frequência - FDM
- 7.4 - Multiplexação por divisão de tempo – TDM
- 7.5 - Multiplexação por código
- 7.6 - Multiplexação geográfica
- 7.7 - Espectro espalhado
- 7.8 - Pacote de rádio

7.1 - Introdução

Com o aumento do número de serviços e de equipamentos as telecomunicações, e conseqüentemente as transmissões nas faixas de rádio, estão tornando o espectro de rádio disponível cada vez mais congestionado. A ocupação das faixas disponíveis está praticamente no limite, o que exige uma maximização do aproveitamento de qualquer serviço que as utilize.

Isso significa uma preocupação muito grande com o tipo de tecnologia que os equipamentos de radiocomunicações utilizam, a escolha de melhor faixa e os recursos que devem ter.

Além das tecnologias de modulação que estudamos nos capítulos anteriores, que possibilitam uma transferência de dados em grande

ANATEL

No Brasil, o gerenciamento do espectro é realizado pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) que regulamenta e fiscaliza o uso de todo o espectro eletromagnético de rádio e, portanto, todos os serviços de radiocomunicações.

quantidade nos canais disponíveis, técnicas de multiplexação também são adotadas.

Com o uso de faixas de frequências cada vez mais altas, com canais cada vez mais estreitos, temos ainda a possibilidade de se usar um único canal para a transmissão de diversas informações simultaneamente. Os canais muito estreitos trazem ainda a possibilidade de operação sem que um sistema interfira no outro e maior integridade da transmissão com melhor aproveitamento da potência dos transmissores.

O assunto deste capítulo será a multiplexação, que é a tecnologia que permite transmitir diversos fluxos de informação por um mesmo canal e, além disso, o modo de se aproveitar ao máximo o espectro com o uso de canais estreitos e o espalhamento das transmissões por uma região do espectro de maneira controlada.

7.2. Multiplexação

Para transmitir a palavra falada uma largura de faixa que vai de 300 Hz a 3 400 Hz é suficiente. Isso é atendido perfeitamente pelas linhas de transmissão convencionais e mesmo pelos sistemas sem fio mais simples.

No entanto, a evolução dos sistemas de comunicação fez com que muito mais do que a simples palavra devesse ser transmitida.

O mesmo é válido para outros tipos tradicionais de comunicações que podem enviar apenas um fluxo de informações do transmissor ao receptor, conforme mostra a figura 186

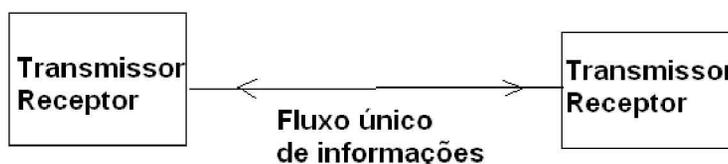


Figura 186 – Por um canal convencional passa apenas um fluxo de informações.

A largura do canal, no caso das radiocomunicações, deve ser tanto maior quanto mais complexa for a informação ou maior a velocidade da transmissão.

Vimos nas lições anteriores que um canal de rádio para a faixa de AM exige uma largura de faixa de 10 kHz, enquanto que um canal de TV analógica, exige pelo menos 6 MHz de largura de canal. Essa largura, para o caso da TV, depende do padrão adotado.

Numa primeira fase, a preocupação inicial foi a de se utilizar um mesmo canal ou linha telefônica para transmitir, ao mesmo tempo, diversas conversas telefônicas, sem que seus sinais se misturassem. O processo segundo o qual isso pode ser feito é denominado Multiplexação.

No transmissor, os sinais de diversas fontes de informações ou canais são combinados sem, entretanto, se misturar. Estes sinais são então enviados através de um meio único ao receptor. O meio pode ser físico como cabos ou fibras ópticas como não físico, como as ondas de rádio.

Este processo é denominado multiplexação e é feito por um circuito denominado multiplexador ou multiplexer abreviado por MUX. Para separar os sinais no receptor existe um circuito denominado demultiplexador ou DEMUX. Os sinais podem então ser utilizados na sua forma original, cada qual enviado para o circuito que deve processá-los.

Existem diversas técnicas para se multiplexar e demultiplexar um sinal, ou seja, fazer com que ele transporte diversas informações de canais diferentes sem que elas se misturem e depois poder separá-las, conforme mostra a figura 187.

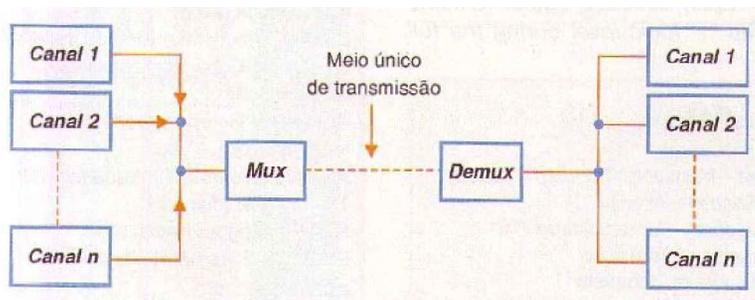


Figura 187 – Transmitindo diversos fluxos de informações por um mesmo canal físico ou de rádio.

Analisemos as duas principais técnicas usadas para essa finalidade:

7.3 - Multiplexação por Divisão em Frequência ou FDM

Este tipo de multiplexação foi muito usado nos anos 80 quando os primeiros sistemas telefônicos se tornaram digitais. Também denominada MUX FDM, onde o FDM significa Frequency Division Multiplex ou Multiplexação por Divisão de Frequência, ela não mais é usada em nossos dias.

Com ela os sinais são modulados e distribuídos ao longo do espectro de frequências utilizadas para o canal.

Podemos entender melhor como funciona este tipo de multiplexação supondo que devemos transmitir três conversações ou canais de áudio telefônicos convencionais (faixa de 300 a 3400 Hz) usando apenas uma linha telefônica comum.

Neste processo, mostrado na figura 188, transmitimos o primeiro canal em sua faixa de frequências original.

Meios físicos e rádio

Lembramos que os processos de multiplexação dos sinais são usados na transmissão tanto por meios físicos (cabos e fibras ópticas) como também por rádio.

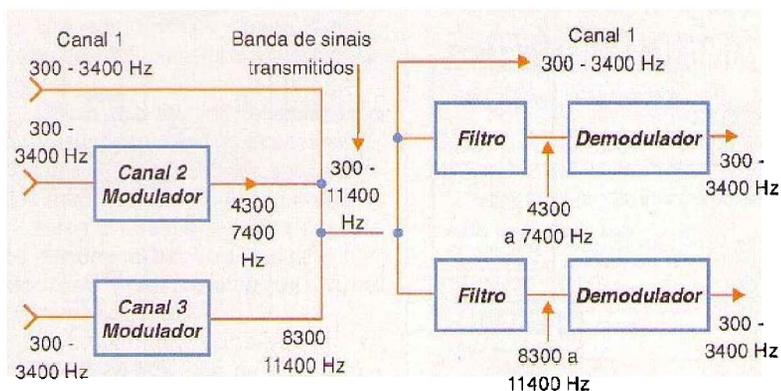


Figura 188 – O processo de multiplexação MUX FDM

Os sinais dos outros dois canais são levados a dois moduladores que modificam sua faixa de frequências num processo denominado translação (em inglês – translators). Dessa forma, esses sinais passam a ocupar uma outra faixa de frequências, conforme mostra a mesma figura 188.

Isso significa que temos três faixas ocupadas no espectro. Enquanto o primeiro sinal ocupa sua faixa normal de 3 a 3 400 Hz, podemos deslocar o segundo sinal para a faixa de 4 300 a 7 400 Hz e o terceiro canal para a faixa de 8 300 a 11 400 kHz. A figura 189 mostra o que ocorre.

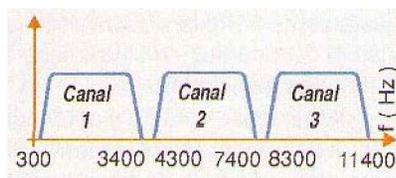


Figura 189 – As faixas de frequências ocupadas pelos três canais

Observe que as faixas não devem “encostar” uma nas outras, pois isso poderia causar problemas de reconhecimento dos filtros dos receptores, cuja função é fazer a separação dos sinais.

O resultado final do processo é que o sistema passa a operar numa faixa de frequências de 300 Hz a 11 400 Hz, mas pode transmitir informações de 3 canais diferentes.

A separação dos três canais no receptor pode ser feita através de filtros demoduladores, conforme mostra a figura 190.

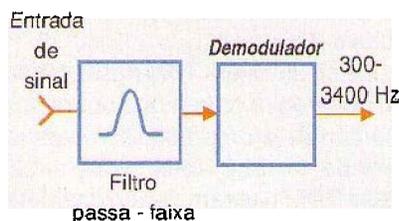


Figura 190 – Para recuperar os sinais no receptor são usados filtros demoduladores.

Veja que na saída de cada filtro temos uma faixa de frequências que corresponde à do sinal original, assim o demodulador traz de volta o sinal a sua faixa original de 300 a 3 400 Hz.

No exemplo dado temos a transmissão de três canais de informações (voz), no entanto, se o meio usado usar uma largura de faixa maior, poderemos transmitir mais canais.

7.4 - Multiplexação por Divisão em Tempo ou TDM

Nesse sistema de multiplexação, são determinadas “janelas” de tempo que são alocadas para os sinais que devem ser amostrados e transmitidos.

Cada canal tem então uma pequena janela de tempo para inserir a informação que deve ser transmitida. O número de janelas depende da quantidade de canais que deve ser multiplexada. Na figura 191 mostramos como isso é feito.

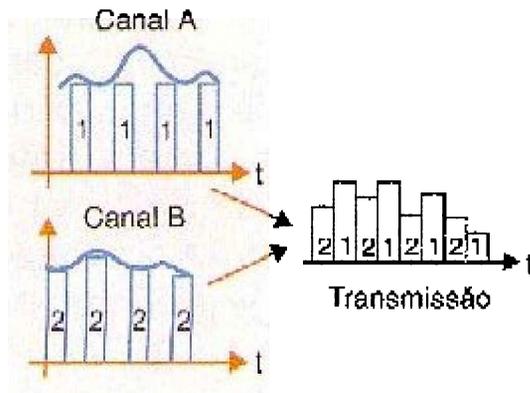


Figura 191 – Dividindo o tempo de transmissão entre dois canais.

Para entender como ele funciona, vamos imaginar de forma simplificada que desejamos transmitir apenas dois sinais de áudio por uma mesma portadora ou canal, conforme mostra a figura 192.

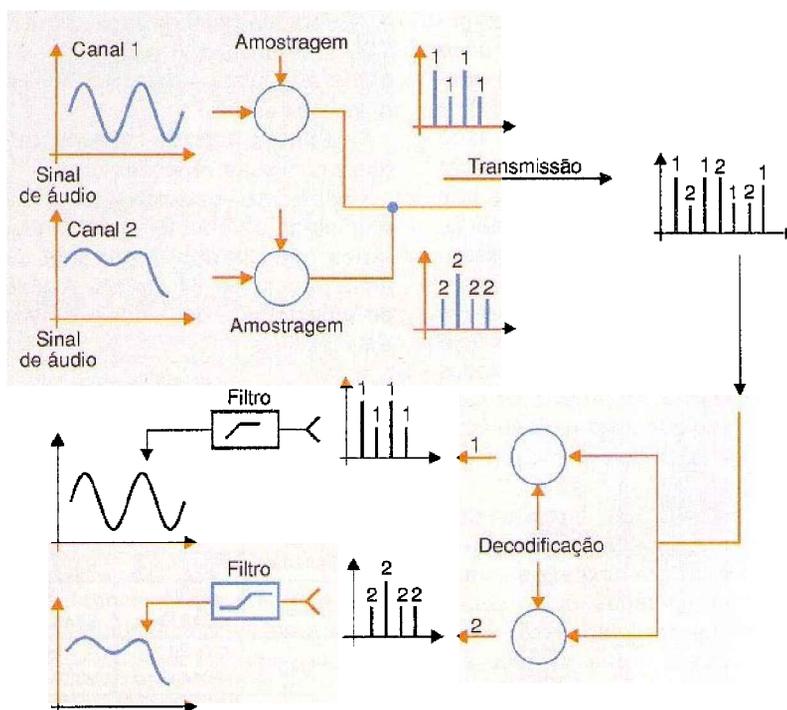


Figura 192 – Transmitindo dois canais de áudio

Os dois canais são levados a um circuito de chaveamento ou porta de canal. Esses circuitos consistem em chaveadores que abrem e fecham a passagem do sinal de modo alternado.

Quando o circuito abre para o canal A por um instante, seu sinal passa e pode ser transmitido. Quando o circuito abre para o canal B, o sinal passa e ele é transmitido.

Assim, conforme mostra a figura 193, o sinal transmitido é formado por “pacotes” de sinal alternados correspondentes às informações contidas nos canais A e B.

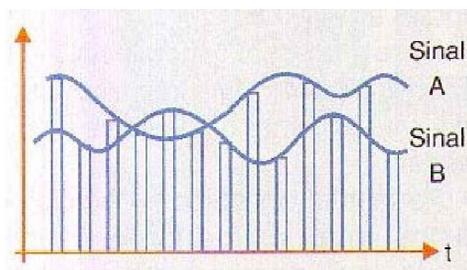


Figura 193 – A amostragem dos dois canais

Veja que esses pacotes nada mais são do que os valores instantâneos do sinal que está sendo transmitido no instante em que a chave é a aberta, ou seja, consiste numa amostragem desse sinal. A transmissão desse valor amostrado pode ser feita diretamente na forma analógica.

Depois disso, podemos comprimir a informação digital que corresponda ao tempo que precisamos para a amostragem de todos os

canais no tempo que corresponda a um único canal, conforme mostra a mesma figura.

Em outras palavras, comprimimos a informação de um tempo T que corresponda a um ciclo completo de amostragem de todos os canais, no tempo t que precisamos para transmitir um único canal. Fazemos então a transmissão desse sinal.

Vem depois um circuito que obtém a informação digital comprimida e a expande para que ela ocupe o tempo total original, sem perdas. Para recuperar o sinal no lado receptor é preciso haver um sincronismo perfeito do circuito para que ele saiba qual pacote pertence ao canal A e qual pacote pertence ao canal B.

Na figura 194 mostramos os blocos de um circuito típico usado no lado receptor, para a separação dos sinais multiplexados através desta técnica.

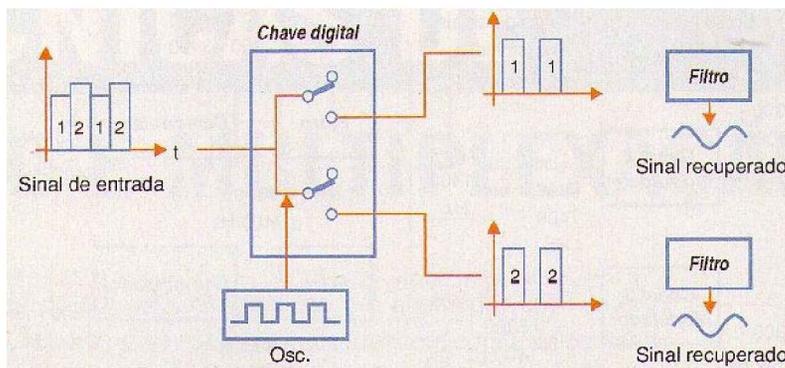


Figura 194 – Blocos de um receptor multiplex TDM

Diversas técnicas são adotadas para se fazer a inclusão desse sinal de sincronismo no sistema.

Na prática, não apenas dois canais podem ser multiplexados num canal de comunicações, mas até mesmo centenas, como ocorre na telefonia celular.

Isso exige que a velocidade de chaveamento dos circuitos multiplexadores seja extremamente elevada o que implica em ocupar uma faixa larga no espectro.

Vamos analisar melhor as especificações adotadas por este tipo de multiplexação que são padronizadas.

As entradas do multiplexador formam o que se denomina janela e o conjunto de janelas associadas aos canais é denominado quadro. Um conjunto de quadros é denominado multiquadro

Podemos multiplexar canais que já tenham previamente multiplexados no tempo. Assim, as entradas do multiplexador de ordem superior são denominadas tributários, como uma analogia aos rios em que rios menores formam um rio mais caudaloso

Os tributários são agrupados em quadros que possuem uma taxa de transmissão mais elevada, pois reúnem um maior número de canais de informação multiplexadas.

Veja que toda esta transmissão multiplexada exige um perfeito sincronismo do sistema para controlar a posição dos sinais no tempo.

Os instantes em que o receptor chaveia cada pacote de transmissão deve ser absolutamente o mesmo em que o transmissor o envia, para que cada “pacote” de informação, seja recuperado sempre no mesmo canal. Um simples erro de chaveamento neste sistema faria com que as informações fossem misturadas.

Para que tenhamos um sincronismo perfeito é utilizado um circuito de clock centralizado ou master clock. A Hierarquia dos sinais TDM é padronizada em cinco categorias pela CCIT: da primeira à quinta ordem.

No entanto, hoje convivem as padronizações americanas, europeias e japonesas, sendo a adotada no Brasil a europeia, conforme mostra a figura 195.

O critério de Nyquist determina que não podemos amostrar um sinal com uma frequência menor do que duas vezes a do sinal, de modo a manter sua integridade.

	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
USA	24	96	672	4032	—
Canadá	1544 kbps	6312 kbps	47736 kbps	274176 kbps	—
Brasil	30	120	480	1920	—
	2048 kbps	8448 kbps	34368 kbps	139664 kbps	—
Japão	24	96	480	1440	5780
	1544 kbps	6312 kbps	32064 kbps	97728 kbps	397200 kbps

Figura 195 – As padronizações deste sistema

Neste sistema os tributários trabalham com uma taxa de amostragem de 64 kbits/s num total de 30 canais. Os sinais de voz são amostrados numa taxa de 8 k amostras por segundo.

Esta taxa de amostragem determina a faixa passante de áudio, o que pode ser facilmente calculado pelo critério de Nyquist, conforme já estudamos em lições anteriores.

Como os sinais são codificados com 8 bits temos uma taxa de transmissão de 8 k bytes por segundo. Na saída desta etapa existe um TDM de primeira ordem que tem uma taxa de transmissão de 2,048 Mbits por segundo o que equivale a 32 vezes a taxa de transmissão anterior básica.

Os TDMs de primeira ordem são tributários de um sistema TDM de segunda ordem que tem 120 canais e opera com uma taxa de transmissão de 8,448 Mbits/s.

Vem a seguir o TDM de terceira ordem que comporta 480 canais e tem uma velocidade de transmissão de 34,368 Mbits/s.

O TDM de quarta ordem recebe os sinais do TDM de terceira ordem, operando com uma velocidade de 139,264 Mbits por segundo com uma capacidade de 1920 canais. Existe ainda um TDM de quinta ordem em que temos uma taxa de transmissão de 564,992 Mbits comportando 7 680 canais.

A sincronização dos sinais é o ponto mais crítico de um TDM. Utiliza-se uma técnica de justificação ou ajuste dos bits transmitidos para sincronização dos TDMs plesiócrons.

Chamamos de “plesiócrons” os sistemas que são quase sincronizados ou não totalmente sincronizados.

Temos então o que se denomina de “hierarquia digital plesiócrons” ou Plesiochronous Digital Hierarchy – PDH que é a primeira geração de sistemas multiplex digitais de ordem mais elevada.

Nesta técnica são inseridos e retirados bits de ajuste de forma a manter o sinal sincronizado. Estes bits de ajuste não contêm informações, mas tão somente servem para sincronizar o sistema.

Isso faz com a memória usada nos sistemas grave e leia informações de uma forma variável. Esta memória, denominada “elástica”, tem um mecanismo de endereçamento, um contador, que no final de cada ciclo de leitura ou gravação volta ao ponto inicial.

Um ponto importante a ser considerado nestas memórias é que os mecanismos de leitura e gravação são independentes. Com isso, a memória pode absorver flutuações que ocorram nos processos de transmissão sem afetar a integridade da informação.

Para a transmissão dos sinais multiplexados em frequência, emprega-se o (single Side Band ou Banda Lateral Única), que já estudamos em lições anteriores, sendo juntados em 12 canais para formar um grupo.

Um grupo mestre é formado por cinco grupos, tendo suas frequência transladadas para determinadas frequências. Este grupo mestre contém 60 canais. Depois de multiplexados, os sinais alocados passam a formar o que se denomina banda básica de transmissão. Esse sinal pode então ser usado para modular uma portadora.

Esta portadora tanto pode ser transmitida via sinal de rádio, cabo ou mesmo fibra óptica.

7.5 - Multiplexação por Código - CDM

O exemplo mais comum desta tecnologia é o CDMA. Neste sistema, diversos usuários compartilham um mesmo canal com uma frequência fixa. A largura do canal é de apenas 1,28 MHz.

Nele os sinais são codificados e transmitidos em seqüências diferentes de tal modo que o receptor possa reconhecer a que canal pertence cada uma. Esse reconhecimento é baseado em seqüências que identifica os blocos de informação. A figura 196 mostra como isso é feito.

FM Estéreo

O leitor já deve ter percebido que a multiplexação dos canais de FM estéreo é feito justamente através deste processo. No caso, a largura dos canais é maior, dada a necessidade de se ter uma boa qualidade de áudio para a reprodução.

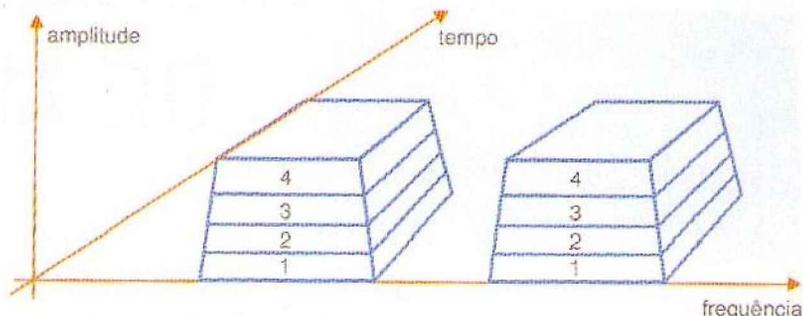


Figura 196- Sinais codificados da multiplexação por código

Neste sistema, a quantidade de canais é limitada a 64 no link direto, mas não existe limite para o número inverso.

7.6 - Multiplexação Geográfica

Uma outra forma de se obter multiplexação é pelo processo geográfico ou celular, conforme mostra a figura 197.

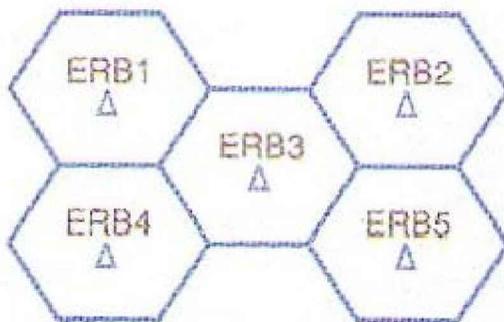


Figura 197 – Sistema de multiplexação geográfica usado nas ERBs (Estações Radio-Base) da telefonia celular

Se um par de usuários estiver longe o suficiente uns dos outros, eles podem usar a mesma frequência. Esse sistema é usado pelas estações de rádio e TV, de certa forma, já que existem estações que ocupam as mesmas frequências, mas operando em regiões diferentes do país. No entanto, o exemplo mais comum é o da telefonia móvel celular, em que as estações rádio-base determinam a área de atuação ou célula e a ocupação de uma determinada faixa de frequências.

Modos Combinados de Multiplexação – Penetração e Eficiência

Na prática os diversos modos de multiplexação que vimos podem operar combinados. Por exemplo, o GSM usa FDMA, TDMA e FDD e geográfico. Por outro lado, o DECT usa o FDMA, TDD e multiplexação geográfica.

Definimos penetração como a capacidade de um sinal de poder avançar sem muitos problemas num meio de grande atenuação, grande nível de ruído e interferência. Um exemplo pode ser dado, quando comparamos os pagers com os telefones celulares. Os pagers podem receber sinais mesmo em condições difíceis como dentro de construções com grandes estruturas metálicas enquanto os celulares falham.

O tipo de modulação usado pelos pagers permite a detecção dos sinais sob condições de mínima intensidade. A maioria usa a modulação FSK que é mais fácil de demodular. No entanto, a eficiência de um celular é maior, no sentido de que ele proporciona uma comunicação completa nos dois sentidos.

Tabela

Na tabela dada a seguir mostramos os diversos tipos de multiplexação usados nos sistemas de comunicações atuais.

	Ano da Introdução	Modulação	Número de Canais
GSM900	1992	TDMA	124
NADC	1992	TDMA	832
PDC	1993-1994	TDMA	1600
CDMA	1995-1997	CDMA	19-20
DCS1800	1993	TDMA	3000-6000
PHS	1993-1995	TDMA/TDD	-
DECT	1993	TDMA/TDD	10 freqüências -12 usuários por freqüências
TETRA	1995	TDMA	-

Novas Tecnologias

A multiplexação é um recurso fundamental em nossos dias para se obter a capacidade de acomodar a quantidade de usuários que se fazem valer de sistemas de comunicações sem fio. As técnicas devem levar em conta diversos fatores como a penetração, quantidade de canais acomodados, eficiência e muito mais. O que observamos em nossos dias é que a combinação das principais tecnologias de multiplexação vistas neste capítulo, levam a sistemas de comunicações sem fio cada vez mais eficientes, acomodando quantidade crescente de usuários e tendo uma penetração maior. Também é preciso ficar atento que novas tecnologias podem estar sendo introduzidas a todo momento.

7.7 - Espectro Espalhado

Os processos de transmissão de sinais que estudamos até agora usam um canal fixo de frequência no espectro, o que significa que tanto o receptor como o transmissor devem estar sintonizados na mesma frequência para que a comunicação ocorra, e esta frequência deve ser fixa.

Podemos, entretanto, contar com outras técnicas de radiocomunicação que podem ser muito eficientes em determinadas condições.

Desenvolvida na época da Segunda Grande Guerra, visando dificultar a interceptação de mensagens, e hoje é empregada de forma ampla em diversos sistemas de telecomunicações é a Modulação Espalhada no Espectro ou Spread Spectrum Modulation.

Destacamos as redes sem fio, telefones celulares, comunicações digitais por RF que operam pelo que se denomina Spread Spectrum (SS) ou Espectro Espalhado. Em especial, os sistemas wireless de re-

des locais (WLAN) que estão ocupando um espaço cada vez maior no mercado e de muitos produtos que devem aparecer nos próximos anos fazem uso dessa tecnologia.

Dessa forma, ao se falar em qualquer de rede que não empregue meios físicos, ou seja, sem fio ou de tecnologia wireless, o tema Spread Spectrum é obrigatório assim como a tecnologia do salto de frequências ou frequency hopping. Este é justamente o tema deste capítulo. Trataremos das vantagens de seu uso, seu princípio de operação além de alguns aspectos históricos interessantes.

Hedy Lamarr

Cujo nome verdadeiro era Hedwig Eva Maria Kiesler, (1913 — 2000) foi uma atriz norte-americana nascida na Áustria. Mais conhecida como atriz, também é considerada no mundo científico, por ter inventado com um colega, durante a Segunda Guerra Mundial, o sistema de comunicações para as Forças Armadas dos Estados Unidos da América, o qual serviu de base para a atual telefonia celular.



Casada com um engenheiro, ambos foram procurados por Hitler que estava em busca de um sistema de controle remoto para seus torpedos e bombas, o qual fosse à prova de interferências ou interceptação pelo inimigo. Hedy teve a idéia de se transmitir os sinais através de um sistema que mudava constantemente de frequência (frequency hopping), mas não revelou isso a ninguém, tendo fugido para os Estados Unidos, onde passou a fazer filmes. Sansão e Dalila com Victor Mature é um dos seus maiores sucessos.



Hedy Lamarr e Victor Mature em “Sansão e Dalila”, super-produção de 1949 de Cecil B. DeMille.

A oportunidade de voltar ao assunto veio de uma conversa com outro engenheiro americano que a convenceu a desenvolver a idéia. O resultado do trabalho conjunto foi a patente do processo de transmissão que hoje é a base da telefonia celular e de todas as comunicações sem fio por RF. Na época não existia uma tecnologia que pudesse colocar em prática as idéias avançadas de Hedy. Somente algum tempo depois é que ela começou a ser utilizada em sistemas de comunicações militares. Se bem que ela não tenha recebido nada em troca de sua invenção, pois a patente venceu justamente quando os primeiros telefones celulares foram criados, lhe deram como justa homenagem o título de Patrona das Comunicações sem Fio.

7.7.1 - Uma Invenção Feminina

Talvez um dos aspectos mais interessantes da tecnologia do Spread Spectrum e Frequency Hopping, esteja no fato de que ela foi inventada por uma artista de cinema de Hollywood, que fez muito sucesso a partir dos anos 30. Nascida em 1913 na Áustria e falecida em 2000, essa artista era também uma excelente engenheira eletrônica.

7.7.2 - A Tecnologia Spread Spectrum

O que se faz no Spread Spectrum é colocar a informação num sinal que tenha um espectro de frequência muito largo. Isso é bem diferente dos processos convencionais em que o sinal modula uma portadora numa faixa bem estreita, conforme mostra a figura 198.

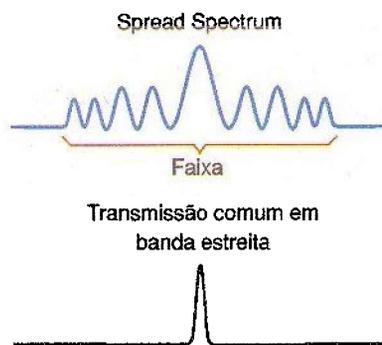


Figura 198 – Comparando o espectro espalhado com uma transmissão comum

Como a informação se espalha num espectro largo de frequência, quando captados por um receptor comum, esses sinais se assemelham a um ruído. Essa característica além de tornar o sinal difícil de interceptar (Low Probability of Intercept ou LPI), também os torna imunes à interferência e ruídos (anti-jam ou AJ). Os códigos que geram os sinais são denominados Pseudo Ruídos ou Pseudo Aleatórios.

Espalhando uma faixa de frequências relativamente ampla, a densidade de potência dos sinais é baixa, ou seja, eles ocupam menos watts por hertz, diferentemente dos sinais de banda estreita convencionais que ocupam uma faixa estreita, conforme mostra a figura 199.

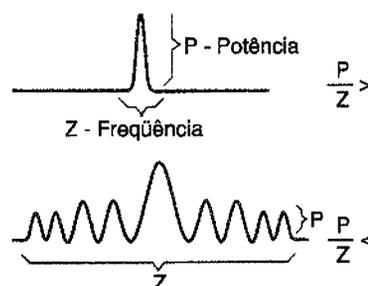


Figura 199 – A distribuição de potência num sinal de espectro espalhado

Existem diversas técnicas para se obter esses sinais. As mais usadas nos sistemas comerciais são aquelas em que a faixa de sinal de RF é de 20 a 254 vezes mais larga do que a faixa da informação que está sendo enviada. Em alguns casos ela chega a ser até 1 000 vezes mais larga.

Existem dois tipos de tecnologia de espectro espalhado: seqüência direta e salto de frequências (direct sequence ou frequency hopping -adotando os termos em inglês). Menos usados são os sistemas que fazem o “salto de tempo” ou “time hopped” e ainda “sibilo” ou “chirp”, usando o termo inglês original.

O sistema de seqüência direta funciona da seguinte forma: uma portadora é modulada com uma seqüência que corresponde ao código enviado. Podem ser usados códigos de apenas 11 bits até os mais longos com milhões de bits, isso numa velocidade que pode variar entre 1 bps até muitos Mbps. Na figura 200 temos o aspecto de um sinal desse tipo. O lóbulo principal desse sinal tem uma largura de faixa igual ao dobro da frequência de clock do código modulador, isso dos pontos de nulo a nulo.



Figura 200 – Sistema de seqüência direta

Os lobos laterais possuem pontos de nulo a nulo ocupando uma faixa igual à frequência de clock. O sinal mostrado na figura é do tipo BPSK (Binary Phase Shift Keyed). No frequency hopping, o funcionamento é o seguinte: a faixa de frequências que vai ser utilizada é preenchida por sinais que estão constantemente mudando de frequência, conforme mostra a figura 201.

Conforme o número sugere, os sinais “saltam” constantemente de uma frequência para outra segundo um padrão determinado que o receptor deve conhecer para acompanhar esses saltos.

Com isso, cada vez que o transmissor salta de uma frequência para outra, o receptor acompanha de modo a manter sua sintonia. Se usarmos um analisador de espectro para visualizar um sinal desse tipo, teremos o padrão mostrado na figura 201.

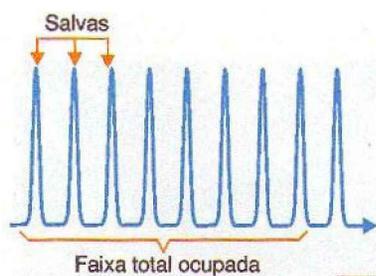


Figura 201 – Os saltos de frequência

Observe que os picos correspondem a cada pacote de informações enviadas numa frequência diferente. Se bem que o analisador mostre esses sinais lado a lado, eles são produzidos numa ordem pseudo-aleatória, determinada por um código próprio. Como cada frequência é determinada no transmissor, a sua seqüência pode ser enviada ao receptor de modo que ele controle o seu circuito conversor acompanhando o sinal. Assim, para sintonizar o sinal basta então que o receptor conheça previamente para que frequência vai o próximo salto da frequência do transmissor.

Observe também que, como o sinal emitido está constantemente mudando de frequência, a mesma banda pode ser compartilhada por diversos outros sinais ao mesmo tempo. Basta que os saltos das frequências dos outros transmissores ocorram para frequências que naquele instante não estejam sendo ocupadas, conforme mostra a figura 202.

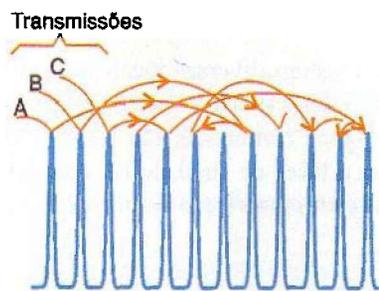


Figura 202 – Compartilhamento com diversos canais

Evidentemente, os códigos devem ser gerados de modo que não ocorram conflitos capazes de colocar dois sinais ao mesmo tempo numa mesma frequência. Outro fato que merece ser ressaltado é que, se existirem ruídos ou sinais interferentes concentrados numa determinada faixa do espectro usado, como o sinal ocupa uma banda mais larga ele não é integrado no receptor que trabalha com uma sintonia mais larga.

Para receber esses sinais utiliza-se uma configuração diferente da encontrada nos receptores convencionais de banda estreita. O processo de recepção é denominado de-hopping (de-salto) sendo realizado por um circuito chamado correlator.

O correlator tem uma característica muito importante para as telecomunicações usando essa tecnologia SS por salto de frequência. Ele não responde a ruídos naturais nem artificiais, e nem interferências.

Isso ocorre pela sua característica de banda larga que o faz integrar os sinais numa faixa ampla, ignorando os sinais de interferências ou ruídos que ocorram numa faixa estreita. O correlator responde apenas aos sinais SS (Spread Spectrum) de mesmas características que o codificado previamente. Isso é mostrado na figura 203.

Vantagens

Graças ao Spread Spectrum e Frequency Hopping as tecnologias wireless conseguem ter um desempenho que permite uma enorme gama de aplicações práticas. As redes sem fio (WLAN), telefonia celular, sensoriamento remoto para uso industrial são alguns exemplos de aplicações dessa tecnologia. Com o desenvolvimento de novos produtos usando recursos sem fio, que é o caminho da convergência entre internet, vídeo e telefonia, a presença de sinais SS no ambiente em que vivemos será cada vez maior.



Figura 203 – A sintonia do correlator

Os receptores usados nas aplicações práticas trabalham com ganhos de 11 a 16 dB dependendo da velocidade dos dados que devem ser recebidos. Com isso eles podem tolerar interferências que tenham níveis de 0 a 5 dB acima dos sinais que devem ser sintonizados.

Uma outra característica dos sinais SS é a sua imunidade ao que se denomina “spoof” e “exploit”. Denomina-se spoof (engano) é ato de introduzir indevidamente qualquer tipo de informação indesejável no sinal. Exploit (explodir) é o processo de decompor ou invadir o código transmitido de modo a poder ser feita sua decifração.

Com a constatação das vantagens trazidas por esta tecnologia, ela a passou a ser usada também em outros sistemas de telecomunicações como, por exemplo, a telefonia móvel celular, redes sem fio, etc., seguindo o padrão IEEE 802.11.

As redes sem fio são um exemplo de sistemas de telecomunicações que usando o padrão IEEE 802.11 se baseiam justamente nas técnicas de pacotes de rádio e espectro espalhado para sua operação.

Assim, segundo o padrão 802.11, temos a especificação de deve ser usada a faixa ISM de 2,4 GHz. A faixa ISM tem uma largura de 83 MHz e foi subdividida em canais de 1 MHz para a especificação FH.

Segundo o FCC, numa transmissão usando esta modalidade de modulação, o sinal que está sendo transmitido deve passar por pelo menos 79 frequências diferentes a cada 30 segundos. Isso significa 2,5 “hops” ou saltos a cada segundo.

Para que as vantagens desse sistema de transmissão possam ficar claras, mais adiante vamos tomar outro exemplo. Uma outra forma de espectro espalhado é a denominada DS ou Direct Spread (espalhamento direto, se formos usar a tradução).

Com a técnica DS os dados são misturados (XOR) com uma sequência pseudo-aleatória antes de serem transmitidos modulados em PSK sobre a portadora. A sequência de dados tem uma velocidade muito alta podendo ser muitas vezes maior do que a velocidade com que os dados são gerados. Na faixa ISM, o espalhamento está limitado para não ser menor do que a relação 10:1. Com esta técnica a densidade de energia no espectro cai. Isso significa que se trata de um sinal que interfere muito menos nos usuários de banda estreita. Constatamos também uma certa imunidade à interferências.

O receptor que processa os sinais DS começa com a reunião dos sinais. Isso é feito misturando o sinal com a mesma sequência PN que foi usada para fazer o espalhamento, conforme mostra a figura 204.



Figura 204 -O receptor

Isso faz com que o sinal volte a ocupar a faixa original de frequências. Evidentemente, o receptor também elimina os sinais que correspondem aos espalhamentos dos outros canais que estão operando na mesma faixa.

Podemos dizer que, se houver algum tipo de interferência nessa faixa, ela também ficará espalhada por toda a faixa minimizando os efeitos no canal recuperado, sendo facilmente eliminada pelo filtro de dados, conforme mostra a figura 205.

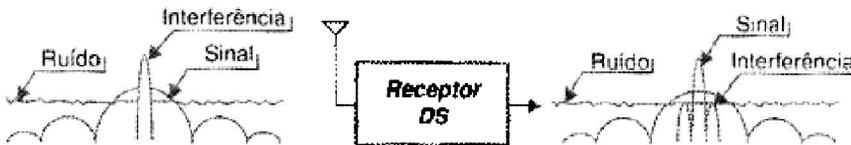


Figura 205 - Rejeitando a interferência

Quando a energia do sinal volta a se concentrar na faixa original, sua energia espectral aumenta de acordo com o ganho do circuito e isso é proporcional a taxa de redução da faixa.

Assim, um sinal que foi recebido com intensidade abaixo do nível de ruído na faixa, passa a ter agora um nível acima do ruído e com isso pode ser facilmente demodulado.

Além disso, o sistema DS permite que mais de um usuário ocupe ao mesmo tempo o mesmo canal, proporcionando o que se denomina de acesso múltiplo.

Cada receptor DS reduz somente o sinal desejado para a faixa original, possibilitando assim sua recuperação sem problemas.

Os sinais que não interessam permanecem espalhados, permanecendo assim somente uma pequena parte dos sinais indesejáveis, conforme mostra a figura 206.

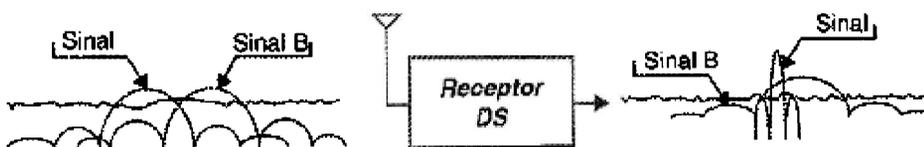


Figura 206 – O acesso múltiplo

Dessa forma a informação original transmitida pode então ser recuperada e processada.

7.8 - Pacote de Rádio

O termo pacote de rádio ou pacote de comunicação é muito usado nos casos em que o meio de comunicação não é bem seguro e, portanto, não é conveniente transmitir toda a informação de uma só vez.

Existem muitos motivos para que um sistema de comunicações que opere na faixa de microondas, como das redes sem fio, sofra algum tipo de interrupção, como por exemplo a interferência causada por fornos de microondas.

Os fornos de microondas produzem sinais exatamente no meio da faixa ISM com um ciclo ativo de 50% e uma taxa de pulsos sincronizada pela rede de energia local.

Isso significa que, o circuito de um forno de microondas desliga durante 8 ms a cada 16 ms.

Um sistema de comunicações de uma rede sem fio que use a mesma frequência pode operar de modo satisfatório, enviando seus pacotes de informações justamente nestes intervalos em que o forno “não transmite”.

Nestes intervalos é possível transmitir salvas ou pacotes de 100 bytes, sem problemas, conforme mostra a figura 207.

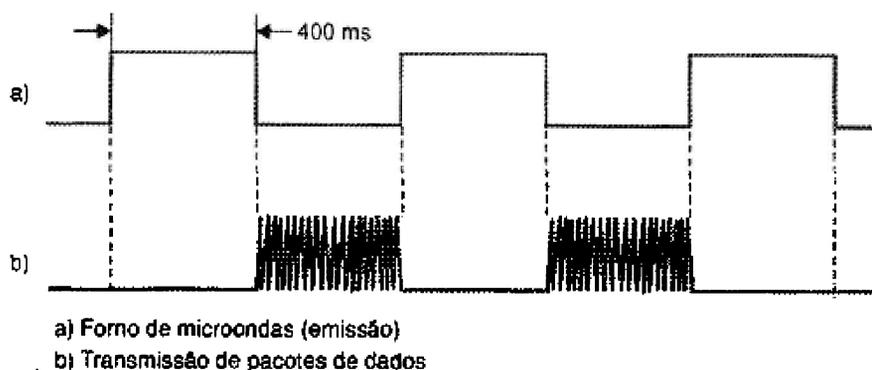


Figura 207 – Transmitindo dados entre os pulsos de um forno de microondas

Os saltos de frequência também significam que as rádio comunicações são interrompidas a cada 400 ms, devendo haver um intervalo para que os transmissores e receptores sejam re-sintonizados.

Quebrar uma grande quantidade de dados em “pacotes” é uma técnica de comunicações comum, sendo usada em outros casos, com a finalidade de assegurar que a sua transmissão possa ocorrer sem erros, mesmo com interrupções.

Se um meio está corrompido de forma intermitente, um grande bloco de dados não consegue ser transmitido sem erros.

No entanto, com o uso de pacotes curtos de informações, pode-se checar ao final de cada um se ele chegou integralmente ao receptor enviando de volta um sinal de confirmação, conforme mostra a figura 208.

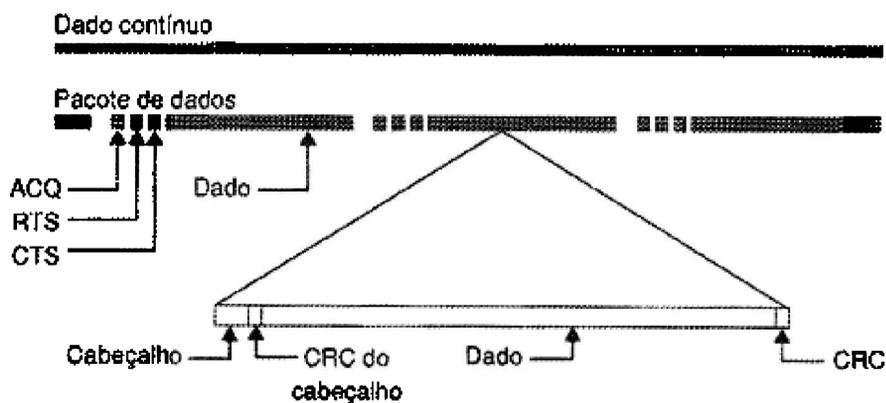


Figura 208 – O pacote de transmissão

Tudo isso exige uma certa margem de segurança na transmissão o que reduz a capacidade do sistema.

No entanto, têm-se a garantia que, independentemente dos problemas que possam ocorrer com um sinal, a informação chega totalmente ao seu destino.

O tamanho de cada pacote pode ser otimizado para minimizar essa margem de segurança possibilitando assim um aumento da capacidade do sistema.

Quando dados contínuos são divididos em pacotes, a taxa instantânea de transferência deve ser aumentada, já que a transmissão estará sendo reduzida.

Isso exige que pacotes de identificação, segurança e intercâmbio sejam agregados.

As comunicações por pacotes podem usar vários protocolos de acesso como, por exemplo, o Carrier Sense Multiple Access (CSMA) ou ainda o Time Division Multiple Access (TDMA).

O CSMA permite as comunicações assíncronas, mas requer que cada lado do sistema se assegure que o meio não esteja ocupado.

Ele então estabelece um link de intercâmbio consistindo num pedido para transmitir (request to send ou RTS), o pacote de dados e um reconhecimento ou não (ACK/NAK).

O TDMA permite a comunicação sincronizada onde cada usuário tem uma fatia de tempo alocada para se comunicar através dela.

A faixa de segurança neste sistema desperdiça tempo quando algum usuário não tem nada para enviar e os pacotes do controlador estão obrigados a alocar fatias de tempo para ele.

A combinação de espectro espalhado, com pacotes de transmissão para o padrão de rede sem fio 802.11, possibilita a realização de comunicações robustas num meio ruidoso e congestionado.

Termos para pesquisar

- Hedy Lamarr
- 802.11
- WiMax
- WLAN
- Redes sem fio
- Telefone celular
- ERBs

Questionário

1. O processo segundo o qual é possível transmitir diversas informações ao mesmo tempo pelo mesmo canal é denominado:

- a) Batimento
- b) Ressonância
- c) Multiplexação
- d) Alocação de canais

2. No processo MUX FDM a amostragem de cada canal é feita de que forma?

- a) No tempo por um circuito chaveado
- b) Em frequência por um circuito sintonizado
- c) Digitalmente por um conversor A/D
- d) Analogicamente por um conversor D/A

3. O conjunto de janelas associadas a um quadro no processo FDM é denominado:

- a) tributário b) canal
- c) quadro d) Demux

4. Qual é a taxa de transmissão do TDM de segunda ordem?

- a) 2,048 Mbits/s b) 4,096 Mbits/s
- c) 34,368 Mbits/s d) 139,264 Mbits/s

5. Que tipo de memória é usada no sistema TDM?

- a) Fixa b) RAM
- c) De alta capacidade d) Elástica

6. Os sistemas que não são totalmente sincronizados são denominados:

- a) Elásticos b) Plesiócronicos
- c) Chaveados d) Digitais

7. O espalhamento do sinal por um espectro é usado em que tipo de modulação?

- a) SSB b) Frequency Hop
- c) Espectro espalhado d) TDM

8. Em que caso o uso de pacotes de rádio é conveniente?

- a) Quando o número de canais é elevado
- b) Quando a largura do canal disponível é estreita
- c) Quando o meio de comunicação é seguro
- d) Quando a demodulação não é segura



» Digitalização dos Sons e Processamento

» Saúde e ESD

8. O que você vai aprender

Depois de estudarmos os diversos processos de multiplexação de sinais que pode ser realizado por diversas tecnologias, trataremos neste capítulo da natureza dos sons, que consistem na base das informações enviadas por rádio e depois da digitalização desses sinais, assim como de outros de natureza analógica. Veremos ainda como microprocessadores, microcontroladores e DSPs são usados em radio comunicações, trataremos das memórias e das descargas atmosféricas que constituem um perigo para a integridade dos equipamentos. Encerraremos nosso curso com algumas informações sobre o perigo das radiações eletromagnéticas e os cuidados que devemos ter e das blindagens usadas em certos equipamentos.

- 8.1 - Conceitos básicos de som e acústica
- 8.2 - Propriedades e características dos sons – espectro audível
- 8.3 - Digitalização de sinais
- 8.4 - DSPs
- 8.5 - Memórias
- 8.6 - Descargas atmosféricas- ESD
- 8.7 - RF e saúde – cuidados
- 8.8 - Aterramento e blindagens

8.1 - A Natureza do Som

Se bem que as vibrações sonoras não tenham natureza elétrica, como elas podem ser captadas e reproduzidas por dispositivos elétricos, seu estudo é muito importante para quem pretende conhecer eletrônica. Como exemplo podemos os citar sensores acústicos de uso industrial, intercomunicadores e até os sistemas multimídia fazem muito uso dessas vibrações, pois os alto-falantes dos computadores produzem sons e, além disso, temos as entradas para sons captados por microfones.

Eletrônica básica

Este item é um resumo da lição sobre sons do Curso de Eletrônica- Volume Eletrônica Básica. Se o leitor já acompanhou aquele curso pode pular Este capítulo. Se quiser saber mais sobre sons, pode consultar a lição daquele curso.

As ondas sonoras são vibrações mecânicas necessitando para se propagar de meios materiais. No vácuo o som não se propaga. Uma experiência tradicional que mostra que isso é verdade consiste em se fazer funcionar uma campainha dentro de um vidro do qual se tenha retirado todo ar. O silêncio é absoluto, pois onde não há meio para o som se propagar ele não pode ser ouvido, conforme o leitor poderá ver na figura 209.

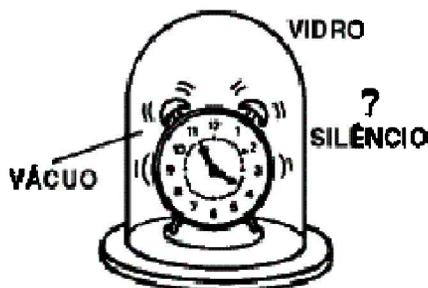


Figura 209 – Experimento para mostrar que no vácuo o som não se propaga

Na lua seria impossível uma conversação, já que ela não possui atmosfera e os “sons de explosão” no espaço que vemos nos filmes de ficção consistem numa aberração, pois lá, tudo é silêncio. No ar, o som se propaga na forma de ondas de compressão e descompressão, conforme mostra a figura 210.

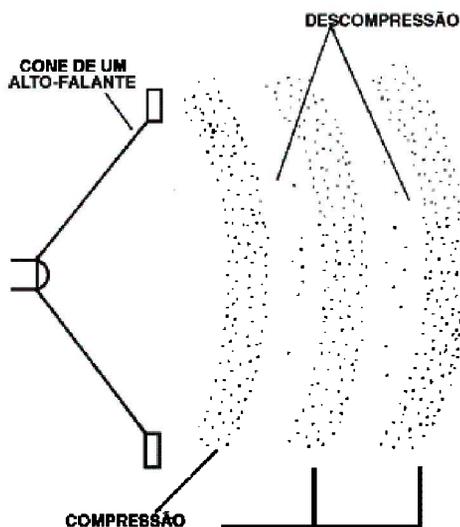


Figura 210 - O som consiste em ondas de compressão e descompressão do ar

Assim, um alto-falante ao reproduzir um som, empurra para frente o ar para produzir uma onda de compressão e depois ao se mover em sentido contrário, o puxa de modo a produzir uma onda de descompressão. Tanto a compressão como a descompressão se propagam com a mesma velocidade que, no ar sob condições normais de temperatura e pressão, é da ordem de 340 metros por segundo.

Quando estas ondas de compressão e decompressão atingem nossos ouvidos elas atuam sobre uma fina membrana em seu interior, denominada tímpano, que transmite as vibrações ao sistema interno. O sistema mecânico interno de nossos ouvidos, formado por alguns ossos móveis muito delicados, “traduz” as informações sobre a natureza do som captado e as envia ao cérebro por meio de ligações nervosas.

8.2 - Espectro Audível

Existe um limite bem definido para o tipo de vibrações sonoras que nossos ouvidos pode perceber. Assim, temos inicialmente um limite inferior para as frequências das vibrações que determina a nossa faixa de audição e que está em torno de 16 hertz ou 16 vibrações por segundo.

Este limite corresponde aos sons mais graves que podemos ouvir. Não podemos ouvir vibrações que ocorram mais lentamente do que na taxa de 16 por segundo.

À medida que a frequência dos sons ou vibrações aumenta, eles vão produzindo sensações diferentes. Inicialmente graves, eles se tornam médios e depois agudos até que o valor máximo que podemos perceber é atingido. Para as pessoas comuns o valor varia um pouco, mas está em torno de 16 000 Hertz.

Esta frequência corresponde ao som mais agudo que a maioria das pessoas pode ouvir. Veja a figura 211 onde mostramos um gráfico que representa a faixa audível, ou seja, onde estão os sons de todas as frequências que podemos ouvir.

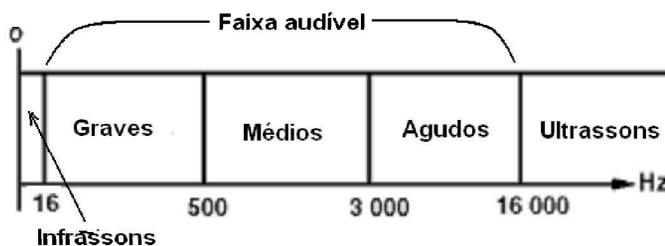


Figura 211 – Faixa ou espectro audível

8.2.1 - Características dos Sons

Os sons possuem características que precisam ser muito bem conhecidas por parte de quem pretende usá-los, principalmente em aplicações que envolvam a eletrônica ou sua produção a partir de circuitos especiais. Podemos distinguir os diferentes sons por suas características.

Saber diferenciar estas características é muito importante tanto para quem trabalha com som como para quem projeta equipamentos de som.

Volume e altura

É muito comum que as pessoas confundam volume com altura. Assim, quando queremos que a intensidade de som de um amplificador seja menor, devemos pedir para diminuir o volume e não a altura. Diminuir a altura seria tornar o som mais grave...

8.2.2 - Altura de um Som

A altura de um som é a característica que está ligada à sua frequência. Dizemos que um som é mais alto que outro quando sua frequência é maior.

Os sons de frequências mais baixas são denominados graves, depois temos os médios e finalmente os agudos. Um som mais alto é, portanto um som mais agudo. Para os instrumentos musicais podemos dizer que o som do violino é mais alto do que o som do violão.

Não devemos confundir a altura do som com sua intensidade ou volume que explicamos a seguir.

8.2.3 - Volume ou Intensidade

O volume ou intensidade é a característica do som ligada à força com que as ondas de compressão e descompressão ocorrem. O volume ou intensidade são associados à potência do som.

Dois amplificadores que possuam potências diferentes, quando ligados ao máximo volume, produzem sons com volumes ou intensidades diferentes. A representação de dois sons com a mesma frequência nas intensidades diferentes é feita conforme o leitor poderá ver pela figura 212.

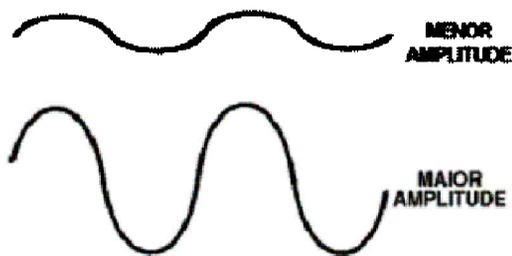


Figura 212 – A intensidade do som é dada pela sua amplitude

8.2.4 - Timbre

O timbre é a característica que nos permite diferenciar a mesma nota musical emitida por dois instrumentos diferentes. Podemos dizer que se trata da “coloração” ou “personalidade” do som.

Do mesmo modo que as oscilações podem ser suaves, provocadas por um movimento de vai e vem de um cone de alto-falante, também podemos produzir sons a partir de movimentos bruscos ou irregulares de um objeto.

Colocando os dois tipos de sons e mesmo outros num gráfico, vemos que para os movimentos suaves que correspondem a um som puro, a representação é uma senóide. No entanto, para outros sons, as vibrações podem ser representadas de outras formas.

Nossos ouvidos conseguem perceber as diferenças entre dois sons que tenham a mesma frequência, mas que tenham modos de vibrações ou timbres diferentes.

Assim, as mesmas notas de diversos instrumentos possuem a mesma frequência e até mesmo a mesma intensidade, mas como possuem timbres diferentes, podemos saber de que tipo de instrumento provém. A nota dó de um violão é diferente do dó de um piano pelo timbre! Veja na figura 213 o que ocorre com alguns instrumentos.

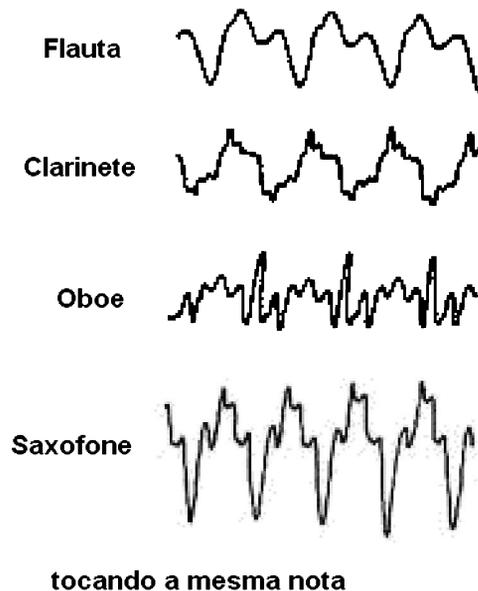


Figura 213 – Timbres de alguns instrumentos tocando a mesma nota

8.2.5 - Comprimento de Onda

Esse é um conceito muito importante que também se aplica a outros tipos de perturbações que se propagam pelo espaço na forma de ondas tais como as ondas de rádio. Supondo um ciclo completo na produção de uma onda sonora senoidal, vamos imaginar que no momento em que temos sua produção, ela já inicia sua propagação através de um meio material como, por exemplo, o ar.

Quando o ciclo for completado, sua frente, ou seja, a parte inicial da perturbação já estará a uma certa distância. Essa distância que corresponde à distância que um ciclo completo percorre ao ser produzido é denominada “comprimento de onda” e é representada pela letra grega lambda (λ). Veja na figura 214.

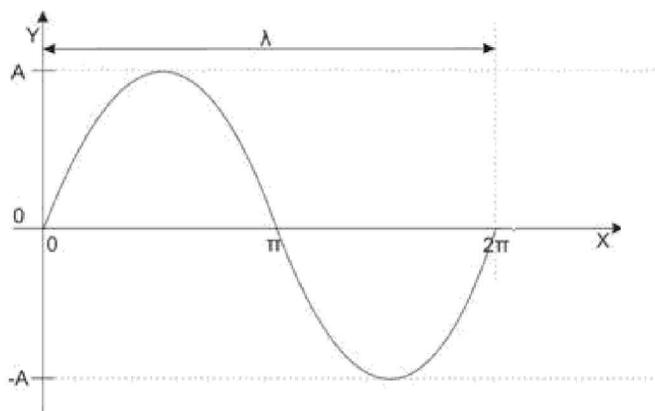


Figura 214 – O comprimento de onda

Veja que esse comprimento de onda dependerá fundamentalmente de dois fatores: a velocidade de propagação e a frequência. Podemos relacionar as três grandezas através de uma fórmula importante:

$$v = \lambda \times f$$

onde:

v é a velocidade de propagação (m/s)

λ é o comprimento de onda (m)

f é a frequência (Hz)

Para o som, no ar em condições normais, podemos fixar v em 340 m/s.

8.2.6 - Propriedades dos Sons

Os sons se propagam apenas pelos meios materiais e na forma de ondas longitudinais ou transversais. Isso faz com que ele apresente certas propriedades que o leitor deve conhecer. As principais propriedades dos sons são:

8.2.7 - Reflexão

Se ondas sonoras incidirem numa superfície dotada de um certo grau de flexibilidade e com certa extensão, elas podem refletir-se ou seja, “bater e voltar”, conforme mostra a figura 215.

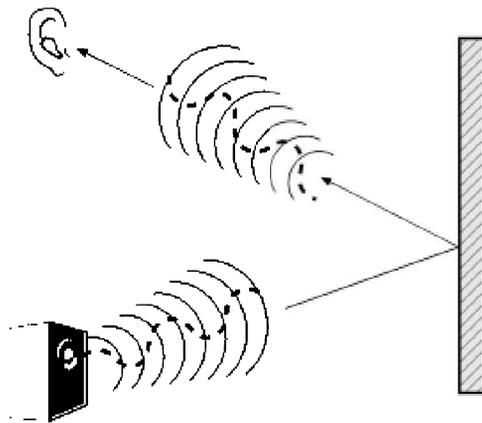


Figura 215 – O som pode refletir em determinadas superfícies

Existe um tempo mínimo para que nossos ouvidos possam distinguir dois sons sucessivos, dado justamente pelas características de resposta de frequência que eles apresentam. Assim, se o intervalo que ocorrer entre a emissão do som e a sua volta superar 0,1 segundo poderemos perceber claramente dois sons: o emitido e o refletido. Teremos então o fenômeno conhecido como eco, conforme mostra a figura 216.



Figura 216 – Distância mínima para haver eco

Veja que, para que tenhamos uma separação de 0,1 segundos entre os sons a uma velocidade de 340 metros por segundo, isso representa uma distância total de 34 metros, ou 17 metros de ida e 17 metros para a volta. Esses 17 metros correspondem, portanto à distância mínima que deve existir entre a pessoa e o ponto de reflexão para haver eco.

8.2.8 - Difração

Um outro fenômeno que ocorre com os sons é a difração. Quando uma onda sonora encontra um obstáculo para sua propagação como, por exemplo, a borda de uma superfície, conforme o leitor poderá na figura 217, a borda pode funcionar como um elemento que encurva as ondas sonoras.

Curiosidade

O princípio de Huygens explica porque estando do outro lado de um muro, uma pessoa percebe a aproximação de uma banda, primeiro ouvindo os sons dos instrumentos mais graves (maior comprimento de onda), como a tuba e depois os demais.

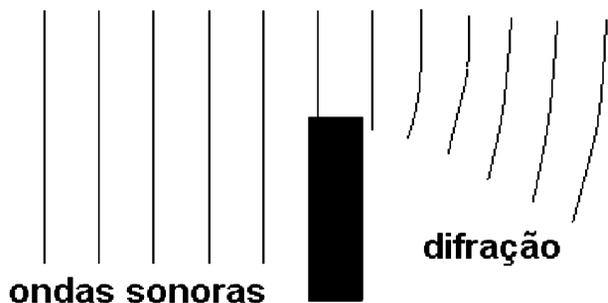


Figura 217 – A quina do objeto deflexiona a trajetória das ondas

Esse fenômeno é mais acentuado com as ondas sonoras de maior comprimento, ou seja, com os sons graves. O princípio de Huygens, que pode ser estudado nos livros de física do ensino médio, explica o que ocorre de uma forma mais detalhada, caso o leitor deseje se aprofundar no assunto.

8.2.9 - O Decibel

Do som mais fraco ao som mais forte que podemos ouvir, existe uma variação gigantesca de intensidades, o que dificulta o uso de uma unidade de medida linear. Do som mais fraco ao mais forte, a intensidade varia em trilhões de vezes.

A própria natureza, para ajustar as características do ouvido à todos os sons que podemos encontrar, dota-o de uma resposta não linear. Assim, o ouvido tem sensibilidade maior para os sons mais fracos e, por outro lado, reduz sua sensibilidade, quando os sons são mais fortes.

Dizemos que a resposta de nossos ouvidos segue uma curva logarítmica, conforme mostra a figura 218.

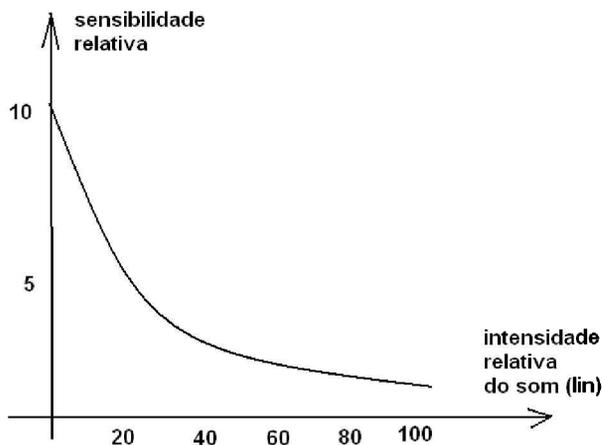


Figura 218 – Curva logarítmica de sensibilidade do ouvido humano

Para maior facilidade de representação das intensidades sonoras e mesmo de seus cálculos é adotada uma unidade logarítmica chamada Bel. O que se faz então é adotar para a medida da intensidade sonora uma unidade logarítmica.

Esta unidade é o Bel, e na prática trabalhamos com décimos de bel ou decibéis, abreviado por dB. Veja na figura 219 a curva de sensibilidade do ouvido humano para os sons de diversas frequências com a escala em dB.

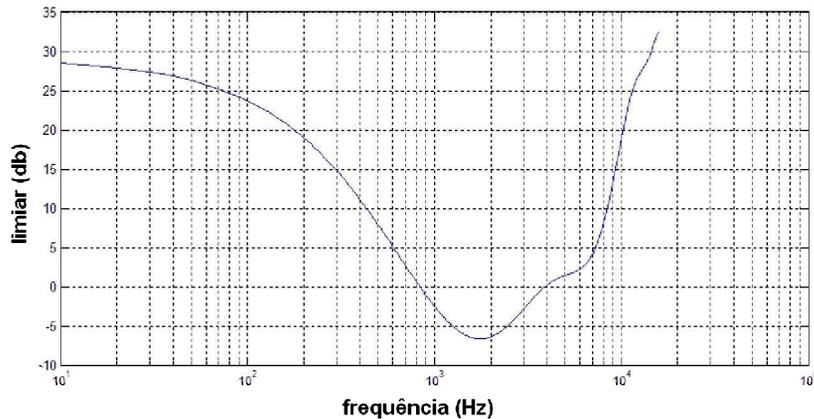


Figura 219 – Curva de sensibilidade do ouvido humano – observe que a maior sensibilidade está em torno de 3 kHz.

A tabela dada a seguir nos mostra os níveis sonoros relativos em dB de algumas fontes comuns, para que o leitor tenha uma idéia de como essa escala funciona.

Fonte sonora	Nível sonoro
Respiração normal	10 dB
Quarto de dormir silencioso	35 dB
Conversa em voz normal	45 dB
Pessoas conversando com voz um pouco elevada	60 dB
Festa barulhenta	90 dB
Rua movimentada	90 dB
Concerto de Rock	120 dB
Trovão	120 dB
Jato decolando (30 m de distância)	140 dB

Telecom

Para as telecomunicações esta curva de resposta é de grande importância na determinação das características dos equipamentos, para que as comunicações pela voz possam ser realizadas com o máximo de inteligibilidade.

8.3 – Digitalização de sinais analógicos

Os circuitos de comunicação digital que processam dados obtidos de microfones e sensores operam exclusivamente com sinais digitais. Assim, como na saída de um microfone temos um sinal analógico, precisaremos transferir este sinal para um circuito digital o que exige uma conversão.

Para converter um sinal da forma analógica para a forma digital, usamos uma configuração denominada conversor analógico/digital, ADC ou simplesmente conversor A/D. Esses conversores são largamente usados em placas de aquisição de dados, circuitos de comunicação digital e controle que interfaceiam computadores com dispositivos de medida.

Para entender como funcionam os conversores analógicos/digitais precisamos, em primeiro lugar, entender as diferenças entre os dois tipos de grandezas.

8.3.1 - Sinais Analógicos e Sinais Digitais

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 220 temos uma correspondência direta entre a temperatura e a resistência apresentada.

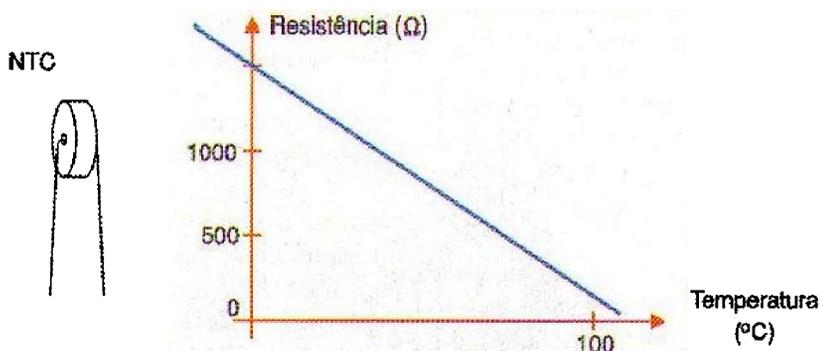


Figura 220 – A curva de operação de um sensor de temperatura (NTC)

Na faixa de uso do sensor, existe uma correspondência contínua entre valores de 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 certo 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 uma 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 221.

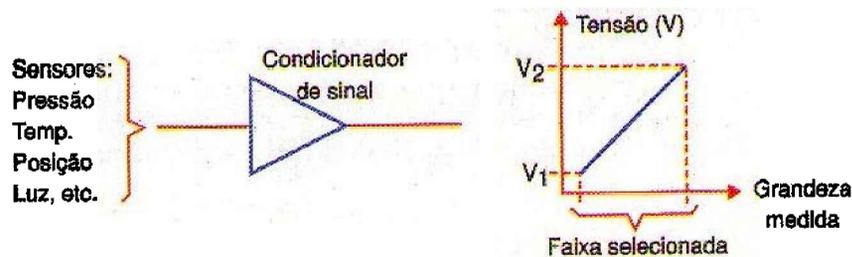


Figura 221 – Variando a saída numa faixa contínua de tensões

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 222.

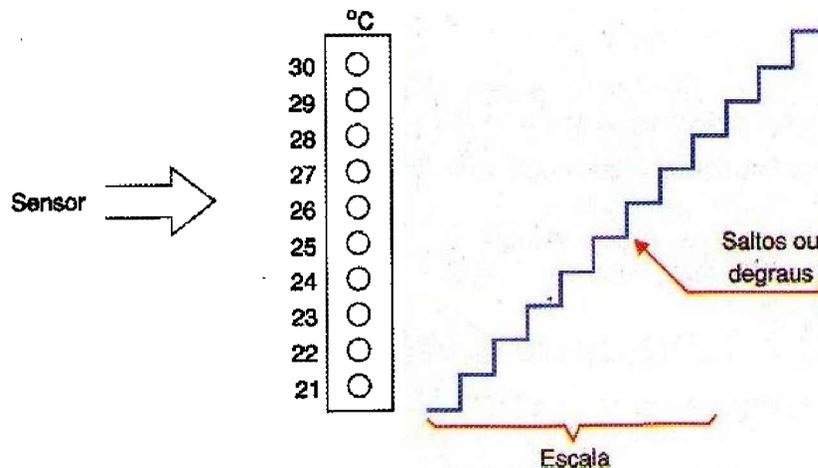


Figura 222 – Uma escala discreta de valores

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.

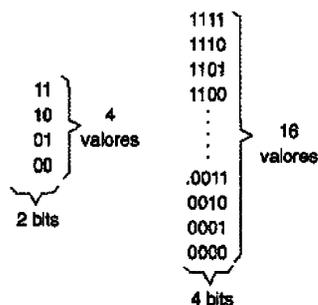
Se quisermos ter maior precisão na indicação com este tipo de indicador, precisamos de mais LEDs. Com 20 LEDs podemos ter a indicação de meio em meio grau na escala indicada. No entanto, o que fica claro é que, com este sistema, as indicações só podem ocorrer “aos saltos” e que esses saltos tem valores bem definidos.

Dizemos que, neste caso, a indicação ocorre de uma forma discreta e os LEDs acesos podem ser associados a quantidades bem definidas ou dígitos.

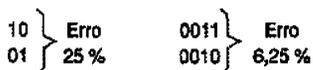
Na prática, as indicações que fazem a cobertura de uma escala com poucos pontos não é interessante, pois não significam uma boa precisão. Quanto mais pontos tiver a “escada” de indicações, melhor

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. Este processo recebe o nome de "quantização". Os DSPs (Processadores Digitais de Sinais) processam os sinais analógicos convertidos para a forma digital e fazem uso deste processo (veremos como funcionam mais adiante). O que um DSP pode fazer com o sinal vai depender 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, se usamos 2 bits teremos uma precisão menor do que se usarmos 4 bits para fazer a quantização, conforme mostra a figura A.



Comparando, em cada caso, os níveis quantizados nos dois exemplos, podemos perceber facilmente os erros introduzidos no processo, conforme mostra a figura B.



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.

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.

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 223.

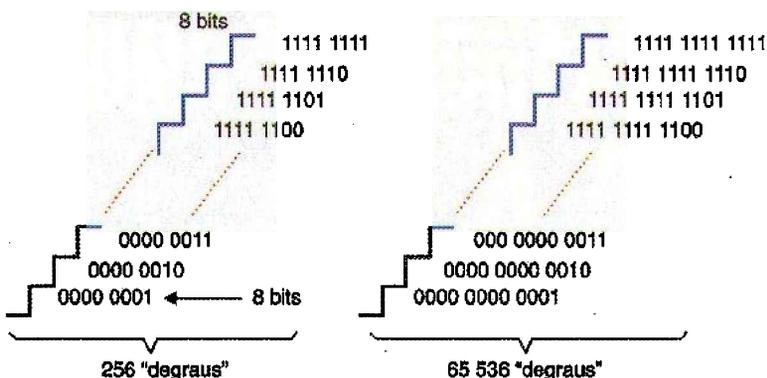


Figura 223 – Mais precisa será a conversão quanto maior o número de degraus

Veja então que para um conversor A/D que possa definir 256 valores diferentes numa escala de medidas temos uma precisão melhor que 0,4% e com 4096 valores diferentes numa escala de medidas temos uma precisão melhor que 0,024%. Os conversores usados na conversão do som dos circuitos de Telecom têm essas características.

8.3.2 - O circuito de captura e retenção ou "sample and hold":

Os valores dos sinais analógicos que devem ser convertidos para a forma digital, correspondem 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 de modo que, 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 224.

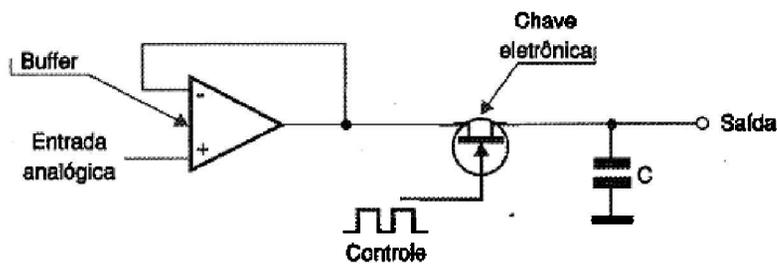


Figura 224 – Circuito de amostragem e retenção

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 (uma 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 225 mostramos um gráfico em que 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”). Essa entrada pode representar um sinal de áudio que está sendo digitalizado.

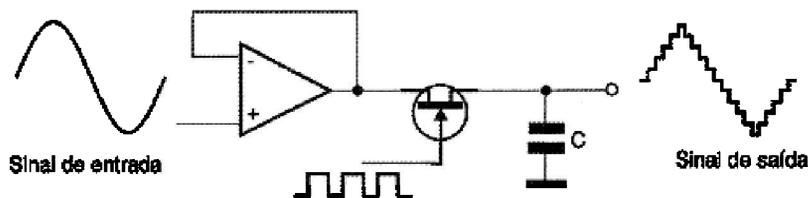


Figura 225 – Amostragem de um sinal de áudio

O leitor poderá aprender mais sobre estes circuitos no nosso Curso de Eletrônica - Eletrônica Digital em dois volumes.

Uma vez obtidas as amostragens, a conversão do sinal para a forma digital pode ser feita por diversos tipos de circuitos. Não cabe a este curso analisar cada circuito, bastando dar como exemplo o conversor de aproximações sucessivas da figura 226. Nele temos o modo como os sinais podem ser trabalhados para se obter a saída digital.

Crítério 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.

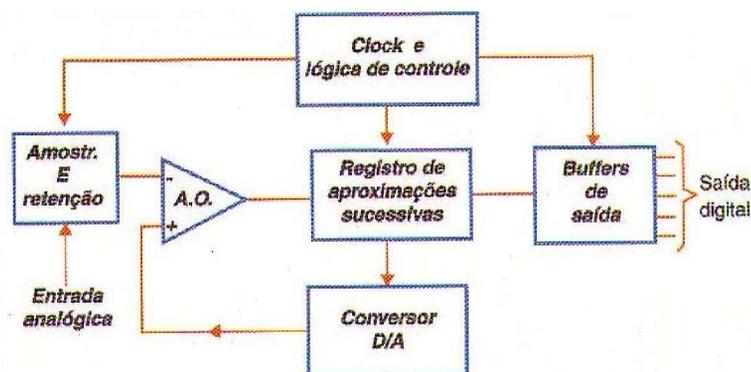


Figura 226 – O conversor de aproximações sucessivas

Além destes, podemos citar os conversores de rampa única, os conversores de rampa dupla e, em especial, os conversores Sigma-Delta.

8.3.3 – Sigma-Delta

Esse 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 estas características, além de outras vantagens, que torna-se possível sua integração fácil na mesma pastilha dos DSPs, amplamente usados em circuitos de telecom. 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 227 representamos isso de uma forma simples.

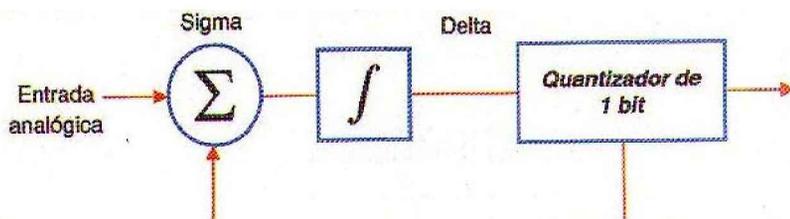


Figura 227 – Blocos do conversor sigma-delta

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 que nos leva à representação de um bit apenas em (b) e que nos 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 228.

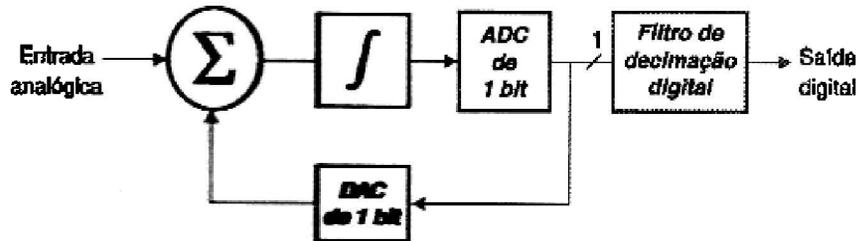


Figura 228 - O conversor completo

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(FIR e IIR).

8.4 - DSP

Antigamente, quando se desejava trabalhar um sinal como, por exemplo, um sinal de determinada frequência de modo a filtrá-lo e eliminar certas componentes modificando sua forma de onda, fazia-se uso de um circuito analógico, uma rede de componentes passivos e, eventualmente, de um conjunto de amplificadores operacionais, conforme mostra a figura 229.

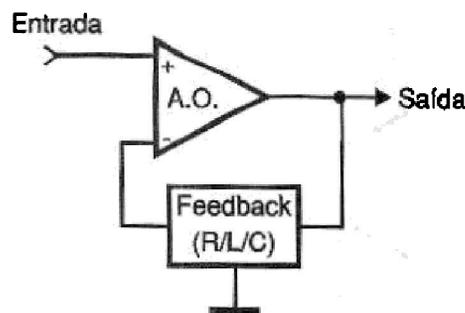


Figura 229 – Processamento analógico de sinais

Em resumo, entrava-se com um sinal analógico (uma forma de onda), trabalhava-se este sinal na sua forma analógica com um circuito analógico, portanto, e novamente obtinha-se a saída na forma analógica original.

Com a escolha apropriada dos circuitos capazes de trabalhar estes sinais era possível fazer quase tudo com eles. No entanto, com a evolução da eletrônica digital, com processadores cada vez mais poderosos, ficou claro que o trabalho com um sinal na forma digital poderia ser mais simples e até levar a aplicações que não seriam simples de obter com um circuito analógico.

8.4.1 – A idéia básica

Quando modificamos um sinal na sua forma analógica de modo a alterar forma de onda, frequência, e introduzir retardos, nada mais fazemos do que aplicar algum tipo de processamento que pode ser calculado a partir de procedimentos matemáticos convencionais.

Quando cortamos as frequências baixas de um sinal, num filtro, podemos calcular com precisão exatamente os elementos deste filtro de modo a obter os efeitos desejados, conforme indicado pela figura 230.

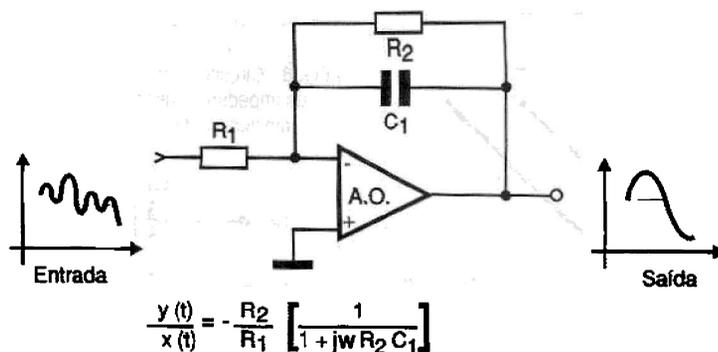


Figura 230 – Um filtro analógico

Em suma, o trabalho de um sinal analógico, qualquer que seja ele, também envolve um tipo de processamento que faz uso de recursos matemáticos.

Ora, uma das principais vantagens da eletrônica digital e dos microprocessadores é a de poder realizar cálculos muito complexos com grande velocidade e precisão.

Isso significa que poderíamos substituir os circuitos analógicos que trabalham com um determinado tipo de sinal por equivalentes digitais, se os sinais fossem convertidos para a forma digital. Assim, conforme ilustra a figura 231, chegamos à idéia básica do processador de sinais digital ou DSP (Digital Signal Processor).

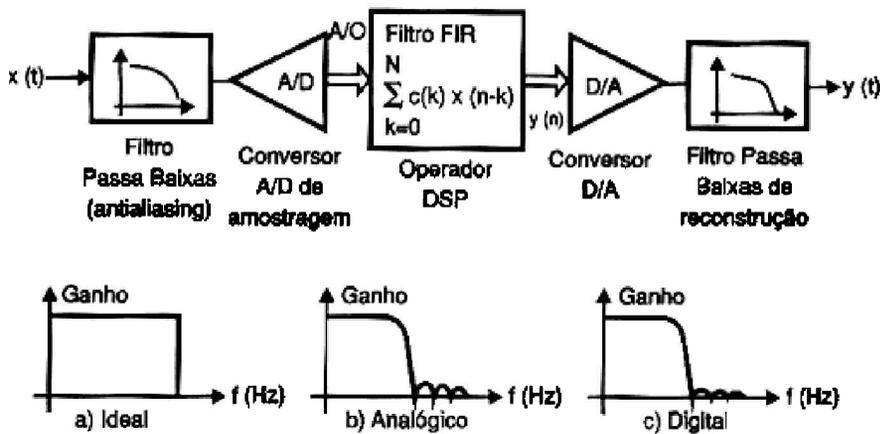


Figura 231- A idéia básica do DSP

Um sinal (uma forma de onda) é convertido para a forma digital por um conversor analógico digital. Esta forma de onda se transforma numa sequência de valores numéricos expressos na forma digital que podem ser aplicados em sequência a um segundo bloco, que é justamente o processador.

O processador trabalha então a forma de onda em sua forma numérica fazendo os cálculos e as transformações de acordo com o que se deseja do circuito.

Se é um filtro, por exemplo, o processador pode ser programado para aplicar a transformada de Fourier ao sinal, e eliminar em certas proporções as componentes harmônicas de certas frequências, como indica a figura 232.

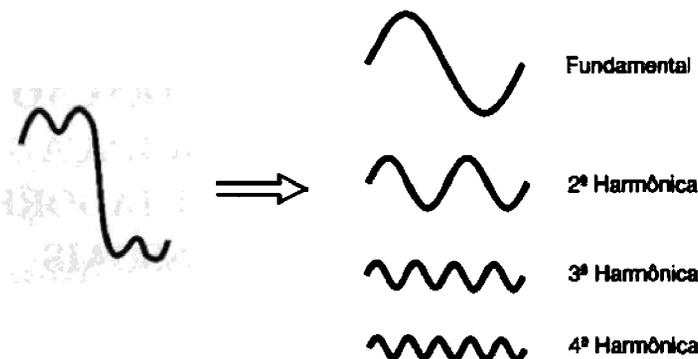


Figura 232 – Composição harmônica de um sinal

Isso fará com que o valor numérico que representa o sinal na saída seja diferente daquele que o representa na entrada, mas com uma nova forma, que é justamente o que se deseja do circuito.

Por exemplo, se todas as harmônicas de um sinal de determinada frequência e forma de onda complexa forem cortadas, a saída será um sinal senoidal. O circuito processador digital terá transformado um sinal de qualquer forma de onda de certa frequência em um sinal senoidal de mesma frequência, conforme ilustra a figura 5.

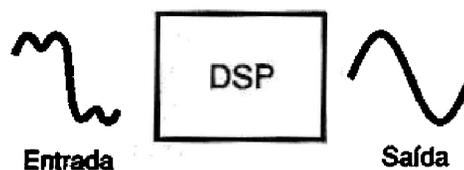


Figura 233 – Transformando a forma de onda de um sinal

Para recuperar o sinal em sua forma analógica original basta agregar à saída deste conjunto um conversor digital para analógico ou D/A.

No nosso exemplo modificamos a forma de onda do sinal, mas o DSP pode fazer muito mais. Por exemplo, se em lugar de transformarmos o sinal que entra, apenas retardarmos sua aplicação à saída, memorizando o seu valor instantâneo numa memória, podemos elaborar uma câmara de eco.

8.4.2 - Aplicações

No exemplo que apresentamos mostramos como um DSP pode modificar um sinal analógico trabalhando nele na forma digital. São as seguintes as aplicações em que os DSPs podem ser usados:

a) Filtragem digital

- Resposta a impulsos finitos (FIR)
- Resposta a impulsos infinitos (IIR)
- Filtros casados (correlatores)
- Transformadas de Hilbert
- Filtros adaptativos

b) Processamento de sinais

- Compressão (reconhecimento de voz)
- Expansão
- Média
- Cálculos de energia
- Processamentos Homomórficos

c) Processamento de dados:

- Criptografia e embaralhamento (scrambling)
- Codificação (Codificação Trellis)
- Decodificação (Decodificação Viterbi)

d) Processamento numérico

- Escalar, vetorial, matriz aritmética e computação com funções transcendentais
- Funções não lineares
- Geração de números pseudo-aleatórios

e) Análise espectral

Transformada de Fourier Rápida (FFT)
Transformada de Fourier Discreta (DFT)
Transformadas de seno/cosseno
Modelagem ARMA, MA e AR

Tudo isso leva o DSP a ser encontrado nos seguintes tipos de circuitos:

a) Telecomunicações

- * Geração de tom
- * Circuitos DTMF
- * Interfaces de assinantes
- * Full duplex
- * Transcoders
- * Vocoders
- * Repetidoras
- * Cancelamento de ruído
- * ISDN

b) Comunicação de dados:

- * Modems de alta velocidade
- * Fax de alta velocidade

c) Radiocomunicações:

- * Sistemas de comunicações seguras
- * Radiodifusão
- * Telefones celulares

d) Computadores:

- * Estações de trabalho
- * PCs
- * Aceleradores gráficos

e) Processamento de imagem

- * Compressão, restauração
- * Visão de robô
- * Animação

f) Instrumentação

- * Análise espectral
- * Aquisição de dados
- * Geração de formas de onda

g) Processamento de som

- * Rádio digital (AM/FM)
- * HI FI

Mais informações

No site do autor www.newtoncbraga.com.br podem ser encontrados diversos artigos que ensinam mais sobre DSPs e também nos dois volumes do Curso de Eletrônica Digital”.

- * Cancelamento de ruído
- * Síntese de música e processamento

h) Controle

- * Servos
- * Robótica
- * Controle de motores

i) Medicina

- * Scanners
- * Raio X
- * Eletrocardiograma

f) Vídeo digital

- * TV digital

g) Radar e Sonar

- * Navegação
- * Oceanografia
- * Localização automática

8.5 - Memórias

Equipamentos de telecomunicações Computadores e muitos outros tipos de equipamentos digitais possuem dois tipos básicos de memória: voláteis e não voláteis.

As memórias voláteis são aquelas que perdem as informações gravadas quando a alimentação do equipamento é desligada. As memórias não-voláteis são aquelas que retêm a informação mesmo depois que o equipamento é desligado. Estas memórias consistem em circuitos integrados especiais que são encontrados em diversos pontos de um equipamento, computador e seus periféricos. Analisemos em pormenores essas memórias:

ROM - Read Only Memory (memórias somente de leitura)

- estas são memórias que contém dados que não podem ser alterados e se mantém mesmo quando o equipamento é desligado. Estas memórias consistem em pequenos circuitos integrados em invólucros DIL, que já vem gravados de fábrica com informações que o computador precisa para funcionar.

RAM - Random Access Memory (memória de acesso aleatório) - Estas são as memórias principais de um equipamento, se bem que sejam do tipo volátil. Nela ficam todos os dados e, eventualmente, o próprio programa que está sendo usado pelo equipamento. Ela consiste portanto na “área de trabalho” no caso de seu computador.

EPROMs - Estas são memórias ROM, mas que podem ser apagadas e gravadas novamente por meios especiais. Antigamente encontrávamos essas memórias em alguns equipamentos especiais. Os antigos videogames, por exemplo, tinham os jogos gravados nestas memórias que eram então montadas nas plaquetas do interior do cartuchos.

Para apagar essas memórias existe no invólucro do circuito integrado uma “janela” de quartzo que é transparente à radiação ultravioleta. Basta submeter essas memórias a um “banho” de luz ultravioleta de uma lâmpada fluorescente especial para apagar seu conteúdo, e depois gravá-la novamente.

OUTRAS - Além das memórias que vimos existem outros tipos que são encontradas em menor quantidade em aplicações especiais. Todas, entretanto, consistem em chips ou circuitos integrados com configurações especiais que podem ou não gravar de modo permanente informações.

8.6 - ESD – DESCARGAS ELETROSTÁTICAS

Nas localidades mais afastadas do litoral, principalmente no inverno, a umidade relativa do ar cai a valores tão baixos que o acúmulo de eletricidade estática em objetos de uso comum atinge elevados níveis. Fora os problemas de eventuais choques quando tocamos na fechadura de um carro ou numa torneira (por estarmos carregados), para quem trabalha com dispositivos eletrônicos sensíveis, a coisa é muito mais grave. Componentes sensíveis, circuitos integrados e até mesmo placas podem ser danificadas mesmo no processo de retirá-los de uma embalagem. A ESD ou Descarga Eletrostática vai ser o assunto das próximas linhas.

Na natureza a tendência é que os corpos permaneçam neutros, ou seja, com igual número de cargas positivas e negativas, conforme mostra a figura 234.

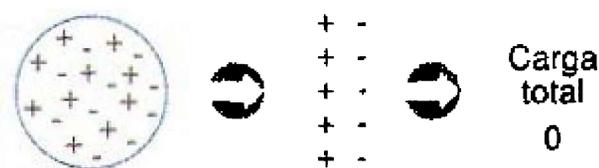


Figura 234 – Corpos neutros

Na prática, entretanto, não é isso o que ocorre. Diversos fenômenos podem quebrar esse equilíbrio e cargas de determinada polaridade podem prevalecer nos corpos, causando então diversos tipos de problemas quando a neutralidade é novamente atingida. Isso ocorre, porque essa neutralidade é atingida com uma descarga ou forte movimentação dessas cargas.

O desequilíbrio dessas cargas pode atingir valores tão elevados que os corpos em que isso ocorre estarão submetidos à tensões de centenas ou milhares de volts. Uma pessoa caminhando num carpete pode acumular cargas em seu corpo num potencial que pode facilmente superar os 1 000 V.

Sugerimos estudar as primeiras lições do Curso de Eletrônica - Eletrônica Básica - Vol 1 para aprender mais sobre o assunto.

No nosso curso de Eletrônica Básica aprendemos que podemos quebrar o equilíbrio elétrico de um corpo por atrito, contacto ou indução. Para o profissional da eletrônica é preciso saber como restabelecer o equilíbrio para evitar que ele cause estragos nos componentes e circuitos eletrônicos.

Mas, quais são os meios que os profissionais que precisam trabalhar em lugares secos com componentes sensíveis devem usar para evitar que cargas estáticas se acumulem em locais impróprios causando problemas?

8.6.1 - Aterramento

Qualquer corpo carregado ligado à terra descarrega-se. Um profissional que manuseia peças de plástico e esteja isolado da terra (piso isolante ou carpete) pode acumular centenas ou milhares de volts durante seu trabalho. A solução mais adotada em casos como este e a de se aterrar o operador. Para essa finalidade temos diversos procedimentos que podem ser adotados.

Um deles consiste em se usar pulseiras ou caneleiras de aterramento, conforme mostra a figura 235.

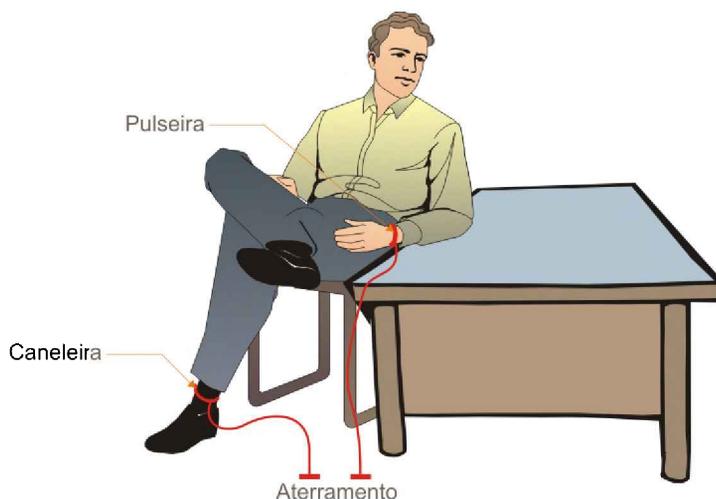


Figura 235 – Aterramento através de pulseiras

No entanto, numa linha de montagem, num laboratório de desenvolvimento ou de manutenção de equipamentos eletrônicos, o aterramento pode ser muito mais complexo. Diversos recursos devem ser usados para se evitar a ação das descargas estáticas capazes de destruir equipamentos sensíveis.

Todas as bancadas de trabalho, prateleiras e outros locais que potencialmente possam representar a possibilidade de um acúmulo de eletricidade estática devem ser aterrados. Na figura 236 temos uma figura que ilustra esses locais.

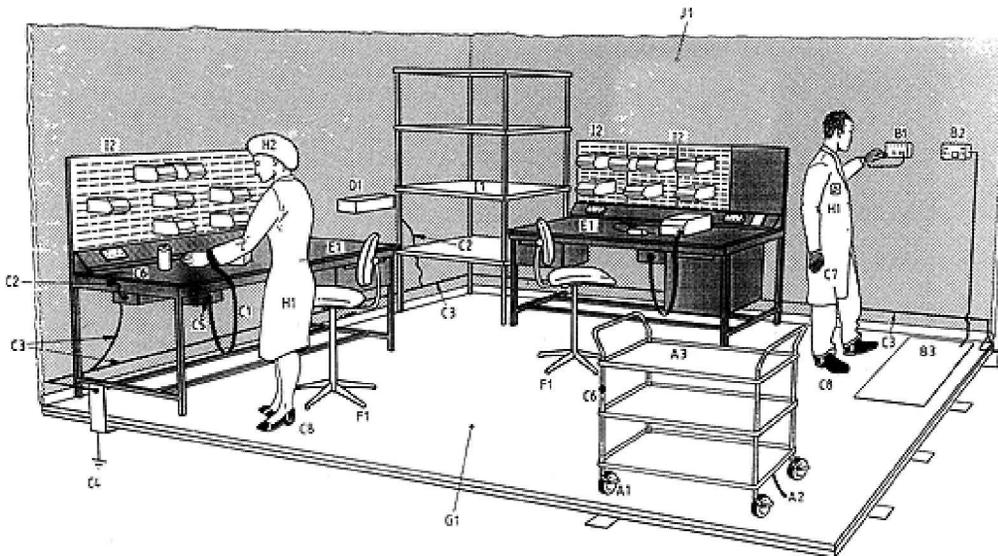


Figura 236 – Aterramentos de um laboratório

· A1 Rodas aterradas · A2 Travessas aterradas · A3 Base aterrada · B1 Teste de cargas estática · B2 Teste de carga corporal · B3 Placa para descarga corporal · C1 Pulseira e fio de aterramento · C2 Fio de aterramento · C3 Terra para ESD · C4 Terra · C5, C6 Conexão de aterramento · C7 Luvas · C8 Salto e sola com dispositivos de descarga · D1 Ionizador · E1 Superfícies de trabalho · F1 Cadeira com aterramento · G1 Piso aterrado · H1 Roupas anti-estáticas · H2 Gorro anti-estático · I1 Prateleiras aterradas · I2 Rack aterrado · J1 EPA (ESD Protected Area) – área protegida contra ESD

É preciso levar em conta que alguns procedimentos que são aceitos como suficientes para se eliminar as cargas podem não ser. Por exemplo, se aterrarmos um profissional, as cargas acumuladas na sua roupa podem não ser eliminadas. De fato, certos materiais usados nas roupas são tão pobres condutores de eletricidade, que mesmo aterrando a pessoa, a roupa ainda mantém a carga, conforme mostra a figura 237.



Figura 237 – A roupa também acumula cargas elétricas

Veja que o aterramento é eficiente quando existe percurso para que toda a carga acumulada num corpo se escoe para a terra.

Também é muito importante identificar a área protegida (EPA – ESD Protect Area) de modo que as pessoas que nela trabalham estejam conscientes de que é preciso tomar algumas precauções especiais quando componentes e circuitos são manuseados.

Observe que as superfícies de trabalho devem ser capazes de dissipar as cargas estáticas e ainda serem aterradas. Todos os operadores devem ter recursos para que seus corpos e roupas não armazenem cargas elétricas.

Os componentes e circuitos devem ser armazenados em locais que não armazenem eletricidade estática e mesmo suas embalagens devem ser capazes de dissipá-las.

8.6.2 - Ionização

Um recurso muito importante utilizado em instalações sensíveis ao acúmulo de eletricidade estática e, portanto, à ESD é a ionização.

Os ionizadores ou eliminadores estáticos, como também são chamados, são dispositivos que geram tanto cargas negativas como positivas. Essas cargas são atraídas pelo corpo carregado, conforme sua polaridade, ocorrendo o processo de neutralização, conforme mostra a figura 238.

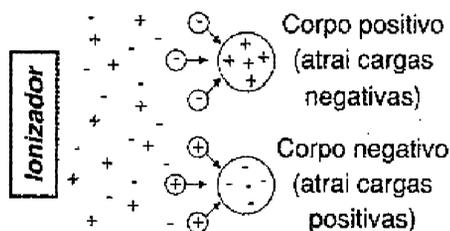


Figura 238 – Usando o ionizador

No entanto é preciso tomar cuidado para que o material não adquira novamente cargas elétricas ao ser atritado depois de neutralizado.

Os neutralizadores por ionização ou ionizadores nada mais são do que geradores de alta tensão pulsante alternada na frequência da rede de energia de 60 Hz. Quando pulsos de alta tensão são aplicados a uma ponta, conforme mostra a figura 239, o ar em sua volta ioniza e é dispersado por um ventilador.

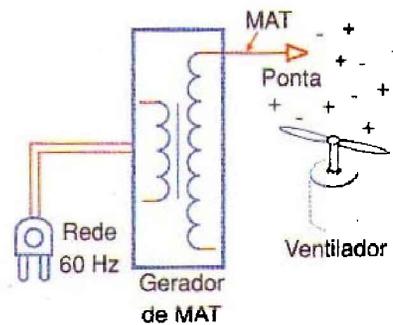


Figura 239 – Um ionizador

No processo usado são gerados pulsos negativos nos semiciclos negativos da rede e pulsos positivos no semiciclo positivo de modo que temos a produção de íons positivos e negativos em igual quantidade.

Se o material colocado diante do ionizador estiver carregado positivamente, ele atrai apenas os íons negativos e se neutraliza. Se o material estiver carregado negativamente ele atrai os íons positivos e também se neutraliza, conforme mostra a figura 240.

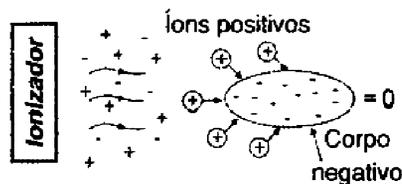


Figura 240 – Atração dois ions pelo ionizador

Existem também dispositivos de ionização que fazem de uso de substâncias radiativas como isótopos de Polônio 210, que no entanto tem uma meia vida de apenas 138 dias. Esses materiais ionizam constantemente o ar em sua volta pela radiação nuclear, mas além de serem perigosos devem ser trocados anualmente pela perda de sua capacidade de ionização.

8.6.3 - Como Solucionar Problemas de ESD

Componentes eletrônicos, placas caras e equipamentos que fazem uso de componentes sensíveis a ESD estão apresentando proble-

Ionizadores domésticos
Malestares, enxaquecas e crises alérgicas, segundo se constatou podem ser causados por ionização ambiente, principalmente a presença de cargas positivas. Assim, em casas de artigos médicos podem ser encontrados ionizadores ambientes que visam neutralizar estas cargas, evitando o desconforto de pessoas sensíveis.

mas constantes nos dias secos devido à cargas acumuladas? É hora de tentar identificar o problema para encontrar a melhor solução.

Para identificar o problema de uma forma mais precisa existem instrumentos capazes de localizar cargas estáticas. Estes localizadores não só dão uma idéia da intensidade das cargas como também da sua polaridade, permitindo assim que se tomem as medidas necessárias a sua eliminação.

Uma vez identificado o problema deve-se partir para a sua eliminação. Para isso deve-se pensar tanto nos aterramentos como na possibilidade de se usar equipamentos de ionização. Se o corpo que manifesta as cargas for totalmente condutor, o aterramento resolve. No entanto, se for parcialmente condutor com áreas isolantes então deve-se pensar na solução dada pelo ionizador.

É claro que existem os casos em que as duas soluções devem ser consideradas.

8.6.4 - Normas

No Brasil, as normas que regem os procedimentos para se evitar ou corrigir problemas de ESD são:

NBR14163 (97) – Terminologia Utilizada no Controle Eletrostático

NBR14164 – Simbologia ESD

Proj. 1131 003 – Requisitos Básicos Para Proteção de Componentes Sensíveis à ESD

Há ainda as seguintes normas do IEC que devem ser analisadas quando se trata de proteção contra ESD:

- IEC 1340 -1 – Generalidades
- IEC 1340-1-1 – Guia para os princípios dos fenômenos eletrostáticos.
- IEC 1340-1-2 – Definições e terminologia
- IEC 1340-2 – Medidas e métodos em eletrostática
- IEC 1340-2-1 – Decaimento de cargas
- IEC 1340-2-2 – Cargabilidade
- IEC 1340-2-3 – Resistências e resistividades
- IEC 1340-3 – Métodos para simular efeitos eletrostático
- IEC 1340-3-1 – Modelo do corpo humano
- IEC 1340-3-2 – Modelo de máquina
- IEC 1340-3-3 – Modelo do componente carregado
- IEC 1340-3-4 – Modelo de efeito de campo
- IEC 1340-4 – Métodos de teste para aplicações específicas
- IEC 1340-4-1 – Avaliação da cobertura de piso
- IEC 1340-4-2 – Embalagem
- IEC 1340-4-3 – Calçados
- IEC 1340-5 – Especificações para proteção de dispositivos eletrônicos sensíveis à eletricidade estática
- IEC 1340-5-1 – Exigências gerais

- IEC 1340-5-2 – Guia do usuário
- IEC 1340-6 – Técnicas para o controle do fenômeno eletrostático & métodos para reduzir seus efeitos
- IEC 1340-6-1 – Ionizadores

8.7- Radiação Eletromagnética e Saúde

Desde que a Doutora Wertemeir em 1970 revelou em estudos que os campos das linhas de transmissão de energia estariam diretamente associados ao aumento do número de casos de leucemia, principalmente em crianças, e depois a controvérsia da influência da radiação dos celulares na saúde, analisamos diversos documentos de entidades internacionais que procuravam alertar para o perigo da situação.

O que se fala agora é que os estudos feitos principalmente com as radiações de altas frequências dos celulares e outros dispositivos que as produzem, como os fornos de micro-ondas, tiveram uma abordagem inadequada.

Esses estudos partiram sempre do fato de que as radiações produzem efeitos térmicos (aquecem os tecidos vivos) e é esse calor que causa os danos. Desde há muito, entretanto alertamos que o problema vai além.

Por exemplo, certos íons que fazem parte das substâncias vivas ressonam em frequências muito próximas da frequência da rede de energia (60 Hz e 50 Hz em alguns países), o que os torna especialmente sensíveis aos campos que atuam sobre o tecido vivo. Sob a influência desses campos, a vibração desses íons pode levar a alterações de natureza química nas células em que eles estão e com isso alterações fisiológicas.

Um estudo que alertou sobre esse fato até sugeriu que a frequência da rede de energia fosse elevada para 100 ou 120 Hz no sentido de proteger mais os seres humanos, no entanto, por motivos técnicos, o assunto não foi levado adiante. Seria preciso alterar as características elétricas de todos os aparelhos que funcionam hoje na rede de energia, o que é impossível.

Agora parece que o assunto está sendo finalmente abordado de uma forma mais ampla visando o estabelecimento de leis e padrões que protejam as pessoas contra a ação desses campos.

Documentos recentes revelaram que os níveis atuais de radiação máxima tanto em campos de baixa como de alta frequência estabelecidos por diversos padrões internacionais são inadequados. E mais ainda, mostra que níveis, mesmo que pequenos são causa de problemas que vão desde alterações genéticas e nas proteínas do organismo humano, até efeitos genotóxicos, no stress, alterações das funções imunológicas, tumores cerebrais e de mamas, efeitos neurológicos, efeitos relacionados com o mal de Alzheimer e evidentemente a leucemia.

8.8 - Blindagens

Blindagens são recursos usados para se evitar a irradiação de sinais indesejáveis tanto de natureza elétrica, magnética como eletromagnética (EMI). A irradiação desses sinais pode causar interferências, principalmente em circuitos de telecomunicações ou ainda em dispositivos sensíveis. As blindagens podem ser elétricas, magnéticas ou eletromagnéticas.

Dentre as blindagens elétricas mais comuns podemos citar as que envolvem o componente com uma capa metálica ou ainda uma gaiola de Faraday, devidamente aterradas. Essas blindagens evitam que campos elétricos ou sinais de altas frequências saiam do circuito blindado sendo irradiados para os circuitos vizinhos. Um tipo de blindagem que pode ser dada como exemplo é a usada em válvulas, com forme mostra a figura 241.

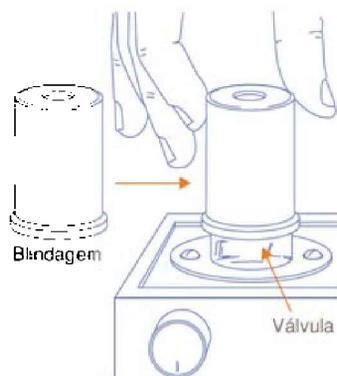


Figura 241 – Uma blindagem para válvula

É importante observar que, para que uma blindagem desse tipo funcione, ela deve estar devidamente aterrada.

Como outro tipo de blindagem elétrica, podemos citar a capa de metal ou malha que existe em torno de cabos que devem conduzir sinais como, por exemplo, os cabos de RF e cabos de microfones. Essas blindagens tanto evitam a irradiação de sinais indesejáveis pois o cabo funciona como uma antena, como a captação desses sinais.

Para o caso de blindagens magnéticas, elas são necessárias quando componentes que geram fortes campos magnéticos, tais como, transformadores, motores e bobinas podem interferir em circuitos próximos, conforme mostra a figura 242.

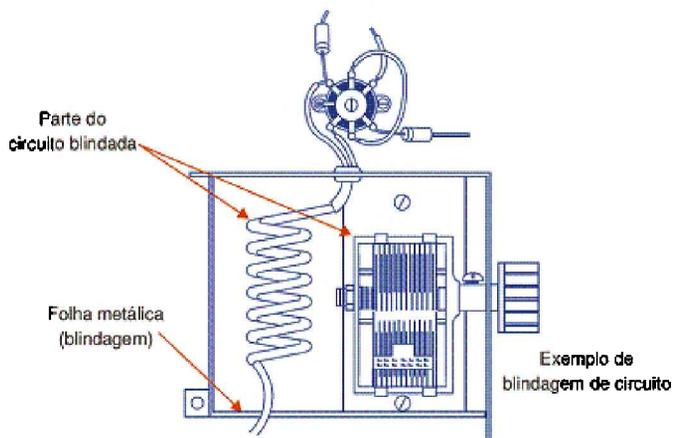


Figura 242 – Blindagem para um circuito de RF

Materiais diamagnéticos como o alumínio e o cobre podem ser usados para a construção dessas blindagens que devem envolver o componente interferido ou interferente. Essas blindagens também devem ser devidamente aterradas.



Figura 243 – Uma demonstração da gaiola de Faraday

Na figura 243 uma pessoa dentro de uma Gaiola de Faraday recebe uma descarga de centenas de milhares de volts de uma bobina tesla, nada acontecendo com ela. A descarga contorna a pessoa pela gaiola indo para a terra.

Para pesquisar

- Efeito Doppler
- Inteligibilidade
- Decibel
- Difração do som
- Éco e reverberação
- Microcontroladores
- Processamento da palavra
- Gravação digital
- ESD
- Ionização
- Descargas atmosféricas

Questionário

- 1) Não podemos ouvir as frequências sonoras acima de:
 - a) 200 Hz
 - b) 1 kHz
 - c) 1 MHz
 - d) 18 kHz

- 2) O eco é resultante da:
 - a) Difração do som
 - b) Reflexão do som
 - c) Dispersão do som
 - d) Atenuação do som

- 3) O processamento de sinais de áudio na forma digital é feito por dispositivos denominados:
 - a) Memórias
 - b) Microcontroladores
 - c) DSPs
 - d) Memórias

- 4) Memórias que perdem a informação quando a alimentação é desligada são denominadas:
 - a) Voláteis
 - b) Não voláteis
 - c) Somente de leitura
 - d) Somente de gravação

- 5) A amostragem de sinais analógicos para transferir para um circuito digital é feito por um circuito denominado:
 - a) Quantizador
 - b) Decimador
 - c) Sample and Hold
 - d) DSP

- 6) Pelo critério de Nyquist a frequência máxima de amostragem de um sinal deve pelo menos:
 - a) Metade do sinal amostrado
 - b) O dobro do sinal amostrado
 - c) O triplo do sinal amostrado
 - d) Igual a do sinal amostrado



» RESPOSTAS » LINKS ÚTEIS

Questionário – Respostas

Capítulo 1

1-b, 2-c, 3-b, 4-b, 5-c, 6-b, 7-d, 8-b, 9-c

Capítulo 2

1-a, 2-c, 3-c, 4-c, 5-d

Capítulo 3

1-a, 2-c, 3-b, 4-b, 5-b, 6-d

Capítulo 4

1-c, 2-c, 3-b, 4-b, 5-b, 6-b, 7-d

Capítulo 5

1-b, 2-b, 3-b, 4-c, 5-d, 6-a

Capítulo 6

1-c, 2-c, 3-d, 4-d, 5-c

Capítulo 7

1-c, 2-b, 3-c, 4-b, 5-d, 6-b, 7-c, 8-a.

Capítulo 8

1-d, 2-b, 3-c, 4-a, 5-c. 6-b

Links úteis

O site do autor deste curso, Newton C. Braga (www.newtoncbraga.com.br) contém uma grande quantidade de artigos que podem complementar este curso. São artigos em todos os níveis que tanto servem para ajudar a entender melhor os conceitos do curso como também para ir além, com mais conhecimentos e conhecimentos mais profundo sobre os assunto abordados

Capítulo 1

MA033 – Radiação de celulares

TEL008 – Antenas

Capítulo 2

COL062– O decibel e eu

TEL011 – Transmissores, ruídos e espúrios

ART091– Filtros e harmônicas

Capítulo 3

TEL014 – Fibras ópticas

TEL031 – Fibras ópticas

ART067 – Problemas causados por transmissores

ART218 – Como ajustar transmissores

Capítulo 4

TEL025 – Oscilador de batimento para SSB

ART031– Rádio de galena

Capítulo 5

INS100 – Ajuste de decodificador FM estéreo

ART421 – modulador de FM

TEL034 – Técnicas de demodulação e multiplex

Capítulo 6

TEL048 – Conceitos de modulação digital

Capítulo 7

TEL034 – Técnicas de demodulação e multiplex

ART159 – Multiplexadores e demultiplexadores

TEL003 – Espectro espalhado

HIST028 – Quem foi Hedy Lamarr

Capítulo 8

MA033 – Radiação de celulares

MIC065 – Aplicações dos DSP em áudio

ART438 – Memórias, como funcionam

