

MANUAL DO ALUNO

DISCIPLINA AUDIO, VIDEO E TV

Módulos 1, 2, 3 e 4

República Democrática de Timor-Leste
Ministério da Educação



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE AUDIO, VIDEO E TV
Módulos 1 a 4

AUTOR

JORGE FLÁVIO

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA
XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO
XXXXXXXXXX

DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA
EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO
XXXXXX

ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM

XXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE
2013



Índice

Modulação AM.....	9
Apresentação.....	10
Introdução	10
Objetivos de aprendizagem	11
Âmbito de conteúdos	11
Princípios das Transmissões.....	12
Introdução	12
Emissores / Recetores / Informação.....	12
Ondas eletromagnéticas.....	16
Modulação	19
Continuous Wave (CW)	20
Modulação de Amplitude (AM)	21
SSB Single Side Band.....	23
Circuito modulador AM síncrono a díodo.	24
Recetores AM.....	28
Bibliografia	37
Modulação de Fases e Impulsos.....	39
Apresentação.....	40
Introdução	40
Objetivos de aprendizagem	40
Âmbito de conteúdos	41
Modulação FM	42
Introdução	42
<i>A modulação FM.....</i>	<i>42</i>
A expressão matemática do sinal FM	44
Desvio de frequência	45
Largura de banda do sinal FM	46
FM faixa estreita	46
FM faixa larga	47
Demodulação de sinais FM.....	49



Discriminador de Inclinação	49
Discriminador de Inclinação Balanceado.....	50
FM estéreo.....	50
Transmissor estéreo	50
(FSK) Frequency-Shift Keying	52
Modos Digitais	53
Recetores FM	56
Recetor	56
Antena	56
Etapa de RF	57
Oscilador Local.....	58
Misturador	59
Etapa de F.I.	59
Detetor	60
Etapa de Áudio	60
Recetor estéreo	61
Modulação de Impulsos	62
Introdução	62
Conversão analógico-digital.....	63
Teorema da Amostragem	64
PAM – Modulação por amplitude de impulsos.....	66
Quantificação.....	66
PCM - Modulação por código de impulsos	68
Antenas e Sistemas de Transmissão	73
Apresentação.....	74
Introdução	74
Objetivos de aprendizagem	74
Âmbito de conteúdos	74
Antenas.....	75
Introdução	75
Espectro eletromagnético de frequências.....	75
Caraterísticas da onda eletromagnética	77



Frente de onda	78
Período	78
Velocidade de propagação	79
Comprimento de onda	80
Polarização.....	80
Mecanismos de radiação	81
Linhas de Transmissão	86
Introdução	86
Ondas guiadas	86
A linha de transmissão de dois condutores.....	88
Impedância característica.....	92
Atenuação e perdas	92
Reflexão de energia	92
Linha de transmissão uniforme	93
Conceitos básicos de antenas	96
Introdução	96
Influência de um plano condutor infinito	97
Antena dipolo	98
Noções de conjuntos	100
Alimentação de antenas	102
Parâmetros principais de antenas.....	106
Introdução	106
Diagrama de radiação.....	107
Relação frente-costas	108
Impedância	108
Largura de banda.....	109
Temperatura de ruído.....	109
Tipos de antenas	111
Introdução	111
Antenas eletricamente curtas.....	111
Antenas ressonantes	114
Antenas de banda larga	117

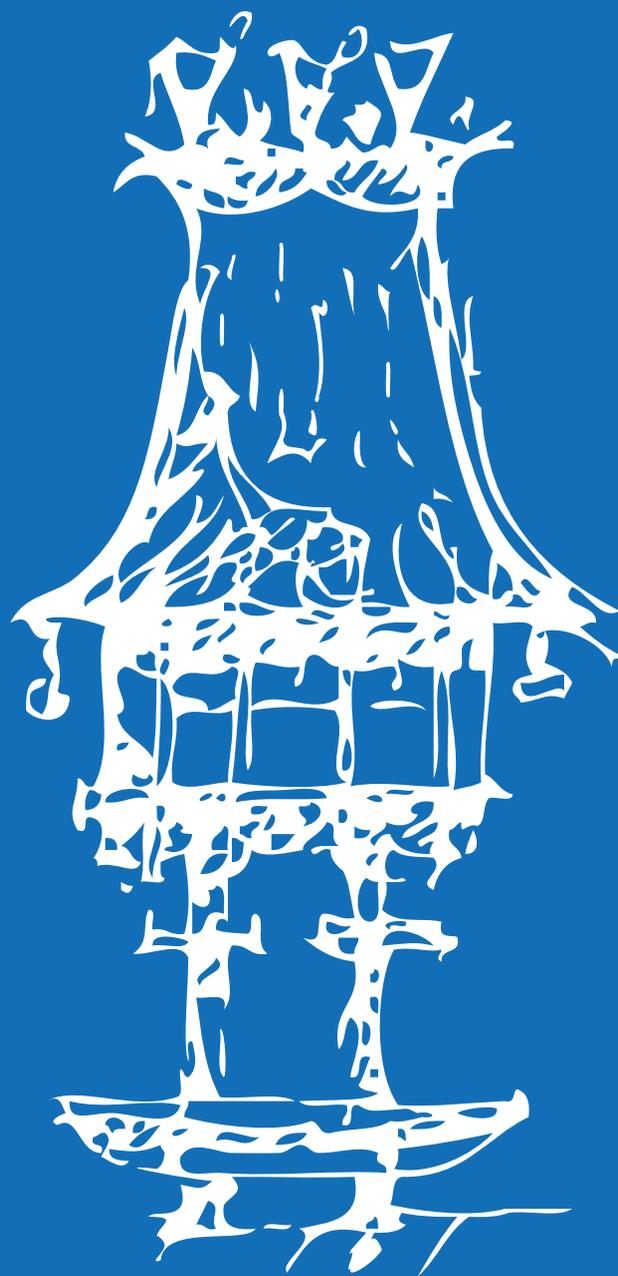


Antenas de abertura	120
Propagação de Ondas Eletromagnéticas	122
Introdução	122
Propagação no espaço livre	122
A atmosfera	123
Troposfera	123
Estratosfera	124
Ionosfera	124
Propagação na atmosfera	124
Modos de propagação	125
VLF	126
LF e MF	126
HF	127
VHF e UHF	127
SHF	128
EHF	128
O efeito da atmosfera	129
Raio efetivo da terra	130
Efeitos do terreno	131
Princípio de Huygens	131
Difração por obstáculo	132
Zonas de Fresnel	133
Perdas por difração	134
Sistemas de Transmissão de TV	136
Introdução	136
O Tamanho Padrão das Imagens da TV	137
O Sistema de Transmissão NTSC	138
Os Sistemas de Televisão PAL e SECAM	138
Conversão de Padrões	139
TV de Alta Definição / Televisão Digital	139
Convertendo Telas Grandes	140
Bibliografia	143



Receção Satélite e Sistemas Coletivos	145
Apresentação.....	146
Introdução	146
Objetivos de aprendizagem	146
Âmbito de conteúdos	147
Televisão via satélite.....	148
Introdução	148
Funcionamento geral da televisão via satélite	150
Análise do sistema em blocos	152
Satélites	157
Antenas Parabólicas	162
Introdução	162
A Norma Internacional DVB-S	170
Introdução	170
Sistemas coletivos de antenas de TV	175
Introdução	175
Sinal mínimo standard.....	176
O decibel (dB)	177
Como equalizar os vários canais de TV	177
Formulário	178
Colocação dos conectores macho tipo F em cabos coaxiais RG-59-U	179
Planeamento de um Sistema Coletivo	181
Bibliografia	187







Modulação AM

Módulo 1

Apresentação

O primeiro módulo desta disciplina de *Áudio Vídeo e TV*, tem como função a introdução do aluno no contexto da transmissão e recepção de áudio a longas distâncias.

Este módulo tem carácter teórico-prático, por isso deverá decorrer, em parte, em ambiente de laboratório de forma que os alunos possam verificar experimentalmente as características básicas dos recetores e transmissores A.M. (Modulação em Amplitude) Abordaremos os principais conceitos aplicados no estudo das telecomunicações, pois eles são de vital importância para a compreensão do princípio de funcionamento dos equipamentos usados nessa atividade profissional, entendimento da literatura técnica especializada, além dos próprios manuais dos equipamentos. Também devemos levar em conta que a grande maioria dos autores os tomam como pré-requisitos.

O objetivo dessa disciplina, portanto, é torná-lo apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos e a comunicação adequada com os profissionais da área.

Iniciaremos o curso com algumas definições sobre comunicações, necessárias ao entendimento do princípio de funcionamento dos equipamentos com os quais terá contacto na sua vida profissional. Depois, passaremos ao estudo da transmissão de sinais, analisando como esses mesmos equipamentos podem enviar e receber informações.

Posteriormente, analisaremos as representações dos sinais utilizados em telecomunicações, levando o aluno a uma percepção gráfica dos tipos de sinais que são utilizados nos sistemas de comunicação, além das representações usadas para descrição de suas características.

Introdução

A abordagem da modulação em amplitude e frequência é relevante para o entendimento da transmissão de sinais a longa distância. São utilizados hoje em dia na recepção de rádio assim como no áudio da televisão. Assim temos as primeiras emissões de rádio para as populações com um custo reduzido utilizando emissores de modulação em amplitude.

Este módulo requer um conhecimento básico de circuitos eletrónicos e respetiva análise e compreensão desses circuitos.



Objetivos de aprendizagem

Sugere-se, no final do módulo, uma análise sumária da evolução dos nossos recetores de rádio até à sua inclusão na Internet.

- Compreender o princípio de funcionamento da A.M.
- Explicar as características da A.M.
- Conhecer métodos de modulação derivados da A.M.
- Montar um transmissor A.M. elementar.
- Conhecer os circuitos típicos de um recetor A.M., a sua função, características e funcionamento.
- Definir as especificações mais importantes do recetor A.M.
- Analisar o esquema de um recetor A.M. mais complexo.

Âmbito de conteúdos

Neste módulo pretende-se apresentar os princípios básicos para a transmissão de informação através de longas distâncias:

- Princípios das Transmissões.
- Modulação de Amplitude.
- Recetores AM.



Princípios das Transmissões

Introdução

Todo o profissional das telecomunicações deve conhecer uma série de conceitos básicos de maneira firme e exata. É a demonstração do conhecimento destes conceitos que faz com que sua competência seja reconhecida pelos profissionais do setor e daqueles que necessitam dos seus serviços. Assim, iniciamos o estudo justamente com a abordagem de alguns conceitos básicos das telecomunicações, como, por exemplo, os relativos aos conceitos de emissores, recetores, informação e, principalmente, um estudo das ondas eletromagnéticas, tão amplamente utilizadas nas telecomunicações.

Em síntese, neste capítulo poderá familiarizar-se com as nomenclaturas específicas da área de telecomunicações, saber de que modo funcionam os equipamentos que devem enviar e receber informações – os emissores e recetores, e compreender o uso e as principais características das ondas eletromagnéticas.

Emissores / Recetores / Informação

O objetivo de um sistema de comunicação é transmitir a «informação» de um ponto para outro. Ou seja, a partir de uma fonte-origem, que chamamos de emissor, até um destino, que chamamos de recetor, utilizando alguma forma ou meio para a realização dessa tarefa.

Assim, um sistema de comunicações básico é formado por um emissor, um recetor e um meio para levar a informação de um até o outro, ou seja, um meio de transmissão.



Fig. 1 - Sistema de comunicações

O canal é o meio por onde é transferida a informação. Ex.: linha de transmissão, ar, água, etc. Este possui uma determinada largura de banda que é o limite de transporte da informação.



Na figura seguinte ilustramos uma pessoa falando para outra onde o canal de comunicação é o ar.

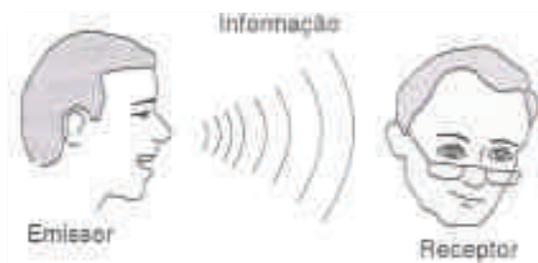


Fig. 2 - Exemplo de transmissão de informações.

Neste caso, a informação é enviada através da voz e o meio de transmissão são as ondas mecânicas que transmitem o som pelo ar. Essas ondas mecânicas necessitam de meios físicos para se propagarem e atingirem o recetor, sejam estes meios sólidos, líquidos ou gasosos. Uma prova disso é que não se pode conversar no vácuo (espaço), pois não existe meio (ar) para que a onda sonora se propague.

Outro exemplo que pode ser tomado é quando enviamos uma carta a alguém. O meio de transmissão será a escrita em papel.

Então, podemos genericamente representar qualquer sistema de comunicações da forma mostrada na figura seguinte.

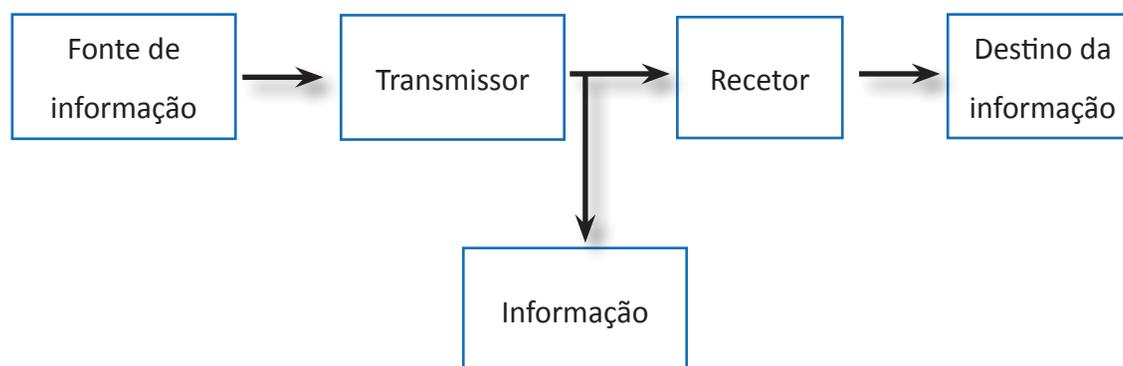


Fig. 3 - Representação de um sistema de comunicação unidirecional.

Observe que no exemplo da figura 3 a informação viaja apenas num sentido, ou seja, vai sempre do transmissor para o recetor. Um exemplo disso seria a comunicação de rádio e TV convencionais, onde temos as estações transmissoras e os telespectadores com os seus recetores e a informação é sempre transferida no sentido das emissoras para os espectadores.



Podemos imaginar também um sistema bidirecional, onde cada lado possui um transmissor e um recetor (transmissor + recetor = transcetor). Com isso, teríamos um sistema de comunicação como é mostrado na figura 4.

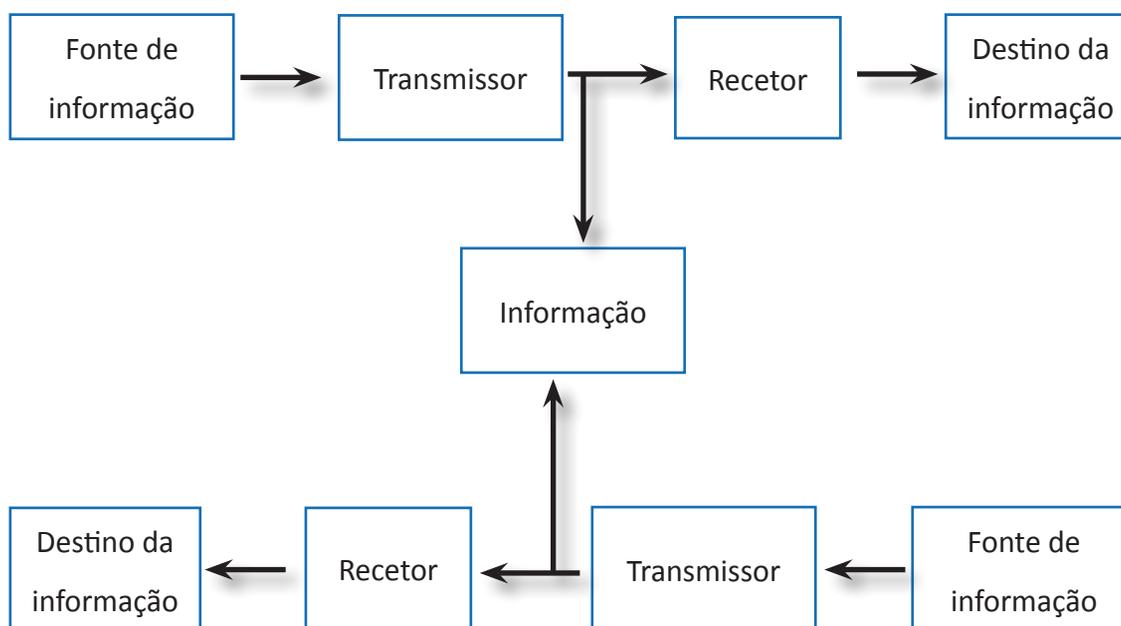


Fig. 4 – Representação de uma comunicação bidirecional.

O exemplo da figura 2 enquadra-se neste caso mostrado na figura 4. Ambas as pessoas possuem fonte de informação (fala, linguagem) e um destino (cérebro, compreensão da fala). Possuem também transmissor (boca) e recetor (ouvido). Nesse caso, irão existir momentos em que uma pessoa transmite e a outra recebe, e momentos em que as funções se invertem, quando a outra pessoa transmite e a primeira recebe.

Pode imaginar-se o caso em que as duas pessoas falam ao mesmo tempo. Embora isso seja fisicamente possível, uma comunicação entre pessoas dessa forma (as duas falando ao mesmo tempo), ela não é nada prática, pois as pessoas não se irão entender.

Dentro desse contexto, em telecomunicações podemos definir três tipos de comunicação envolvendo recetores, transmissores e obviamente um meio: A comunicação simplex, a comunicação half-duplex e a comunicação full-duplex.

Uma comunicação é dita simplex quando permite a comunicação apenas num único sentido, tendo numa extremidade um dispositivo apenas transmissor (transmitter) e do outro lado, um dispositivo apenas recetor (receiver). Não há possibilidade do dispositivo recetor enviar informação de volta para o transmissor. Transmissões de rádio e televisão são exemplos de transmissão simplex, como dito anteriormente.



Uma comunicação é dita half-duplex (também chamada semi-duplex) quando existem em ambas as extremidades dispositivos que podem transmitir e receber informação, porém não ao mesmo tempo. Durante uma transmissão half-duplex, em determinado instante um dispositivo A será transmissor e o outro B será recetor, em outro momento os papéis podem se inverter, como no caso das duas pessoas conversando.

Uma transmissão é dita full-duplex (também chamada apenas duplex) quando a informação pode ser transmitida e recebida simultaneamente em ambos os sentidos. Poderíamos entender uma linha full-duplex como funcionalmente equivalente a duas linhas simplex, uma em cada direção.

A figura 4 resume os três tipos de comunicações que acabamos de estudar. Note novamente que numa linha simplex, de um lado existe apenas o transmissor, e do outro apenas o recetor, ao contrário da comunicação half-duplex e full-duplex que possuem ambos (transcetores) em cada lado.

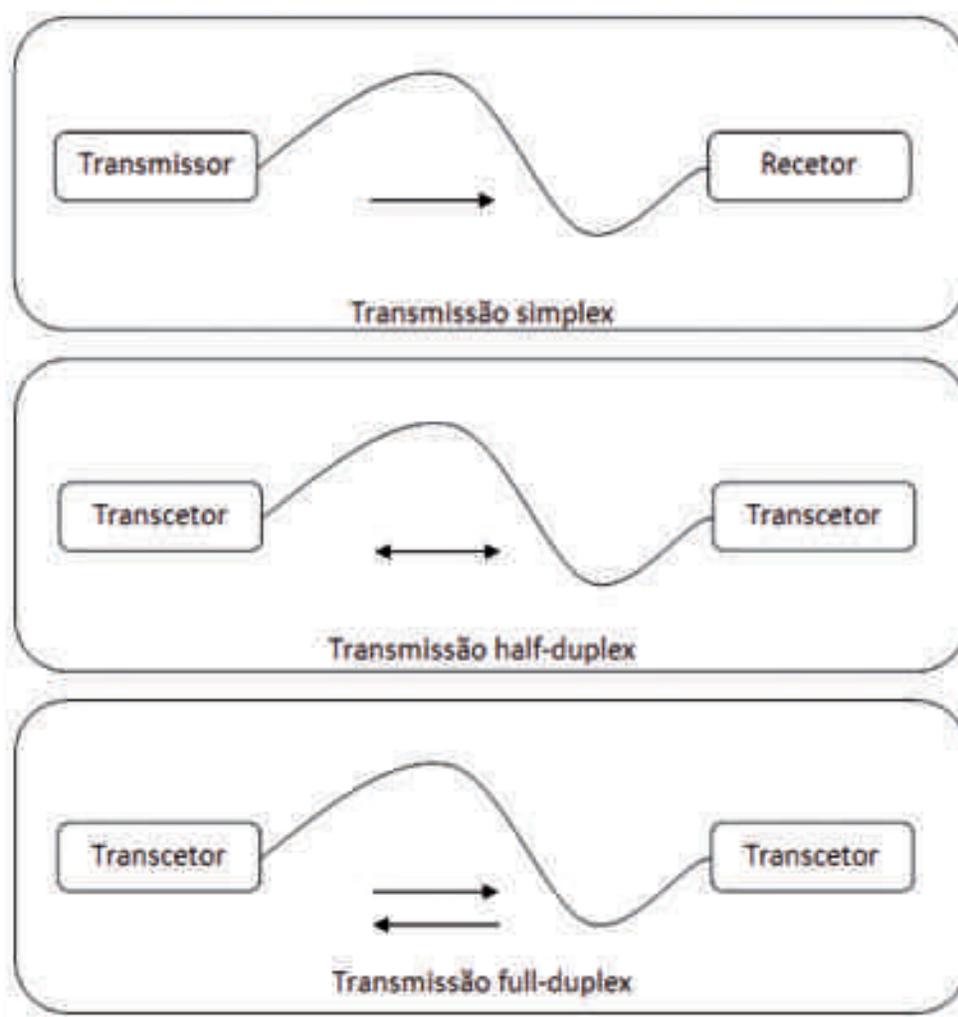


Fig. 5 – Classificação dos tipos de comunicação.



Um exemplo de transmissão half-duplex seria dois seguranças no mesmo edifício conversando em rádios portáteis conhecidos tecnicamente como HTs (do inglês handle transmitter, ou transmissor de mão) e conhecidos popularmente como walkie-talk. Os seguranças não podem falar ao mesmo tempo, pois um não ouvirá o outro. Isso deve-se ao facto de que quando o rádio (transceter) está transmitindo o recetor é desligado. Quando a transmissão se encerra, o rádio passa a somente receber. Em outras palavras, os seguranças só podem transmitir ou receber, nunca os dois ao mesmo tempo. Isso caracteriza, como vimos antes, a transmissão half-duplex.

Um exemplo, bastante comum hoje em dia, da comunicação full-duplex é aquela realizada entre dois computadores. Para maior agilidade entre a troca de informações realizada pelos dois computadores, eles podem transmitir e receber ao mesmo tempo. Diferentemente do exemplo passado dos seguranças, que podiam ou somente transmitir, ou somente receber.

De uma forma simples, para entendermos melhor como funcionam os sistemas básicos, continuaremos com o estudo dos princípios que envolvem um entendimento sólido nos princípios de telecomunicações. Para facilitar a compreensão, utilizaremos alguns exemplos de sistemas simplex, embora esses sistemas também possam ser imaginados como sendo half-duplex ou full-duplex.

Ondas eletromagnéticas

O sistema que tomamos como exemplo no item anterior, em que uma pessoa fala para outra, usa ondas sonoras, ou seja, ondas mecânicas que necessitam de um meio material para se propagar neste caso o ar. No entanto, a tecnologia moderna possibilita o envio de informações, incluindo a voz, através de outros tipos de ondas. Uma delas é justamente a representada pelas ondas eletromagnéticas, que possuem uma faixa de frequências que nos permite defini-las como ondas de rádio.

Isso leva-nos a um sistema de comunicações que faz uso dessas ondas para transmitir a voz, ou seja, um sistema de rádio.

Através de recursos técnicos é possível captar a voz de uma pessoa e fazer com que a informação que ela contém, seja transmitida através de ondas eletromagnéticas até um recetor remoto, onde essa informação é recuperada e novamente convertida em voz.



As características das ondas eletromagnéticas permitem de a informação possa ser levada a grandes distâncias com grande eficiência e sem a necessidade de um meio físico, ou seja, elas podem se propagar no vácuo.

Quando usamos a voz para nos comunicar com outra pessoa, o som que é emitido pelo nosso aparelho vocal é captado pelo aparelho auditivo da outra pessoa. Nossa boca funciona como uma espécie de órgão capaz de transferir as vibrações para o ar e o ouvido, com sua forma de concha, capta essas ondas dirigindo-as para os elementos que podem recebê-las e processá-las (cérebro).

No caso das ondas eletromagnéticas, também precisamos de elementos equivalentes para transferir a informação para o espaço, criando as ondas que transportam a informação. Para captar essas ondas e extrair a informação, deve existir um dispositivo semelhante ao ouvido (recetor) que transfere a informação para quem pode processá-la. Assim, para que seja possível a transmissão usando ondas eletromagnéticas, temos que incluir antenas em nosso sistema de comunicações, tanto no emissor como no recetor. A figura 6 mostra um exemplo de radiocomunicação.

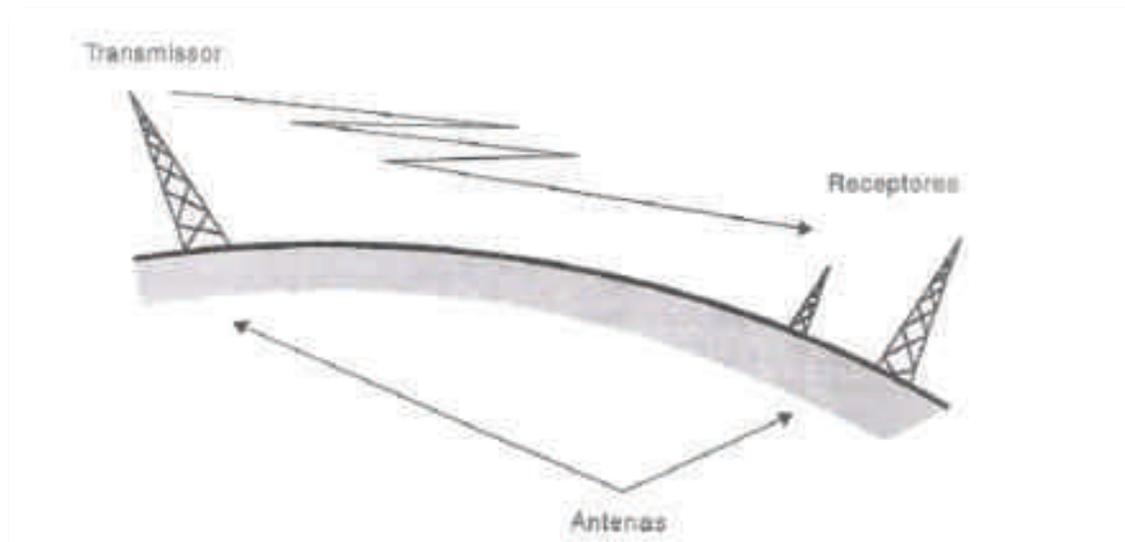


Fig. 6 – Comunicação via radiofrequência.

A função da antena transmissora no sistema é converter sinais elétricos vindos do rádio em ondas eletromagnéticas, enquanto a função da antena recetora é transformar as ondas eletromagnéticas captadas em sinais elétricos (tensão ou corrente).

Em eletrônica o termo transdutor é dado ao dispositivo capaz de converter um tipo de energia em outra, ou ainda traduzir um tipo de grandeza para outro tipo. Exemplos



clássicos de transdutores são os microfones e os autofalantes. Os microfones convertem energia sonora em um sinal elétrico análogo (idêntico eletricamente). De forma semelhante, o autofalante converte um sinal elétrico em uma onda sonora análoga.

Dessa maneira, temos que uma antena é um transdutor que converte sinais elétricos em eletromagnéticos e vice-versa.

Voltando para os sistemas de rádio, um transmissor tem uma função muito importante, que é a de preparar o sinal sonoro ou outro tipo de informação para ser transmitido através das ondas eletromagnéticas. Essa operação recebe o nome de modulação. Mais adiante, falaremos melhor sobre as técnicas de modulação. Por hora, entenda que a modulação é o processo pelo qual uma informação (voz ou dados) é embutida em uma onda eletromagnética.

A função do recetor é demodular o sinal, ou seja, extrair a informação da onda eletromagnética e transformá-la novamente na forma original do sinal transmitido, com a máxima fidelidade possível.

É importante observar que o tipo de modulação que o transmissor usará dependerá do tipo de informação que se deseja transmitir. Estudaremos mais adiante as técnicas de modulação mais utilizadas para transporte de voz, que são o AM e a FM. Quando a informação a ser transmitida se trata de dados, outros tipos de modulação são utilizadas, como veremos ao longo do curso.

Vale a pena também saber que esta transmissão de sinais através de ondas eletromagnéticas recebe o nome de transmissão por radiofrequência, ou ainda RF.

Observe que, em geral, quando um transmissor produz seus sinais, ele se propaga em diversas direções que dependem da antena usada e diversos recetores podem captá-los ao mesmo tempo.

Uma outra característica importante das ondas é que elas podem se cruzar ou estar presentes ao mesmo tempo no espaço, sem que uma interfira na outra.

A condição para que as ondas transmitidas por uma não interfiram nas ondas emitidas por outra é que transmissores trabalhem em frequências diferentes e os recetores tenham recursos para separar as ondas das diversas frequências, conforme a estação que se deseja captar. É o caso das estações de rádio AM e FM comerciais. Diversas estações podem estar a transmitir ao mesmo tempo, num mesmo local e diversos recetores captando, cada um deles uma estação, sem que isso dê origem a qualquer problema.



Modulação

Modulação é o processo através do qual a voz, música e outro sinal «inteligível» são adicionados às ondas de rádio produzidas por um transmissor. Os diferentes métodos de modular um sinal de rádio são chamados de modos. Um sinal de rádio não modulado é conhecido como portadora. Quando se escuta uma lacuna entre músicas ou anúncios numa estação de rádio, na realidade, «escutar-se» a portadora. Enquanto a portadora não contém nenhuma mensagem, pode dizer-se que está a ser transmitida porque anula a ruído de fundo do rádio.

Por definição, a modulação é a variação de um parâmetro de uma onda portadora sinusoidal, de maneira linearmente proporcional ao valor instantâneo do sinal modulante ou informação. Por sua vez, a portadora é a onda sinusoidal que, pela modulação de um dos seus parâmetros, permite a transposição espectral da informação (ou sinal modulante). Devido ao facto de a portadora sinusoidal ter três parâmetros: Amplitude, Frequência e Fase, existem três formas básicas de modulação: Modulação em Amplitude (AM), Modulação em Frequência (FM) e Modulação em Fase (PM - *Phase Modulation*). Para visualizarmos melhor os conceitos apresentados, podemos observar na figura abaixo a forma de onda sinusoidal da portadora:

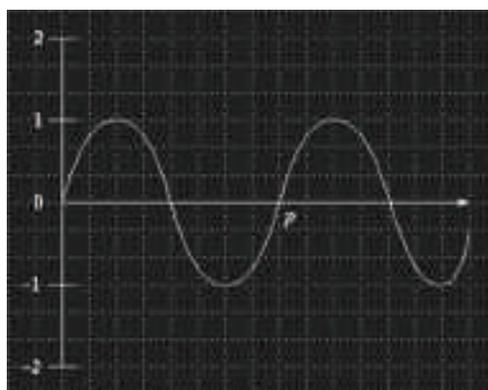


Fig. 7 – Frequência da portadora

Os diferentes modos de modulação têm as suas vantagens e desvantagens. Aqui está apresentado um breve resumo.



Continuous Wave (CW)

CW (Onda Contínua) é a mais simples forma de modulação. A saída do transmissor é comutada ou seja ligada e desligada, tipicamente para formar os caracteres do código Morse.

Os transmissores de CW são simples e baratos e o sinal CW transmitido não ocupa muito espaço em frequência (geralmente, menos que 500 Hz). Entretanto, os sinais de CW serão difíceis de serem ouvidos num recetor normal; irá ouvir apenas um rápido e fraco período onde o ruído de fundo se torna calado conforme os sinais CW são transmitidos. Para superar este problema, os recetores de rádio amadores e de ondas curtas incluem um circuito oscilador de frequência de batimento (BFO - *beta frequency oscillator*). O circuito BFO produz uma segunda portadora gerada internamente que «bate» contra o sinal CW recebido, produzindo um tom que se liga e desliga junto com o sinal CW recebido. Isto é como os sinais de código Morse são recebidos nas ondas curtas.



Modulação de Amplitude (AM)

Uma forma de se transmitir informações através de uma onda de rádio consiste em alterar algumas das características dessa onda, de modo que essas alterações correspondam à informação que se deseja transmitir.

O processo de modulação AM consiste em multiplicar um sinal de baixa frequência denominado sinal modulante ou informação por um sinal de alta frequência (onda de rádio) chamado de portadora, cuja função é simplesmente carregar a informação de um ponto a outro.

Se captássemos os sinais elétricos captados pelos microfones, os amplificássemos e os ligássemos diretamente à antena, teríamos que esses sinais estariam a variar numa faixa de frequência entre 20 Hz e 20 kHz, que é a faixa audível. A faixa audível não gera ondas eletromagnéticas de grande penetração, sendo necessária uma alta potência para fazer com que esses sinais cheguem a distâncias relativamente curtas.

Portanto, o objetivo da modulação AM é deslocar os sinais audíveis para uma frequência mais elevada (portadora) onde é mais fácil a transmissão e as ondas conseguem chegar a distâncias maiores. Por fim, no recetor a informação será recuperada ou demodulada. Quando se fala no microfone de um transmissor AM, o microfone converte a voz em tensão (voltagem) variada. Esta voltagem é amplificada e então usada para variar a potência da saída do transmissor. A amplitude modulada adiciona potência à portadora, com a quantidade adicionada, sendo dependente da intensidade da voltagem de modulação.

Podemos visualizar este processo na figura abaixo, que demonstra como a amplitude da portadora está a ser variada para transportar o sinal:

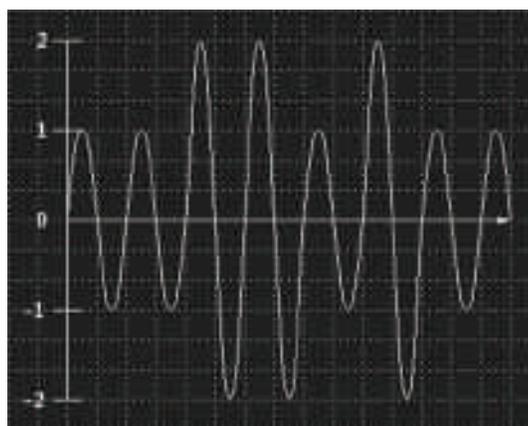


Fig. 8 – Frequência da portadora modulada



Na figura abaixo, é demonstrado o sinal da portadora e o sinal a ser enviado (sinal modulador), assim como o resultado final que é o sinal AM:

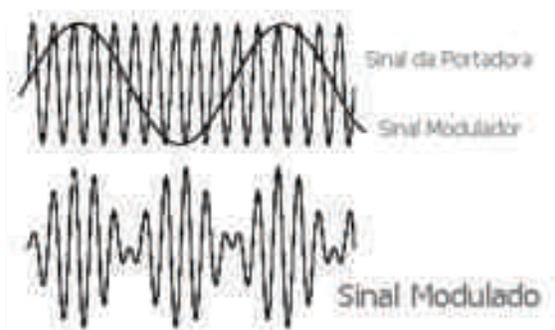


Figura 9 – Sinal modulado AM

A amplitude modulada resulta em três frequências separadas a ser transmitidas: a frequência da portadora original, uma banda lateral inferior (LSB - *lower side band*) abaixo da frequência da portadora, e uma banda lateral superior (USB - *upper side band*) acima da frequência da portadora. As bandas laterais são «imagens espelhadas» de cada uma e contêm a mesma mensagem. Quando o sinal AM é recebido, estas frequências são combinadas para produzir os sons que ouvimos.

Na figura abaixo, podemos visualizar os componentes do sinal modulado em relação à frequência:

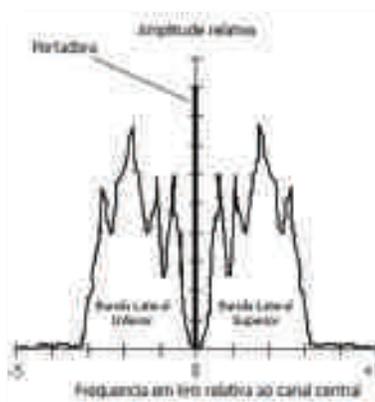


Figura 10 - Componentes do sinal modulado.

Cada banda lateral ocupa o mesmo espaço de frequência que a mais alta frequência de áudio que está a ser transmitida. Se a mais alta frequência de áudio a ser transmitida é de 5 kHz, então o espaço total de frequência ocupado por um sinal AM será de 10 kHz (a portadora ocupa um espaço desprezível). O espaço ocupado pela transmissão



no caso será maior, quando mais alta for a frequência do áudio aplicado a portadora (mais agudo). Para que uma emissora de AM não interfira noutra e caibam assim mais emissoras no ar, o limite de modulação delas é de 5 KHZ, (as emissoras são separadas a 10 KHZ), sendo assim, os sons mais agudos são atenuados.

O AM tem a vantagem de ser fácil de ser produzido num transmissor e os recetores AM são simples em projeto. A sua principal desvantagem é sua ineficiência. Aproximadamente dois terços da potência de um sinal AM são concentrados na portadora, a qual não contém «informação». Um terço da potência está dentro das bandas laterais, as quais contêm a informação do sinal. Considerando que as bandas laterais contêm a mesma informação, entretanto, uma é essencialmente «desperdiçada». Da potência total de saída de um transmissor AM, apenas aproximadamente um sexto é realmente produtiva (saída utilizável)!

Outra desvantagem do AM é a sua suscetibilidade à estática e outras formas de ruído elétrico. Fora isto, o AM é simples de sintonizar em recetores, daí ser utilizado em toda rádio difusão de ondas curtas e médias.

SSB Single Side Band

Desde que tanta potência é gasta em AM, os engenheiros de rádio vislumbraram um método para transmitir apenas uma banda lateral e colocar toda a potência do transmissor a enviar inteligência utilizável. Este método é conhecido como banda lateral única (SSB - single side band). Nos transmissores SSB, a portadora e uma banda lateral são removidas antes do sinal ser amplificado. Tanto a banda lateral superior (USB) como a banda lateral inferior (LSB) do sinal AM original pode ser transmitida.

SSB é um modo muito mais eficiente que o AM devido a toda potência do transmissor ser direcionada em transmitir a mensagem (O SSB vai mais longe). Um sinal SSB também ocupa apenas metade do espaço de frequência de um sinal AM comparável podendo assim ter mais emissoras no ar. Entretanto, os transmissores e recetores SSB são mais complicados que aqueles destinados a AM. Na realidade, um sinal SSB não pode ser recebido de forma inteligível em um rádio AM. Se sintonizarmos um SSB num rádio AM o que ouviremos são vozes distorcidas, emboladas, sem entendermos nada. Isto é porque a portadora do sinal AM de facto tem um papel maior na demodulação (isto é, recuperar



o áudio transmitido) das bandas laterais do sinal AM. Para demodular com sucesso um sinal SSB, é necessária uma «portadora substituta».

A portadora substituta pode ser suprida através do circuito BFO (oscilador de frequência de batimento) usado para receber sinais CW. Entretanto, isto significa que o sinal SSB deve ser cuidadosamente sintonizado para precisamente «bater» contra a portadora substituta do BFO. Para melhor desempenho, um recetor SSB requer uma sintonia mais precisa e estável do que um recetor AM e precisa de ser sintonizado com mais cuidado do que um recetor AM. Mesmo quando precisamente sintonizado, o áudio de um sinal SSB tem menor fidelidade do que o AM (a voz fica afinada ou engrossada, metalizada, nunca igual à voz original não impedindo, no entanto, a compreensão da mensagem) só não servindo, no caso, para transmissão de música e consequentemente radiodifusão. O SSB é usado principalmente por operadores de rádio amadores, serviços militares, marítimos e aeronáuticos e em outras situações onde operadores habilidosos e equipamentos recetores de qualidade são comuns.

Circuito modulador AM síncrono a díodo.

Analisaremos agora o funcionamento de um modulador AM simples, mas que fornece uma boa ideia do processo eletrónico de obtenção de sinais AM. De facto, este circuito não possui uma aplicação prática, mas a sua configuração auxilia a entender o funcionamento dos moduladores atuais, que são variações mais sofisticadas.

A figura 11 mostra o circuito onde o elemento chave é um díodo semiconductor cuja função é fazer o produto da portadora com a informação.

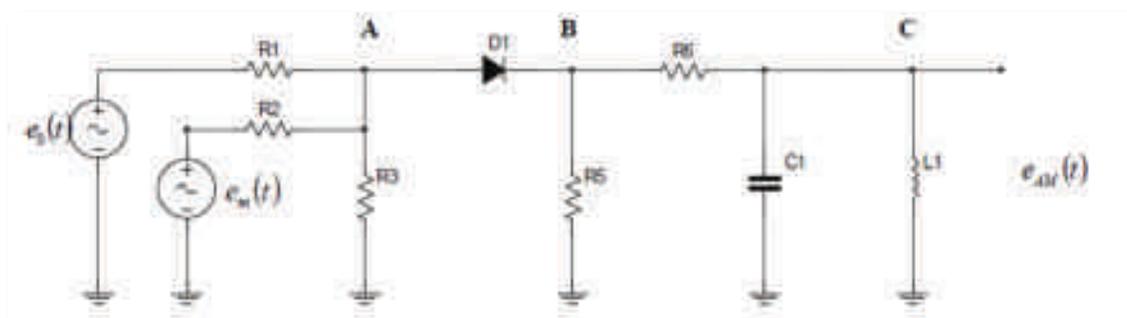


Figura 11 - Circuito modulador síncrono a díodo com 3 estágios.

Analisemos individualmente os três estágios do circuito nos pontos A, B e C



Ponto A:

No ponto A temos um somador analógico formado pelos resistores R1, R2 e R3 que soma a portadora à informação (sinal senoidal puro), onde R1, R2 e R3 são iguais. A forma de onda nesse ponto é mostrada na figura 12 através de uma simulação do circuito no Multisim®.

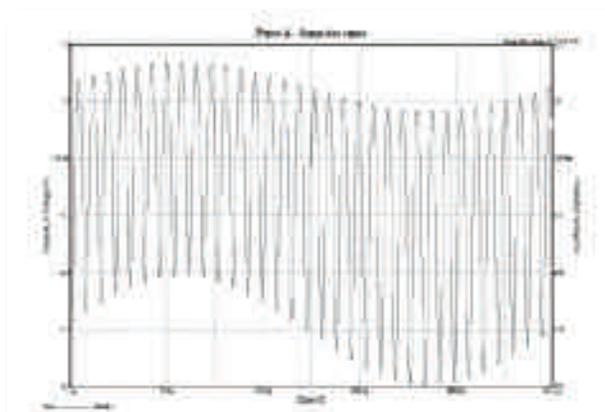


Fig. 12 – Soma do sinal modulante com a portadora no tempo.

Note que no ponto A ainda não temos um sinal AM pois a portadora e o sinal modulante não foram multiplicados, e sim somados.

Ponto B:

No ponto B, o díodo faz o produto do sinal modulante com a portadora, porém esse produto não é perfeito. Duas cópias do sinal AM são geradas nesse ponto, onde apenas uma cópia deve ser selecionada, e a outra descartada, pois é constituída de harmônicos indesejados. A figura 13 mostra o sinal no domínio do tempo em uma simulação do circuito no Multisim®.

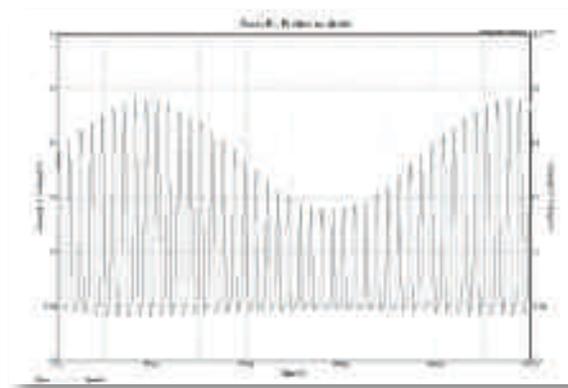


Fig. 13 – Produto dos dois sinais pelo díodo no tempo.



Vendo o ponto B no domínio da frequência, vemos as duas cópias do sinal AM. Uma deve ser selecionada, e a outra constituída de harmônicos deve ser filtrada. A figura 14 mostra a simulação do espectro em frequência no ponto B.

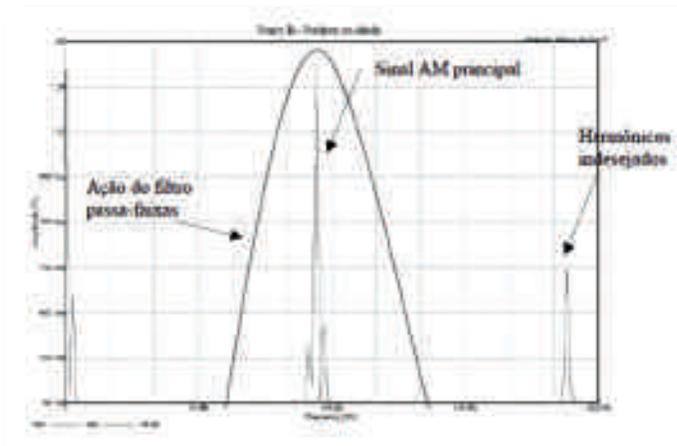


Fig. 14 – Produto dos dois sinais pelo díodo na frequência.

Note que devemos passar agora esse sinal em um filtro passa-faixas selecionando apenas o sinal principal. Isso será feito no ponto C por um filtro LC.

Ponto C:

Nesse ponto do circuito temos um filtro passa-banda LC formado por L1 e C1 cuja frequência de ressonância é:

Dessa forma, temos que projetar esse filtro para que a frequência de ressonância seja

$$f^r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

igual ao da portadora, como mostrou a figura 14 anteriormente.

A figura seguinte ilustra a simulação no Multisim® do filtro passa-faixa LC mostrando o diagrama de Bode desse filtro.

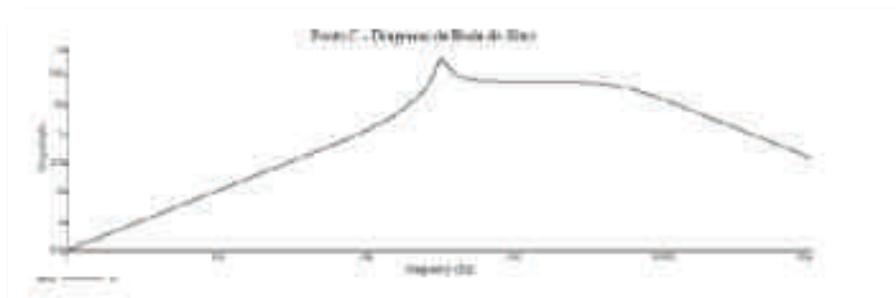


Fig. 15 – Diagrama de Bode do filtro passa-faixa LC.



Com isso, o filtro passa-banda seleciona o sinal AM desejado, e temos um sinal modulado em amplitude na saída do modulador, como mostra a figura seguinte.

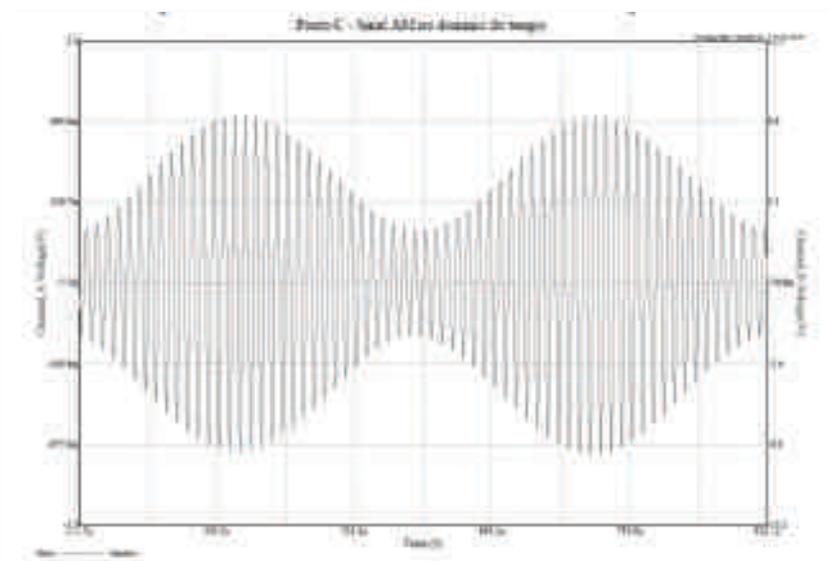


Fig. 16 – Sinal modulado em amplitude na saída do circuito.

Utilizando mais uma vez o analisador de espectro do Multisim®, vemos que o filtro passa-banda selecionou apenas o sinal AM desejado que se encontra pronto para ser transmitido, como mostra a figura seguinte.

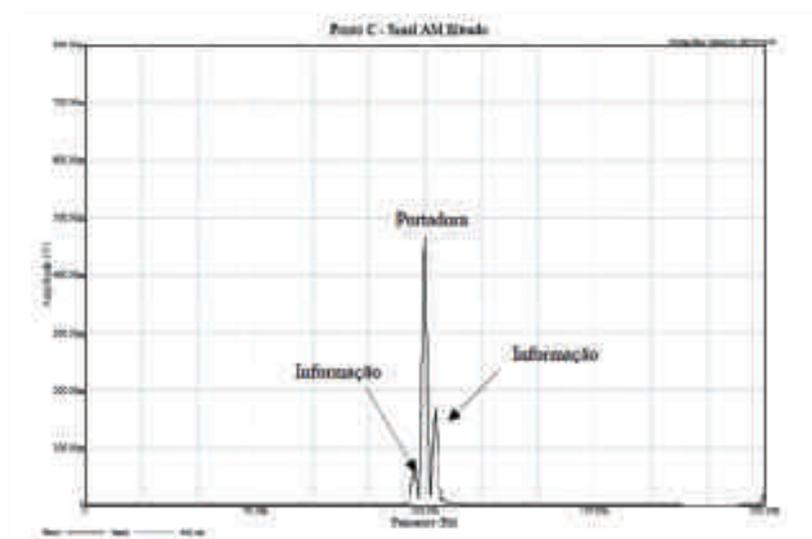


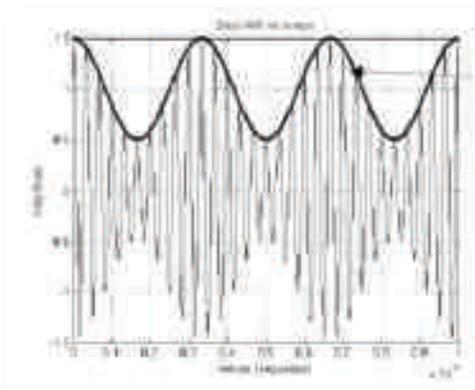
Fig. 17 – Espectro do sinal AM na saída do circuito

Com isso, vemos como funciona passo a passo um circuito capaz de gerar sinais AM. Vejamos agora o circuito que faz o processo inverso, ou seja, o circuito que demodula o sinal AM extraindo a informação.



Recetores AM

No recetor, a função do demodulador é extrair a informação que a portadora transporta. Num sinal AM-DSB, o sinal da informação é sempre igual ao sinal que envolve a portadora, como mostra figura seguinte.



Envolvente onde está contida a informação

Fig. 18 – Sinal AM e a envolvente que deve ser extraída.

Portanto, se criarmos um circuito que consiga extrair a envolvente da portadora a partir do sinal modulado recebido, teremos recuperado a informação.

A figura seguinte mostra um circuito detetor de envolvente também composto por três estágios onde na entrada teremos o sinal AM e na saída teremos o sinal modulante, ou informação recuperada.

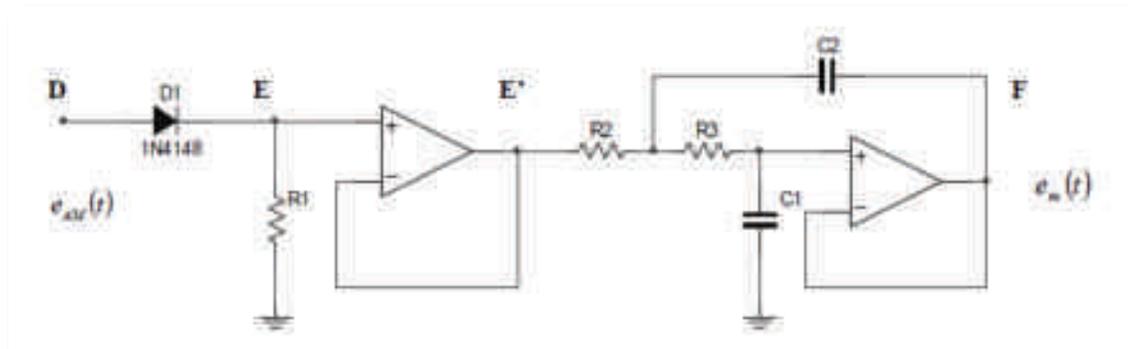


Fig. 19 – Circuito demodulador AM.

O circuito é composto por um retificador no primeiro estágio, um *buffer* isolador e por fim um filtro passa-baixo de segunda ordem. Analisemos individualmente os três estágios do circuito representado na figura anterior nos pontos D, E e F.



Ponto D.

Neste ponto (entrada do circuito) temos o sinal AM já conhecido que foi selecionado por um circuito sintonizador ligado a uma antena. As formas de onda no domínio do tempo e no domínio da frequência no ponto D são novamente mostradas nas duas figuras seguintes.

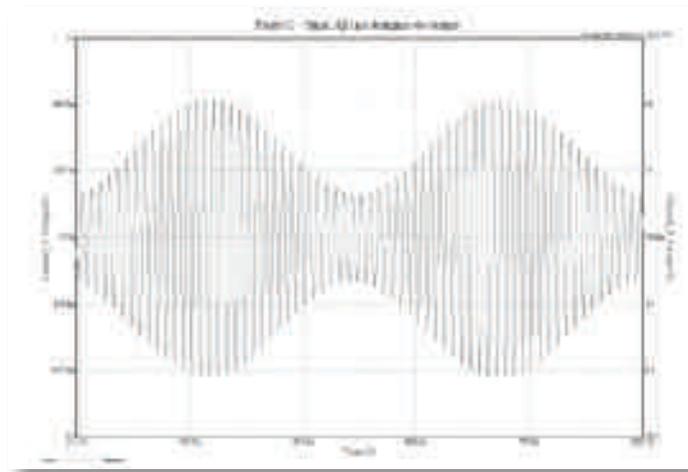


Fig. 20 - Sinal AM na entrada para ser demodulado.

Novamente, como já conhecemos, mostramos na figura seguinte o sinal AM no domínio da frequência aplicado na entrada do circuito demodulador.

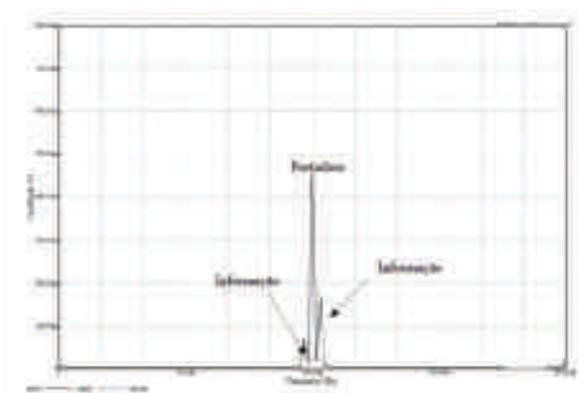


Fig. 21 - Sinal AM na entrada visto na frequência para ser demodulado.

Ponto E.

No ponto E temos o sinal AM retificado pelo diodo D1, ou seja, apenas os semiciclos positivos são selecionados e irão para a resistência R1. A figura abaixo mostra o sinal retificado pelo diodo no ponto E visto no domínio do tempo por um osciloscópio. Note que os ciclos negativos do sinal AM foram ceifados pelo diodo.



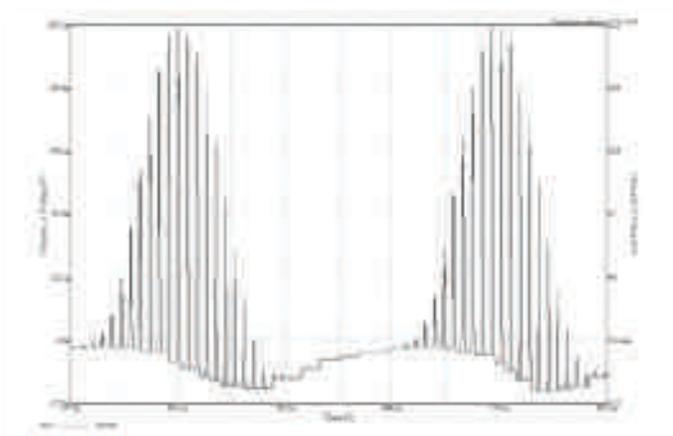


Fig. 22 – Sinal AM retificado pelo diodo visto no ponto E no domínio do tempo.

Quando o sinal atinge o diodo e é retificado e ocorre o fenômeno de batimento que faz com que a informação retorne para uma frequência mais baixa como mostra a figura seguinte.

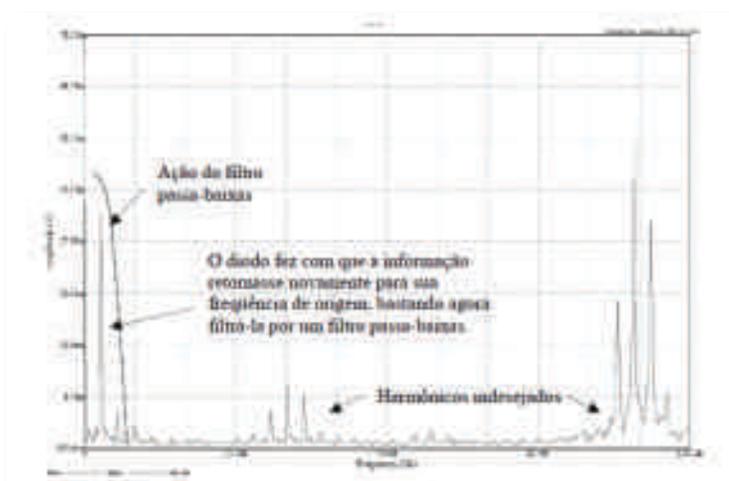


Fig. 23 – Espectro do sinal AM retificado pelo diodo visto no ponto E.

A figura acima mostra que o diodo magicamente fez com que a informação retornasse para sua frequência de origem, bastando apenas filtrar esse sinal dos harmônicos indesejados usando um filtro passa-baixo.

No ponto E' temos um sinal idêntico ao ponto E onde foi utilizado um filtro para que R1 não interfira na frequência de corte do filtro passa-baixo.

Ponto F.

Nesse ponto, teremos a informação que foi filtrada por um filtro passa-baixo com frequência de corte um pouco maior do que a máxima frequência da informação



modulada. Na figura seguinte temos o diagrama de Bode do filtro passa-baixo responsável por filtrar o sinal modulado ou informação.



Fig. 24 – Diagrama de Bode do filtro passa-baixo do circuito demodulador AM.

Como a informação original que foi modulada era um seno puro, na saída do demodulador deveremos ter um sinal o mais próximo possível desse seno. A figura seguinte compara o sinal sinusoidal que foi demodulado com a informação original transmitida.

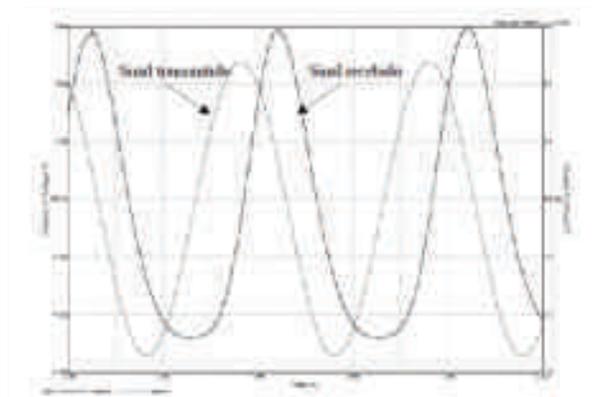


Fig. 25 – Comparação entre sinal transmitido (modulado) e sinal recebido (demodulado).

Pela figura acima, percebemos que o sinal recebido é praticamente idêntico ao sinal transmitido, com a diferença que se encontra desfasado aproximadamente 90° e somado a um nível DC, o que não representa nenhum problema. A partir desse ponto, o sinal recebido (informação) poderá ser melhor amplificado para que possa alimentar um autofalante.

O recetor super-heteródino.

O circuito demodulador que vimos anteriormente é apenas parte de um circuito mais sofisticado capaz de sintonizar e demodular sinais AM. Atualmente, na maioria das aplicações comerciais como, por exemplo, os rádios AM comuns, equipamentos de



telecomunicações de serviços públicos, particulares, radioamadores, a tecnologia usada para receber os sinais é a do recetor super-heteródino.

Para analisar o funcionamento de um recetor desse tipo, visto na figura seguinte, será importante analisarmos as funções realizadas por cada bloco do recetor.

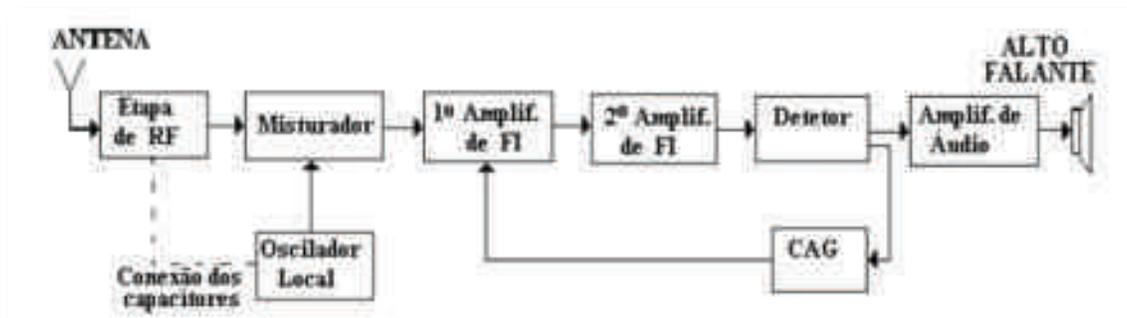


Fig. 26 – Diagrama de blocos do recetor super-heteródino.

A grande vantagem desse tipo de recetor com relação a outros mais simples é a de transformar o sinal seleccionado (estação) para uma frequência intermediária (FI) mais baixa e constante, independente da frequência da emissora seleccionada.

Com isso, teremos uma amplificação de melhor qualidade nos blocos posteriores. Além disso, não precisaremos sintonizar todos os circuitos do recetor para cada estação que desejamos sintonizar.

Vejamos agora análise de cada bloco do sistema. Primeiramente, é válido lembrar que a antena irá intercetar todos os sinais de ondas eletromagnéticas presentes no ambiente, convertendo-os em corrente, que será enviada para o primeiro bloco.

Etapa de RF.

O bloco etapa de RF tem a função de sintonizar apenas uma estação, portanto, possui um amplificador com um filtro na entrada, com a frequência de operação variável.

Essa sintonia normalmente é feita com condensadores variáveis. Variando-se o valor da capacitância no filtro, iremos variar a frequência de ressonância do filtro, seleccionando apenas a emissora desejada.

Em recetores mais modernos, essa sintonia pode ser feita por dispositivos de estado sólido, como os díodos varicap, o que possibilita o processo de seleção digital de estações.

O sinal obtido na saída dessa etapa será aplicado ao misturador.



Conjunto oscilador local-misturador.

Como já foi dito, no estágio de FI (frequência intermedia) temos um amplificador sintonizado numa frequência fixa, porém, o recetor pode receber sinais de várias emisoras diferentes, cada uma com uma frequência de portadora diferente.

O conjunto oscilador local-misturador, portanto, irá funcionar de modo que obtenhamos na sua saída um sinal de frequência fixa para qualquer que seja a emissora selecionada. Essa frequência é a chamada frequência intermedia ou FI, e é padronizada em 455 kHz para os recetores modernos de AM. Em recetores mais antigos, podemos encontrar outras frequências, como, por exemplo, 915 kHz nos modelos usados em aeronaves.

A função da FI é trocar a frequência da portadora por uma frequência fixa de 455 kHz para facilitar a amplificação e detecção desse sinal posteriormente. O sinal de frequência intermedia fixa é obtido através do batimento (produto) entre o sinal selecionado na etapa de RF por um sinal produzido pelo oscilador local.

O oscilador local irá operar numa frequência diferente para cada emissora que estiver a ser selecionada, de forma que produza a transformação do sinal selecionado para uma frequência intermedia de 455 kHz.

Para que isso ocorra, o mesmo condensador variável que sintoniza a emissora desejada irá agir no oscilador local, fazendo com que ele oscile em frequências diferentes, conforme seja feito o ajuste.

Nos recetores super-heteródino, encontramos condensadores variáveis duplos, com uma secção controlando o circuito de sintonia e outra controlando a frequência do oscilador local, de forma que a diferença entre o oscilador local e a portadora da emissora seja fixa e igual a 455 kHz.

A tabela seguinte mostra alguns exemplos dos valores da frequência da portadora e do oscilador local.

Frequência da Emissora (Portadora)	Frequência do oscilador local	Frequência FI. (Oscilador - Portadora)
830 kHz	1285 kHz	455 kHz
1400 kHz	1855 kHz	455 kHz
540 kHz	995 kHz	455 kHz
1000 kHz	1455 kHz	455 kHz

Tab. 27 – Exemplos de frequências da portadora e do oscilador local.



Na figura seguinte, está representado o exemplo do que acontece na etapa de FI quando a estação selecionada se encontra, por exemplo, em 830 kHz e o sinal modulante é um sinal de voz filtrado em 5 kHz.

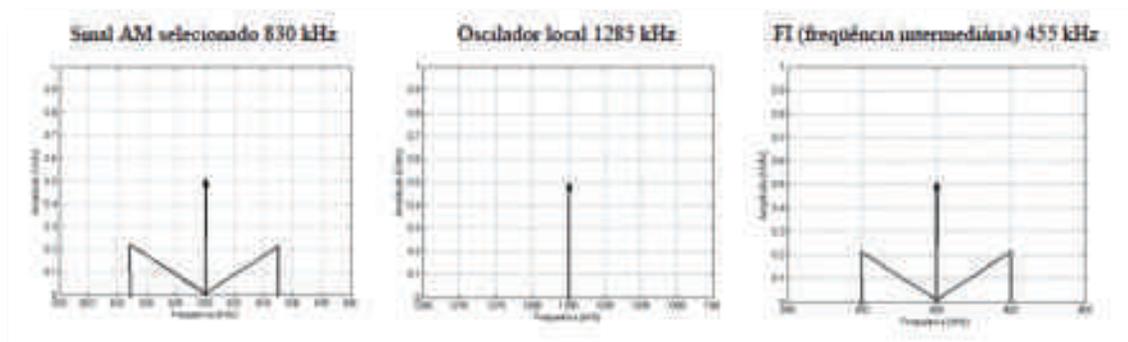


Fig. 29 – Representação do que ocorre na etapa de FI visto no domínio da frequência.

Perceba pela figura acima que a informação desceu de uma frequência de 830 kHz para uma frequência intermedia FI padrão e constante de 455 kHz e que a frequência do oscilador local foi de 1285 kHz.

Amplificação de FI.

Até ao estágio de FI, o sinal ainda chega muito fraco. Para que possa ser utilizado pelas etapas seguintes, esse sinal é filtrado e amplificado por um filtro passa-banda sintonizado em 455 kHz.

O alto ganho desse estágio é obtido a partir de amplificadores sintonizados sucessivos, o que permite uma alta seletividade. Em outras palavras, apenas o que realmente interessa e que foi selecionado pelo estágio de RF será amplificado, diminuindo a presença de ruídos ou interferências.

Detetor.

Nesse estágio, um circuito idêntico ao que já vimos anteriormente retifica o sinal AM vindo da FI e aplica o sinal retificado no controle automático de ganho, que irá filtrá-lo e tentar manter o volume do áudio constante.



Controle automático de ganho (CAG).

Os sinais que chegam à antena receptora não possuem amplitude constante, e isso ocorre devido a três factores:

- A potência de transmissão dos sinais para cada emissora não é constante: existem emissoras que possuem transmissores mais potentes, portanto, mais caros que outras.
- A distância entre antena transmissora e o receptor é variável. Cada emissora tem sua antena em um local e, além disso, ao comprar um receptor, você poderá utilizá-lo em qualquer local, e possivelmente transportá-lo de um local a outro.
- Como os sinais são transmitidos por ondas eletromagnéticas, o meio de propagação afetará sensivelmente a amplitude do sinal, e até mudanças nas condições atmosféricas poderão provocar alterações das condições do meio de propagação e variações na intensidade do sinal.

Portanto, caso não tivéssemos o estágio de controle automático de ganho, poderíamos ter variações no volume do sinal recebido ao mudarmos a seleção da estação num receptor AM-DSB.

O circuito do bloco CAG é composto por um filtro passa-baixas que irá recuperar o valor médio do sinal resultante após a detecção pelo díodo, e aplicá-lo ao primeiro amplificador de FI, mudando sua polarização, e com isso, alterando seu ganho.

Quanto menor for a amplitude do sinal após o detetor, menor será seu nível DC, fazendo com que o primeiro amplificador de FI aumente seu ganho, produzindo um aumento na amplitude do sinal após o detetor. Isso ocorrerá sucessivamente até o sistema encontrar uma estabilidade.

Da mesma maneira, caso uma variação das condições gerais faça com que a amplitude de saída do detetor aumente, o CAG agirá no primeiro amplificador de FI de maneira a baixar o ganho.

Amplificador de Áudio.

Como o sinal agora já foi demodulado e já está em uma frequência baixa, podemos utilizar qualquer tipo de amplificador de sinais de baixa frequência nesse estágio, de forma que produza um bom sinal para ser aplicado ao alto-falante.



A qualidade do som final reproduzido dependerá fundamentalmente da potência e fidelidade desse amplificador final, dos alto-falantes utilizados e da filtragem na etapa de FI.

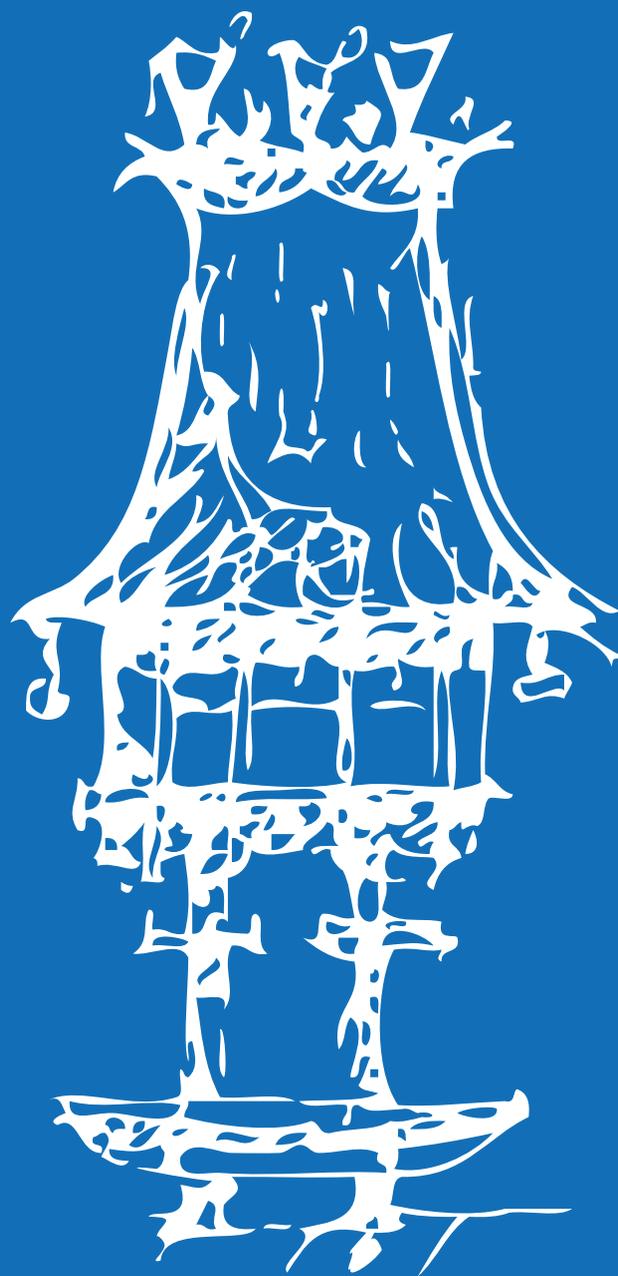


Bibliografia

Manual de Sistemas de Transmissão – ESTEL. (s.d.).

Malvino – *Electrónica* – Vol. II – Makron Books. (s.d.).







Modulação de Fases e Impulsos

Módulo 2

Apresentação

Este módulo desta disciplina tem como função a continuação da explicação de como é transmitido e rececionado o áudio a longas distâncias e no caso da frequência modulada o envio com uma qualidade de som, muito superior à estudada em modulação em amplitude.

Este módulo tem carácter teórico-prático, por isso deverá decorrer, em parte, em ambiente de laboratório de forma que se permita aos alunos verificar experimentalmente as caraterísticas básicas dos recetores e transmissores FM. (Frequência Modulada)

O objetivo dessa disciplina, portanto, é torná-lo apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos e a comunicação adequada com os profissionais da área.

Introdução

A abordagem da modulação em frequência é relevante para o entendimento da transmissão de sinais a longa distância. São utilizados hoje em dia na receção de rádio assim como no áudio da televisão. Assim temos as emissões de rádio para as populações com um nível de qualidade bom, incluindo o stereo, utilizando emissores de modulação em frequência.

Este módulo requer um conhecimento básico de circuitos eletrónicos e respetiva análise e compreensão desses circuitos.

Objetivos de aprendizagem

- Compreender o princípio de funcionamento da modulação angular e de impulsos.
- Identificar o diagrama de blocos de um transmissor e de um recetor de modulação angular.
- Montar um gerador FM e um desmodulador PLL.
- Explicar as vantagens da modulação digital.
- Conhecer o princípio da multiplexagem e respetivos tipos.



- Sugere-se, no final do módulo, uma análise sumária da evolução dos nossos recetores de rádio até à sua inclusão na Internet.

Âmbito de conteúdos

Neste módulo pretende-se apresentar os princípios básicos para a transmissão de informação através de longas distâncias:

- Modulação de Fase.
- Modulação de Impulsos.



Modulação FM

Introdução

Uma outra forma de modulação muito empregue em serviços de radiodifusão, além de outras aplicações, é a modulação em frequência ou FM.

As estações de radiodifusão que transmitem principalmente música, pelas características dessa modalidade de transmissão, fazem uso desta técnica com vantagens em relação à AM para obter maior fidelidade e maior imunidade às interferências e ruídos.

Nesse capítulo, iremos abordar o processo de modulação em frequência, conhecer os princípios utilizados nos circuitos, saber em que tipos de transmissões são usados os sinais de FM.

A modulação FM

Vimos, no capítulo passado, que podemos alterar a amplitude de uma onda portadora através das variações de amplitude do sinal modulante (informação) gerando sinais AM. A modulação FM faz com que a *frequência da onda portadora se altere de acordo com as variações de amplitude do sinal modulante.*

Já estudámos os motivos pelos quais precisamos de uma portadora de alta frequência *para transportar informações que correspondem a sinais de baixa frequência. Os mesmos conceitos básicos sobre a necessidade de se modular um sinal de alta frequência são válidos para a modulação em frequência.*

A sigla FM significa modulação em frequência, *que também pode ser chamada de modulação angular, pois uma alteração de frequência também está ligada a uma mudança de ângulo de fase do sinal modulado.*

Um modulador FM é um circuito que tem a capacidade de transformar as variações de amplitude do sinal modulante (informação) em variações de frequência na onda portadora constituindo um oscilador controlado por tensão ou VCO.

A figura abaixo ilustra o funcionamento de um VCO (Oscilador Controlado por Tensão). A frequência deste oscilador determina a frequência da portadora ($e_o(t)$) e é modificada pela amplitude do sinal modulante ($e_m(t)$) a cada instante de tempo, à medida que o sinal modulante varia.



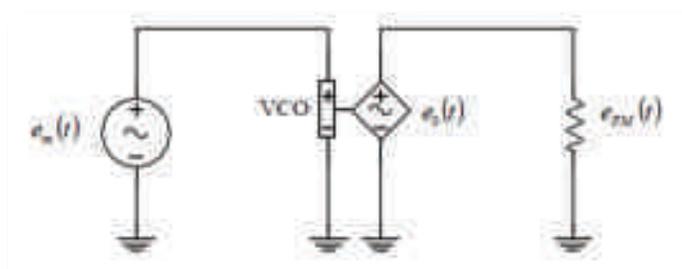


Fig. 1 – Modulação FM através de um VCO.

Portanto, a saída do circuito VCO da figura acima representada gera um sinal modulado em frequência chamado $e_{FM}(t)$.

A informação $e_m(t)$ normalmente é um sinal de voz ou uma música, ou seja, um sinal bastante complexo, com vários harmônicos e cuja amplitude está a variar no tempo.

A figura seguinte mostra os sinais envolvidos no processo de modulação FM, considerando que o sinal modulante é um seno puro para simplificar o entendimento.

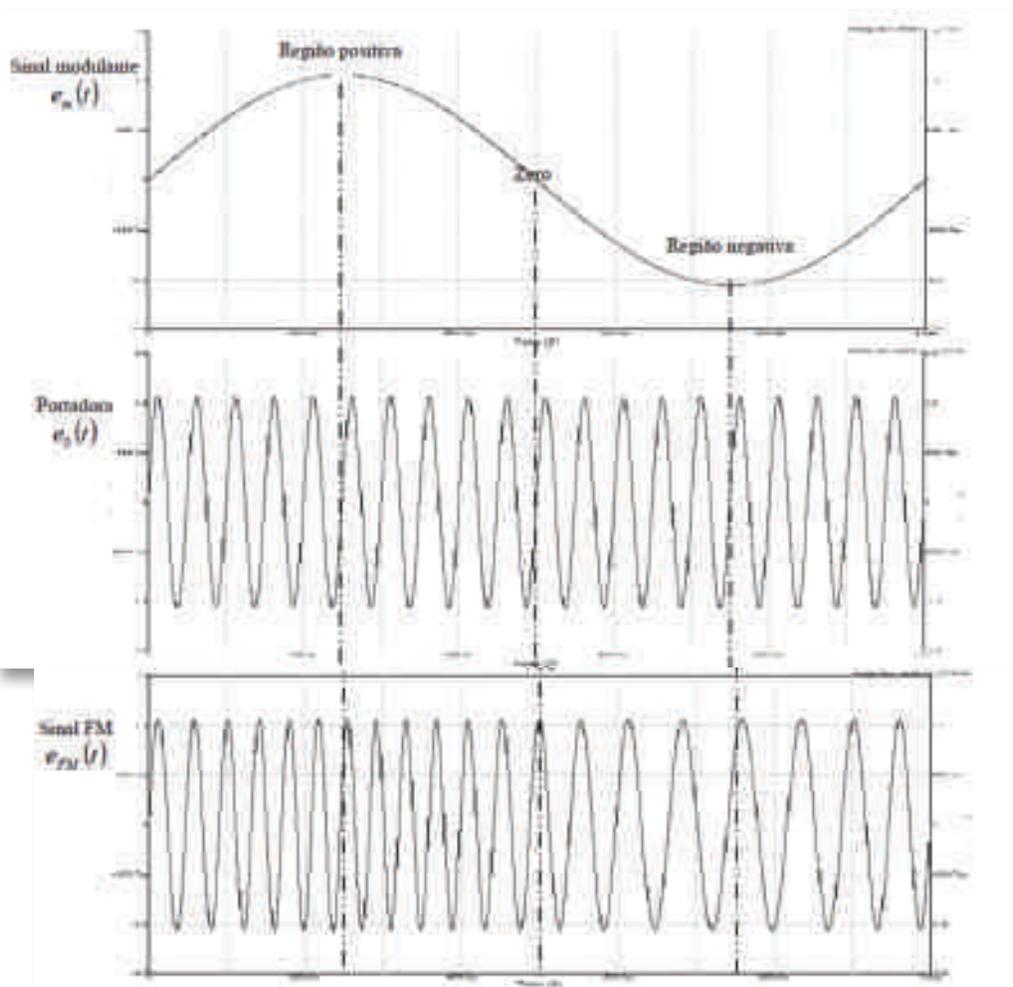


Fig. 2 – Os sinais envolvidos no processo de modulação FM.



Observe que a amplitude do sinal FM $e_o(t)$ se mantém constante. O que varia é a sua frequência, que aumentará quando o sinal modulante for positivo e diminuirá quando o sinal modulante for negativo. Esta variação ocorre dentro de uma faixa, acompanhando a mudança da intensidade do sinal modulante $e_m(t)$. Note também que, quando o sinal modulante é zero, a frequência do sinal FM é igual à frequência da portadora.

A grandeza que mede a variação da frequência da portadora pelo sinal modulante é chamada de desvio de frequência e representa a máxima variação possível para a frequência instantânea de um sinal FM ao redor da frequência da portadora.

A expressão matemática do sinal FM

Vejamos agora como se processa a operação matemática entre a informação (sinal modulante) e a portadora, de forma que se obtenha um sinal FM.

Para simplificar, adotaremos como sinal modulante (informação) um sinal senoidal puro, embora a teoria seja a mesma para um sinal mais complexo como um sinal de voz, por exemplo.

A expressão do sinal FM é obtida através da alteração da frequência de uma onda portadora através das variações de amplitudes do sinal modulante. Considerando o sinal modulante como sendo uma senoide pura, temos que a expressão matemática do sinal FM é dada por:

$$e_{FM}(t) = E_0 \cdot \sin\left[\underbrace{(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t)}_{\text{Frequência da portadora}} - \underbrace{\beta \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t)}_{\text{Argumento (sinal modulante)}} \right]$$

Matematicamente, o sinal FM é um seno (portadora) cuja frequência é variada em torno de um valor central f_0 de acordo com a amplitude do sinal modulante e que depende também do índice de modulação FM chamado de β .

A decomposição desse sinal em séries de Fourier é um pouco complexa e foge do objetivo do curso, portanto, adotaremos algumas regras práticas para determinar o espectro de um sinal FM, bem como a ajuda de *softwares* de simulação.



Desvio de frequência

O desvio de frequência que ocorre quando modulamos um sinal em frequência determina a profundidade de modulação ou índice de modulação β . Define-se matematicamente o índice de modulação β pela seguinte expressão:

$$\beta = \frac{\Delta f}{fm}$$

Onde Δf é chamado de desvio máximo de frequência em relação à frequência da portadora, e fm é a máxima frequência do sinal modulante.

A grandeza Δf representa a máxima variação possível para a frequência instantânea de um sinal FM, a partir da frequência da portadora f_0 .

Teoricamente, este desvio de frequência poderia ser infinito, entretanto, como o espectro é um recurso escasso, os transmissores de radiodifusão usam um desvio de frequência limitado e padronizado, como veremos mais adiante.

A figura abaixo ilustra onde se encontrarão as raia espectrais de um sinal FM de acordo com o desvio de frequência Δf .

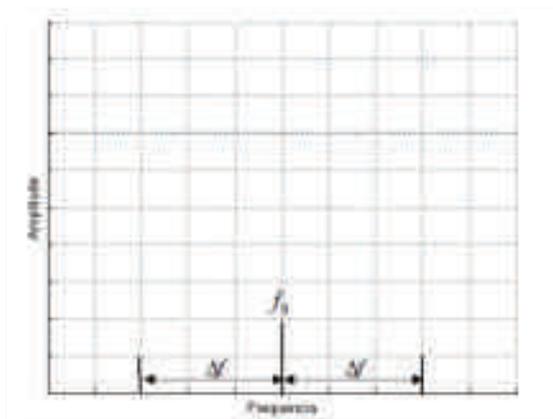


Fig. 3 – Desvio de frequência em torno da portadora.

Lembrando que a figura acima não mostra as raia espectrais do sinal FM, e sim, apenas o lugar aproximado de onde elas se localizarão em torno da frequência da portadora. Posteriormente, veremos quantas raia existirão e quais as suas amplitudes e frequências para um sinal modulante sinusoidal puro.



Largura de banda do sinal FM

A largura de banda B em Hz ocupada por um canal FM depende da máxima frequência do sinal modulante f_m e do índice de modulação β , de acordo com a regra de Carson, e é dada pela equação abaixo:

$$B = 2 \cdot (\beta + 1) \cdot f_m$$

Com isso, veremos agora os dois tipos de sinais FM que são classificados de acordo com o índice de modulação.

FM faixa estreita

Para pequenos valores do índice de modulação ($\beta \ll 1$), o sinal FM assume a forma de faixa estreita (NBFM), onde seu espectro se assemelha bastante ao do sinal AM. Portanto, teremos no espectro do sinal FM a frequência da portadora f_0 e duas bandas laterais em redor dessa frequência.

A figura seguinte mostra o espectro de um sinal FM faixa estreita cujo índice de modulação β é igual a 0.2. Observe a sua semelhança com o espectro de um sinal AM.

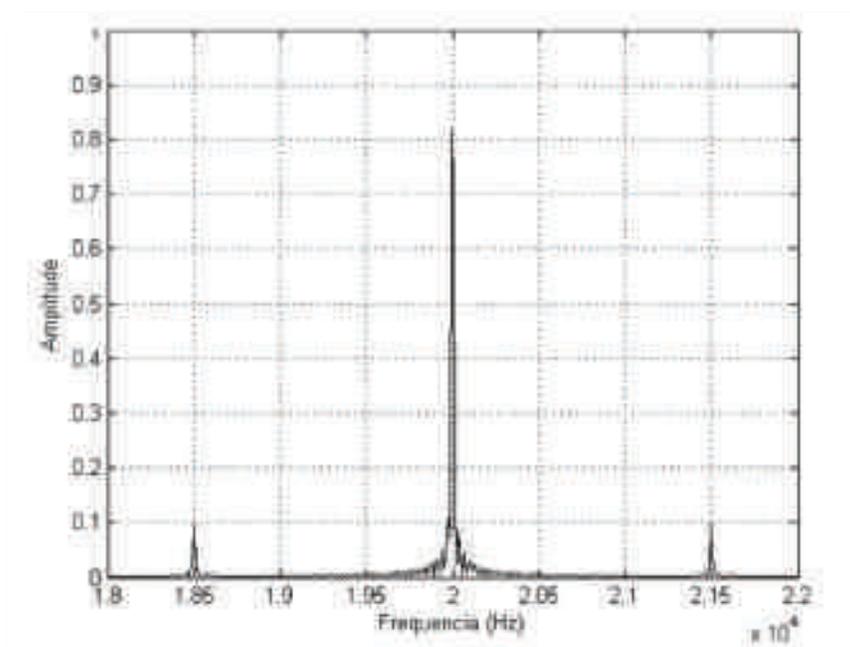


Fig. 4 – Espectro do sinal FM faixa estreita com β igual a 0.2.



O exemplo da figura acima foi gerado a partir de uma portadora de 20 kHz sendo modulada por um sinal senoidal de 1.5 kHz onde o desvio de frequência Δf é de 300 Hz, e com isso β vale 0.2.

FM faixa larga

Para valores maiores do índice de modulação β ($\beta > 0.2$ aproximadamente), o espectro do sinal FM contém a portadora e um número infinito de componentes de frequência, localizados simetricamente em torno da portadora de frequência f_0 . Um sinal FM com esta característica é chamado de FM faixa larga ou WBFM.

Com isso, não podemos assumir no sinal FM faixa larga apenas um par de faixas laterais, como no caso da FM faixa estreita. Na realidade, temos vários pares de amplitudes diferentes, entretanto, para simplificar, podemos ignorar as raias espectrais com amplitudes muito pequenas.

A figura seguinte mostra o espectro de um sinal FM faixa larga para vários índices de modulação β quando a informação e portadora são sinusoides de 1 V e $f_0 \gg f_m$.

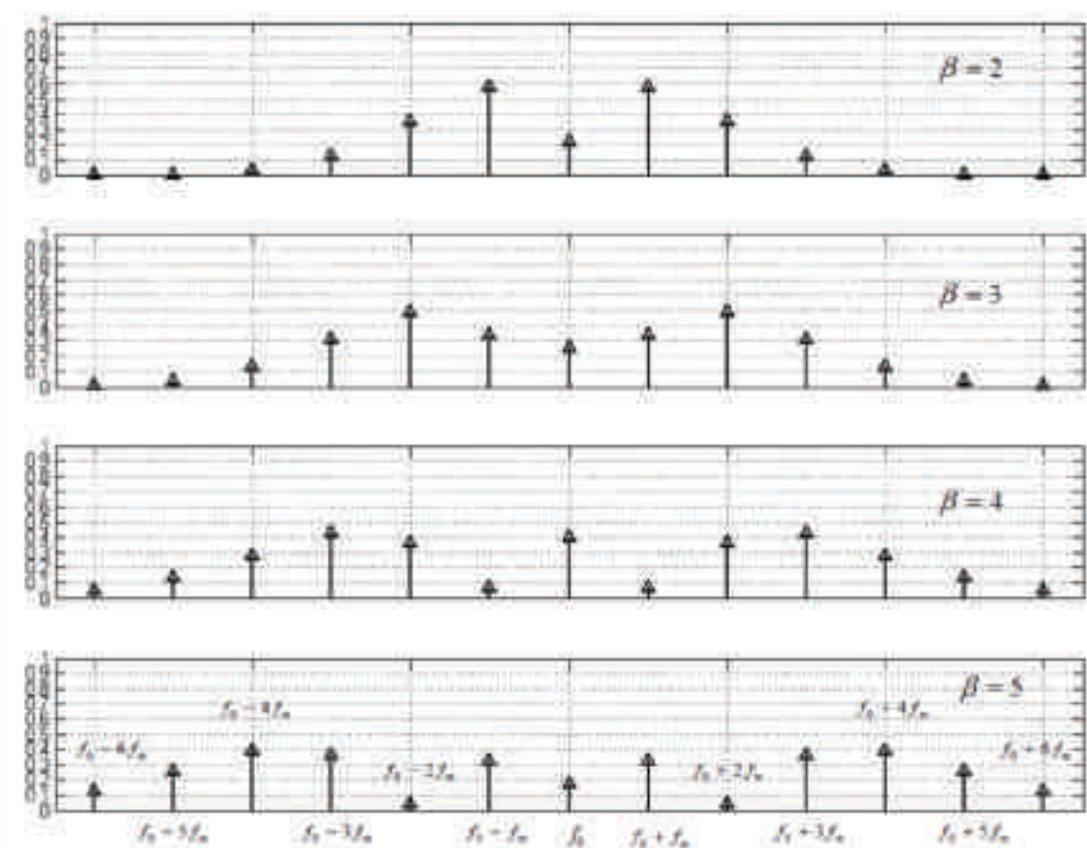


Fig. 5 – Espectro do sinal FM para vários índices de modulação β .



Nos transmissores comerciais utilizados em FM o desvio de frequência Δf é 75 kHz. A máxima frequência do sinal modulante (informação) é de 15 kHz. Com isso, vemos que β vale 5.

Assim, se injetarmos um tom senoidal num transmissor FM comercial, deveremos ter o seu espectro de RF semelhante ao da figura 2.5 ($\beta = 5$).



Demodulação de sinais FM

Discriminador de Inclinação

Este é o método mais simples para detecção de sinais modulados em frequência, aproveitando a inclinação praticamente linear na região não-ressonante do circuito sintonizado. Ou seja, este método aproveita a banda de guarda praticamente linear de filtros sintonizados.

Para simplificar o entendimento, podemos dizer que o circuito (ou filtro) sintonizado converte a variação de frequência do sinal modulado em variações de amplitude.

O envoltório assim gerado é detetado de forma convencional (como no AM), por meio da utilização de um detetor a diodo.

Na figura seguinte, temos um exemplo simplificado deste tipo de circuito, com a sua curva de resposta.

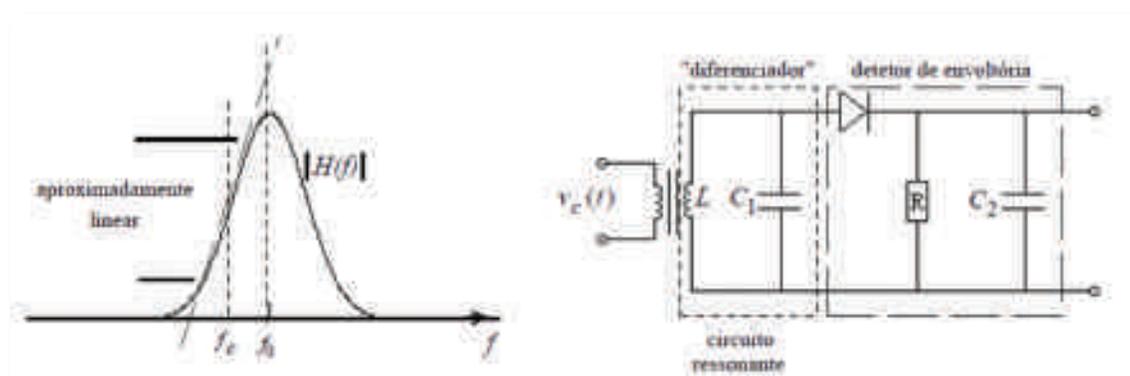


Fig. 6 – Discriminador de inclinação simples.

A simplicidade reduz o custo do projeto, mas apresenta algumas desvantagens:

- O desvio de frequência deve ser pequeno, para aproveitar a estreita região linear da curva.
- Para aumentar a região linear, pode diminuir-se o fator de qualidade do circuito, porém, o ganho em amplitude cairá.
- A região dita linear introduz uma distorção razoável por não ser realmente linear.



Discriminador de Inclinação Balanceado

Uma ideia para se minimizarem as desvantagens do discriminador de inclinação é utilizar dois discriminadores, projetados de forma que melhorem mutuamente as características da inclinação da região não-ressonante.

Na figura seguinte, temos a sua característica de funcionamento num circuito simplificado desse tipo de discriminador.

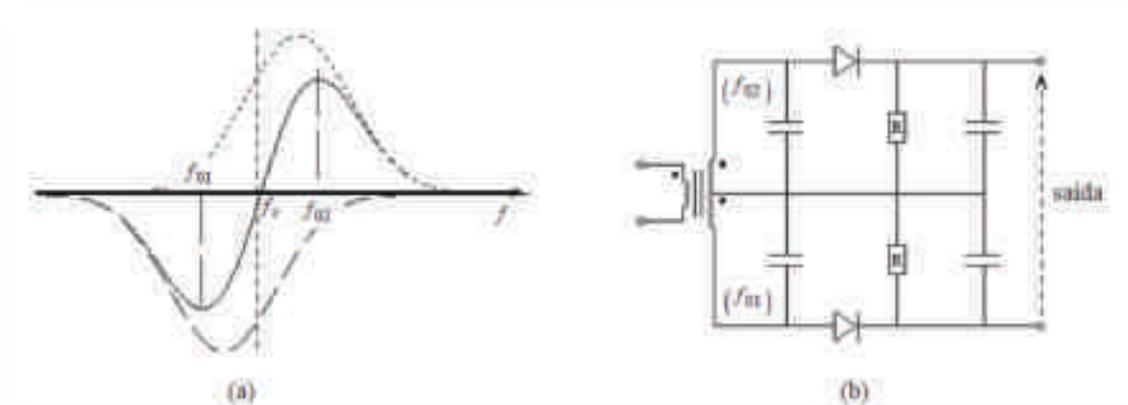


Fig. 7 – Discriminador de inclinação balanceado.

FM estéreo

Até 1961, todas as transmissões FM eram monofónicas, a partir dessa época, passaram a ser autorizadas as transmissões FM comerciais. Usando transmissões FM, era possível dividir o sinal de áudio espacialmente em dois sinais, de 50Hz a 15kHz.

Sons originados no lado esquerdo seriam reproduzidos no lado esquerdo, e sons produzidos no lado direito eram reproduzidos no lado direito.

Transmissor estéreo

O principal problema em introduzir transmissões estereofónicas, era a compatibilidade com os recetores monofónicos. Para resolver este problema, resolveu-se que na primeira faixa de 50Hz a 15KHz seria transmitida a soma dos sinais L (esquerdo) e R (direito). Para poder separar o sinal L e R, seria então necessário que se adicionasse alguma informação numa faixa superior.



Para isso, poderia ser transmitido o sinal L logo após o sinal L + R, e então para recuperar o sinal R bastaria inverter o sinal L, somar ao sinal L + R e obter o sinal R.

No entanto, foi encontrada uma solução mais elegante. Em vez de transmitir o sinal L, resolveu transmitir-se o sinal L - R, então para obter o sinal L, ou R respectivamente, bastaria somar, ou subtrair, os sinais L + R e L - R, obtendo então 2L e 2R, que são os sinais L e R amplificados duas vezes.

A figura seguinte mostra o espectro do sinal FM estéreo.

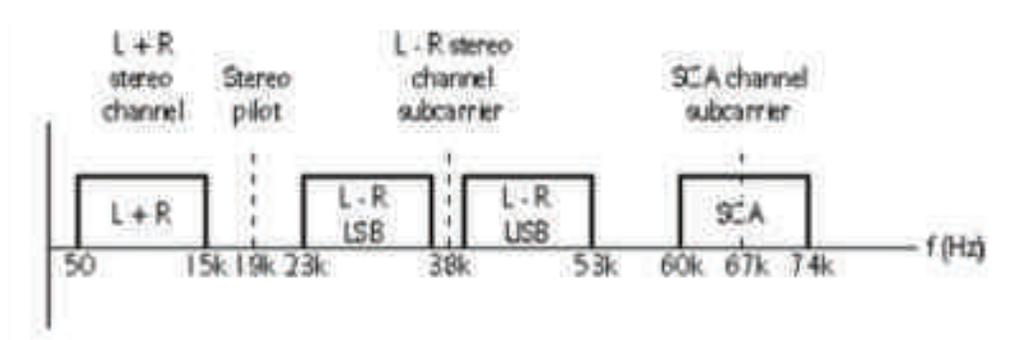


Fig. 8 – Espectro do sinal estéreo em banda básica.

Como o sinal L + R ocupa a faixa de 50Hz a 15kHz, é necessária uma forma de colocar o sinal L - R nalguma faixa maior. Uma forma de fazer isto é modular o sinal L - R em amplitude usando uma frequência maior, e esta foi a forma utilizada. O sinal L - R passou a ser modulado em AM-DSB com uma sub-portadora de 38kHz, gerando bandas laterais de 38-15 kHz a 38+15 kHz.

Além destes dois sinais, ainda é enviada, na faixa de 19kHz, uma onda piloto, gerada a partir da metade da frequência da onda usada para modular em AM o sinal L - R. Também é possível a existência de uma outra faixa, chamada SCA (*Subsidiary Communications Authorization*), que pode ser usada para transmitir informações adicionais, de dados ou áudio, e ocupa a faixa de 60-74 kHz. O espectro de um sinal FM estéreo pode ser visto novamente na figura anterior.

Ao receber uma onda modulada em FM estéreo, um recetor mono demodula a banda básica e alimenta o amplificador com a faixa de 50Hz a 15kHz, correspondente ao sinal L + R. Recetores estéreo, por sua vez, devem também demodular a faixa de 23-53 KHz que contém o sinal L - R, separar o canal esquerdo e direito de áudio e, então, alimentar os respectivos autofalantes. O processo de multiplexação de dois sinais de áudio é mostrado na figura seguinte.



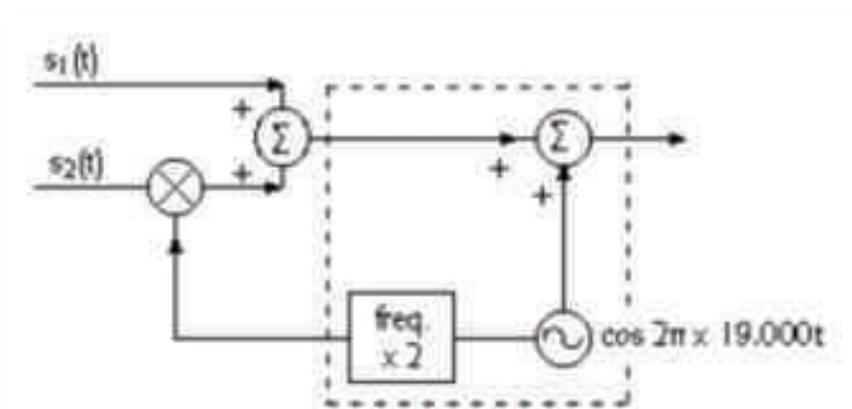


Fig. 9 – Multiplexação dos canais L e R.

(FSK) Frequency-Shift Keying

Semelhante ao FM, o FSK (sintonia por deslocamento de frequência) desloca a frequência da portadora do transmissor. Contudo, o FSK desloca a frequência apenas entre os pontos fixos separados. A maior frequência é chamada frequência de marco enquanto a menor das duas frequências é chamada frequência de espaço. Por contraste, um sinal FM pode ondular para qualquer frequência dentro do seu intervalo de desvio.

Podemos visualizar como ocorre este processo através da figura abaixo. Repare que a cada deslocamento de frequência ou fase, atribui-se um valor binário, que efetivamente irá conduzir a informação.

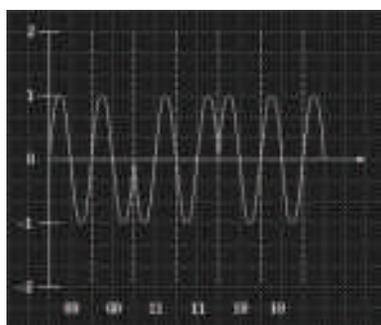


Fig. 10 – Representação da FSK.

O FSK foi originalmente desenvolvido para enviar texto através de dispositivos de rádio teleimpressor. O deslocamento da portadora entre o marco e o espaço foi usado para gerar caracteres no código Baudot, o qual pode ser pensado como uma versão mais elaborada do código Morse. No recetor, os sinais Baudot foram usados para produzir texto impresso em impressoras e, posteriormente, em telas de vídeo.



Conforme a tecnologia evoluiu, o FSK foi usado para transmitir mensagens no código ASCII usados por computadores, isto permitiu o uso de caracteres caixa baixa e alta e símbolos especiais. A introdução do micro processador tornou possível usar o FSK para enviar mensagens com capacidade de verificação e correção automática de erros. Isto é feito através da inclusão de códigos de verificação de erro nas mensagens, permitindo que a estação recetora requisiite a retransmissão, se uma mensagem ou os códigos de verificação de erro estiverem em conflito (ou se o código não foi recebido). Entre os modos mais comuns, tais como o FSK, estão o AMTOR (*Amateur Teleprinting Over rádio - tele impressão amadora através do radio*) e FEC (*Forward Error Correction - correção adiantada de erro*).

O FSK é o modo mais rápido de se enviar texto pelo radio, e os modos de correção de erro oferecem alta fiabilidade. O espaço de frequência ocupado depende da quantidade de deslocamentos, mas um sinal típico de FSK ocupa menos que 1.5 kHz de espaço. A grande desvantagem do FSK é a necessidade de um mais elaborado equipamento de receção.

Terminais de receção especial e adaptadores estão disponíveis para que possa «ver» os modos FSK. Muitos deles trabalham em conjunto com os computadores pessoais.

Modos Digitais

A mesma tecnologia que torna possível visualizar esta página Web é também usada no ar. Os modos digitais podem organizar informação em pacotes que contêm campos de endereçamento, informação a respeito do protocolo que está a ser utilizado, código de detecção de erros, com poucas centenas de *bytes* de dados, e bits para indicar onde cada pacote começa e termina.

Em vez de transmitir mensagens em fluxos contínuos, os modos de pacotes partem-nos em pacotes. No terminal de receção, os diferentes pacotes são reagrupados para formar a mensagem original. Se um pacote está perdido ou for recebido com erros, a estação recetora pode requisitar a retransmissão do pacote. Os pacotes podem ser recebidos fora de sequência, ou até de múltiplas fontes (tais como de diferentes estações retransmissoras) e continuarão a ser agrupadas dentro da mensagem original pela estação recetora.



Enquanto o modo de pacotes tem sido usado principalmente para enviar texto, qualquer informação que pode ser convertida em formato digital - som, gráficos, vídeo etc., pode ser transmitida por modos digitais.

Outra vantagem dos modos de pacotes é que os pacotes podem ser endereçados a estações específicas no campo de endereço de cada pacote. Outras estações irão ignorar os pacotes não endereçados a elas.

A grande desvantagem dos modos pacotes é a complexidade do sistema necessário para recepção e transmissão. O espaço de frequência ocupado é diretamente proporcional a velocidade a qual as mensagens são transmitidas, e os modos de rádio digital são muito lentos comparados aos seus equivalentes na internet. A mais lenta conexão através da internet é de 14.400 baud (14.4 K), enquanto a taxa máxima na prática do modo digital é de 9600 baud (9.6 K). Em frequências abaixo de 30 MHz, é ainda mais baixa; velocidade são geralmente restritas a apenas 300 bauds (0.3 K). Como resultado, os modos digitais através de rádio entregam desempenho muito menor que seu potencial.

Adaptadores especiais de recepção para os modos pacotes estão disponíveis, e esta usualmente trabalham em conjunto com computadores pessoais. A maioria oferece capacidade de recepção de FSK também. Os equipamentos de rádio amadores mais modernos já possuem conexões para essa tecnologia.

Outra forma de modulação digital é conhecida como *spread spectrum* (espalhamento de espectro). As maiorias dos outros métodos de modulação empacotam toda a potência de saída do transmissor numa largura de banda de poucos kHz. (Mesmo em FM, a portadora não ocupa muita largura de banda, mesmo podendo sua frequência ser desviada ao longo de um intervalo largo). O espalhamento de espectro literalmente «espalha» a portadora através de um intervalo de frequência que pode ser tal qual 10 kHz em frequências abaixo de 30 MHz. (O espalhamento acima de 100 kHz ou maior é comum nas bandas de VHF e UHF). Este espalhamento é geralmente feito através de um «código de espalhamento» contido num circuito integrado interna micro processado.

Quando ouvido num recetor convencional, o espalhamento de espectro soa a ruído aleatório, como água «borbulhando». Um recetor equipado com o micro processador que tem o correspondente «código de espalhamento» é necessário para receber adequadamente a transmissão. As vantagens deste método incluem o alto grau de privacidade e liberdade e imunidade a interferência, porque o recetor de espalhamento



de espectro irá rejeitar qualquer sinal que não apresenta o código apropriado. A maioria dos utilizadores do espalhamento de espectro abaixo de 30 MHz, são vários serviços militares e governamentais.



Recetores FM

Recetor

Um recetor é um dispositivo que recolhe ondas eletromagnéticas enviadas por um transmissor, deteta-as de modo que possam ser ouvidas e amplifica-as para o nível normal de audição. Em seguida, é apresentado o diagrama do funcionamento de um recetor de FM.

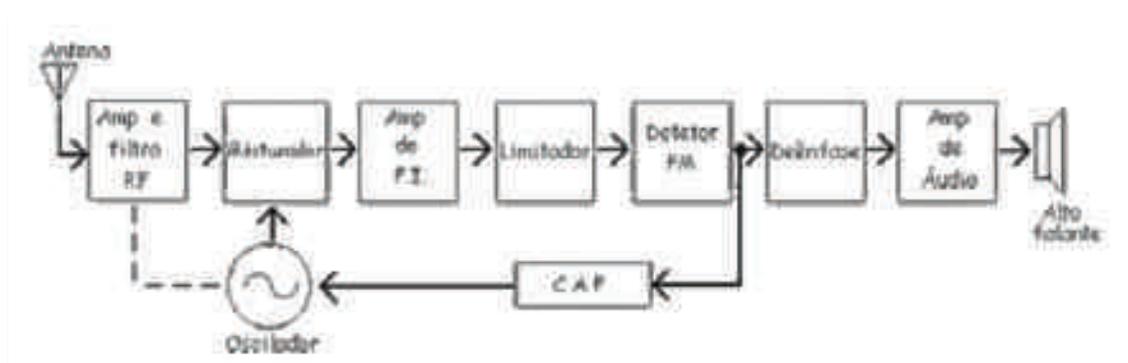


Fig. 11 - Diagrama de Blocos de um recetor FM

Analisemos agora os diversos blocos constituintes do recetor de rádio FM:

Antena

É um dispositivo que tem a capacidade de emitir ou receber ondas eletromagnéticas. É constituída por um par de condutores alimentados por uma linha de transmissão e, normalmente, a sua dimensão é proporcional ao comprimento de onda do sinal a ser transmitido ou recebido. A sua ligação é feita diretamente ao amplificador de rádio frequência.

O circuito de ligação de uma antena telescópica é o seguinte:

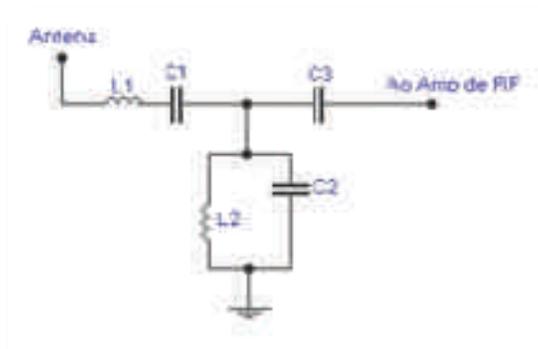


Fig. 12 – Diagrama de Antena Telescópica



O circuito de ligação de uma antena externa é o seguinte:

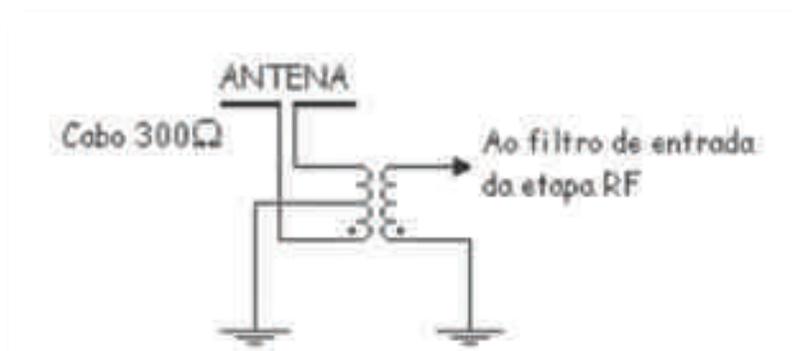


Fig. 13 – Diagrama do Circuito de ligação da Antena Externa

Etapa de RF

A etapa de RF, constituída geralmente por um filtro LC e um amplificador, tem a função genérica de «selecionar» o sinal de determinada emissora que desejemos sintonizar. Isto é realizado pelo circuito de sintonia variável LC, através do condensador, enquanto o indutor exerce a função de acoplamento da antena, ou no caso de grande parte de recetores portáteis, a função de própria antena.

É definida por um fator determinante: o modelo do circuito de entrada da antena.

No caso da antena telescópica, o circuito utilizado para a ligação da antena ao amplificador de RF é o próprio circuito de entrada da antena. Já no caso da antena externa com cabo balanceado de 300Ω , o circuito de entrada da antena tem o secundário do transformador sintonizado de forma que possa restringir a banda a ser amplificada numa faixa que vai de 88MHz à 108MHz. No caso de se usar um circuito BALUM, devemos fazer com que o transformador passe a funcionar como autotransformador, realizando uma derivação no seu enrolamento.

Passando agora ao amplificador de RF, a sua função é amplificar os sinais provenientes do filtro de RF e transferi-los ao próximo estágio, o misturador. Este amplificador pode ser um transístor de pequenos sinais, que opera em base comum ou um FET a operar em fonte comum.

Modelo de amplificador usando um transístor que opera em Base Comum.



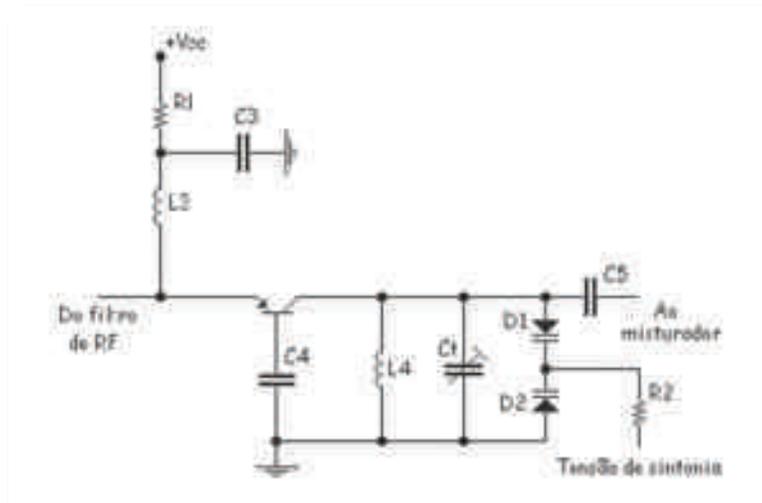


Fig. 14 – Esquema do amplificador da antena

Oscilador Local

Tem como função gerar uma frequência que varia com a frequência de sintonia do filtro de RF, porém mantendo uma diferença fixa de 10,7MHz. Nos recetores mais complexos, é utilizada uma etapa com esta função, mas nos recetores mais baratos, o transístor do misturador é autoexcitado, facto que leva uma bobina, ligada ao seu coletor, a oscilar, gerando esta frequência. O modelo de oscilador que garante mais estabilidade na frequência de oscilação é o independente, cujo exemplo é o oscilador Hartley, apresentado em seguida:

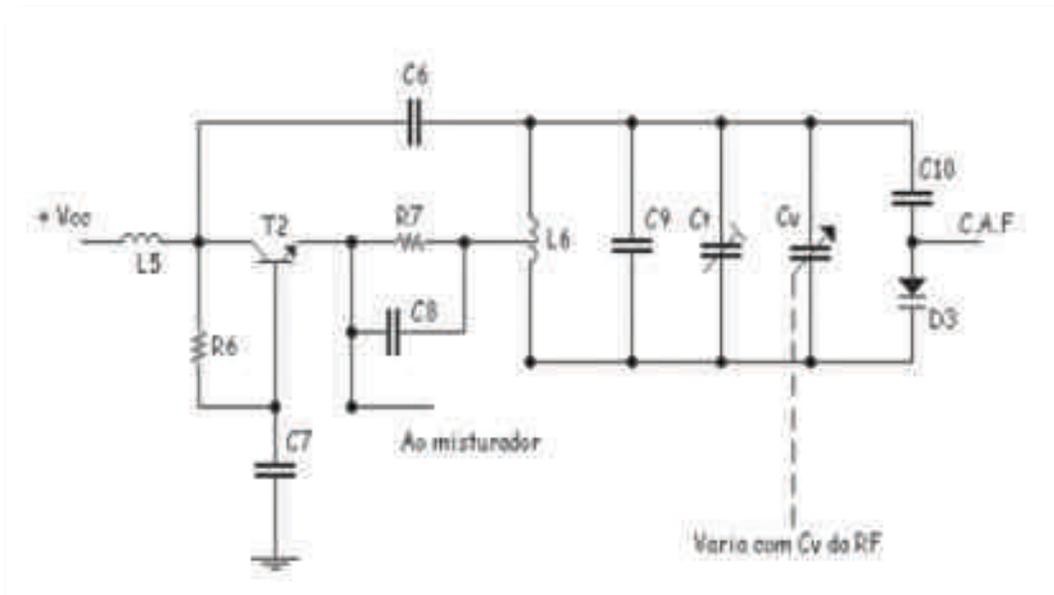


Fig. 15 – Diagrama do Oscilador de Hartley



Misturador

Como o próprio nome diz, esta etapa tem a função de «misturar» os sinais provenientes da etapa de RF e do oscilador local. Esta função é realizada pelo transistor, que recebe na sua base o sinal de RF e no seu emissor o sinal do oscilador. Possui o coletor sintonizado na frequência resultante da diferença entre as duas que recebe, cujo valor é 10,7MHz, coincidindo com o valor da frequência intermediária adotada para a transmissão em FM.

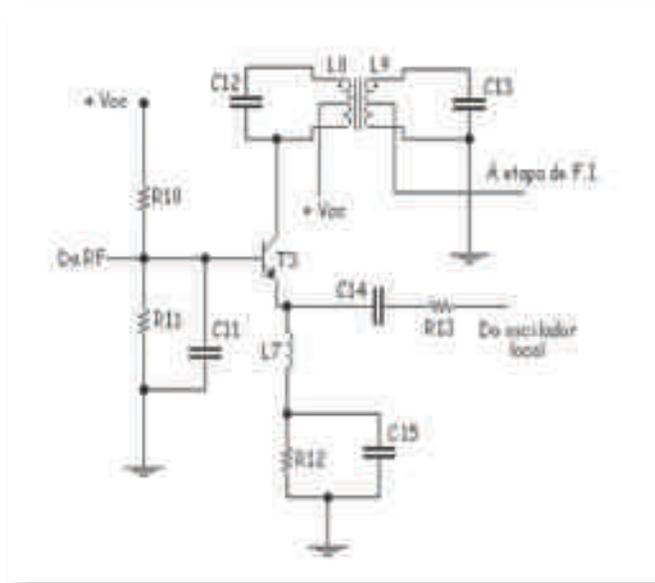


Fig. 16 – Diagrama de Misturador

Etapa de F.I.

A sua função é a de dar continuidade à amplificação do sinal recebido na antena. É a principal responsável pela seletividade e pelo ganho do recetor.

Ela é responsável pelo ganho pois quando o sinal chega à antena, este possui amplitude aproximadamente igual a 10VRMS. Passando pelo amplificador de RF e pelo misturador, este sinal chega à etapa de F.I. com aproximadamente 150VRMS e ao sair, está com 10mVRMS. Com isso, percebemos que o ganho mínimo desta etapa deve ser de 30dB. Qualquer exigência maior neste assunto é resolvida com a utilização de diversos estágios amplificadores em cascata.

A respeito da seletividade, é importante realçar o papel do filtro cerâmico de 10,7MHz que possui uma seletividade maior do que qualquer filtro LC sem precisar de ajustes.



Detetor

O sinal FM pode ser obtido pela desmodulação utilizando circuitos integrados, ou utilizando o detetor de relação.

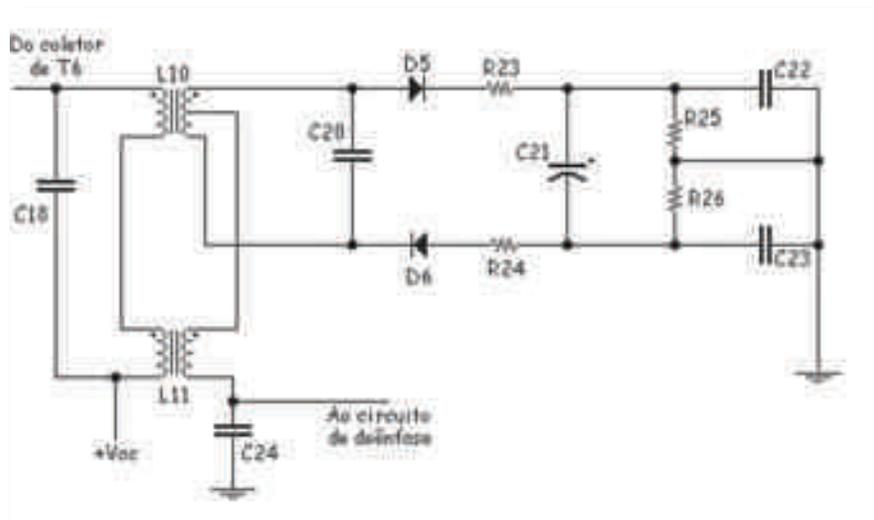


Fig. 17 – Diagrama de Detetor

Etapa de Áudio

A seguir, veremos um diálogo entre as personagens Gaby e Hyga, componentes da chamada etapa de áudio.

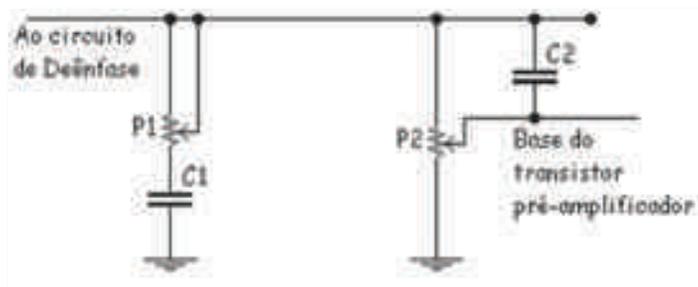


Fig. 18 – Diagrama do circuito da etapa de áudio

Analisando o circuito acima, vemos que o potenciômetro P1 e o condensador C1 cortam as altas-frequências (agudos) dando a impressão de um reforço às baixas frequências (graves). P2 ajusta o volume e C2 é um reforço para sons agudos.



Recetor estéreo

Quando um sinal FM estéreo é recebido, é demodulado e torna-se num sinal de acordo com o descrito no início. Na figura seguinte, podemos observar o diagrama de blocos de um recetor que possui saídas mono e estéreo.

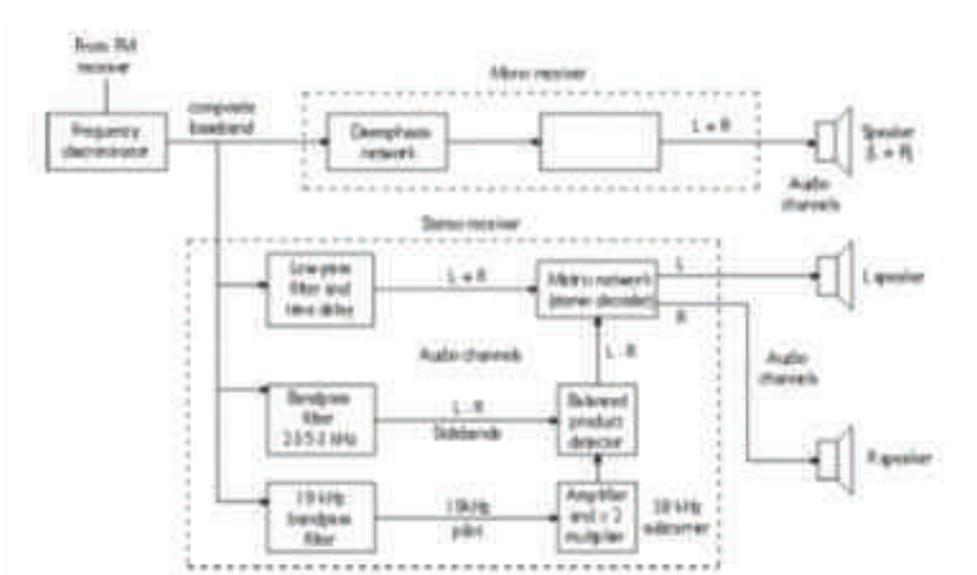


Fig. 19 – Diagrama de blocos do recetor FM mono e estéreo.

Na secção mono do processador de sinais, o canal L + R contendo toda informação original dos canais L e R é simplesmente filtrado e amplificado para alimentar ambos os autofalantes. Na secção estéreo, o sinal alimenta um demodulador estéreo onde os canais L e R são separados e direcionados aos seus respetivos autofalantes.

O canal L + R e L - R e o piloto de 19kHz, são separados do sinal composto usando filtros. O sinal L + R é filtrado usando um filtro passa baixa com frequência de corte de 15kHz. O piloto de 19kHz é separado usando um filtro passa faixa, que então é multiplicado por 2, amplificado e usado no demodulador do sinal L - R. O sinal L - R por sua vez, é separado com um filtro passa faixa e então é demodulado, utilizando a portadora de 38kHz recuperada, gerando o sinal L - R de informação de áudio. Os sinais L + R e L - R são então combinados de forma que separem os sinais de áudio L e R, que são usados para alimentar seus respetivos autofalantes.



Modulação de Impulsos

Introdução

Para além da tradicional rede de comunicação telefónica, o desenvolvimento das tecnologias digitais nas últimas décadas criou novos tipos de serviços, nomeadamente o telefone móvel e a Internet. Cada vez mais estes serviços integram, de um modo natural, diversas fontes de informação, tais como os sinais de fala e áudio, as imagens e vídeo, ou o texto, como é apenas um exemplo o sistema UMTS - Universal Mobile Telecommunications System.

Quando o sinal original é analógico, tipicamente variando continuamente com o tempo, é necessário convertê-lo para digital, ou seja, representa-lo com um número finito de bits. Por codificação digital de sinais entende-se esta representação digital com vista à transmissão ou armazenamento. Quando da transmissão, o débito binário (*bit rate*) de codificação da fonte, medido em número de bits por segundo, é um fator importante na definição da largura de banda requerida para o canal de transmissão. No armazenamento para utilização posterior, o débito binário determina o espaço requerido na unidade de armazenamento. O conjunto de bits que representam o sinal pode ainda ser reduzido, aumentando a eficiência, aplicando outro tipo de codificadores, que na maioria das vezes tiram partido da correlação entre amostras.

A conversão para digital provoca sempre distorção, presente quando o sinal é convertido para analógico. Uma medida de qualidade desta distorção é a relação entre a potência do sinal original e a potência do ruído de quantificação (*SNR – Signal to Noise Ratio*). O problema básico da quantificação/codificação é o de obter um mínimo de distorção para determinado débito binário, ou manter a distorção aceitável ao menor débito binário possível.

Para além da integração de serviços, uma outra vantagem da representação digital sobre a representação analógica é, embora introduzindo á priori ruído de quantificação, a de uma maior imunidade ao ruído introduzido pelos canais de transmissão. Repare-se que, ao contrário da transmissão analógica em que o efeito do ruído do canal de transmissão pode ser atenuado mas nunca totalmente suprimido, numa transmissão digital não haverá erro na transmissão desde que seja possível distinguir, apesar do ruído, entre



símbolos. A medida de qualidade desta transmissão é a relação entre os erros de bit e a totalidade dos bits transmitidos (BER – *Bit Error Rate*).

Conversão analógico-digital

O problema da conversão analógico-digital é o de converter um sinal analógico, ou seja, de variação contínua no domínio do tempo, representando por exemplo variações de pressão produzidas por um som quando captado através de um microfone, num conjunto finito de bits. A dificuldade encontrada prende-se com o carácter contínuo, e portanto com infinitas possibilidades, do sinal, quer no tempo quer em amplitude. A conversão analógico-digital envolve três etapas (amostragem, quantificação e codificação PCM), que serão objeto de análise no resto desta secção e na secção seguinte. A amostragem tem como objetivo tornar o sinal discreto no domínio do tempo e não envolve perda de informação, desde que alguns pressupostos não sejam quebrados (teorema da amostragem). A quantificação torna o sinal discreto na amplitude, transformando um número infinito de valores num número finito. Finalmente, a codificação atribui a cada amplitude discreta um código finito, representado por um conjunto de bits.

O primeiro passo para a conversão analógico-digital de sinais é a amostragem. Esta pode ser descrita como a «observação» do valor do sinal analógico de entrada a intervalos regulares.

Para reconstruir o sinal amostrado é, então, necessário, filtrá-lo pelo passa-baixo (filtro reconstrutor) à frequência de amostragem $f_s/2$, com ganho T_s para manter a amplitude final. Para evitar a sobreposição espectral e a correspondente distorção a que se dá o nome de *aliasing*, a frequência de amostragem deverá ser superior a duas vezes o valor W da frequência máxima do sinal (teorema da amostragem). Todo este processo é ilustrado na figura 20. Quando não há certeza de se evitar o *aliasing*, antes da amostragem o sinal deve ser previamente limitado à frequência $f_s/2$, com um filtro passa-baixo à mesma frequência de corte.



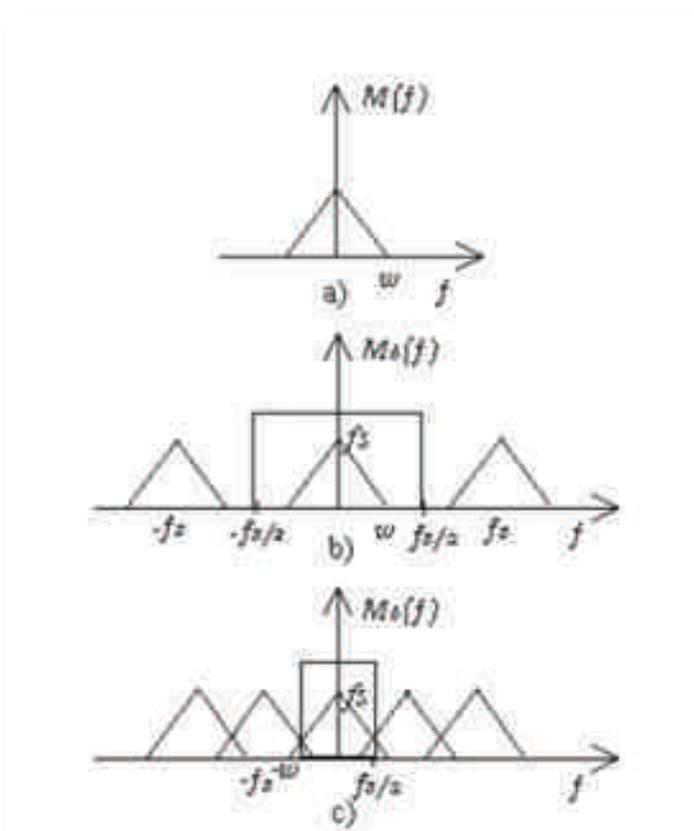


Fig. 20 - Interpretação da amostragem no domínio da frequência

Em a) representa-se o espectro de um sinal de entrada $m(t)$, com banda limitada W .
 Em b) representa-se o espectro do sinal amostrado. A reconstrução do sinal é possível sem distorção por filtragem passa-baixo à frequência de corte $f_s/2$, pois $W < f_s/2$.
 Em c) representa-se o sinal amostrado em que as repetições espectrais se sobrepõem (*aliasing*), pois $W > f_s/2$.

Teorema da Amostragem

É possível amostrar e reconstruir, sem erro, um sinal com banda limitada W , desde que a frequência de amostragem f_s seja superior a $2W$. A reconstrução sem distorção do sinal amostrado é obtida por filtragem passa-baixo à frequência de corte $f_s/2$. Se f_s for inferior a $2W$ o sinal reconstruído sofrerá uma distorção por sobreposição dos espectros, a que se dá o nome de *aliasing*.

Como os sinais resultantes da amostragem tem valores não nulos em múltiplos do período de amostragem T_s , estes podem ser apresentados com vantagens na sua



representação discreta (utilizada em processamento digital de sinais) $m[n]$, em que o índice discreto n deve ser interpretado como correspondente ao tempo nT_s . Uma vez que o filtro reconstrutor é linear, a reconstrução pode ser interpretada como a sobreposição de funções $\text{sinc}(x)$, devidas à resposta em frequência do filtro, pesadas pelo valor da amostra correspondente e deslocadas para a respectiva posição no tempo.

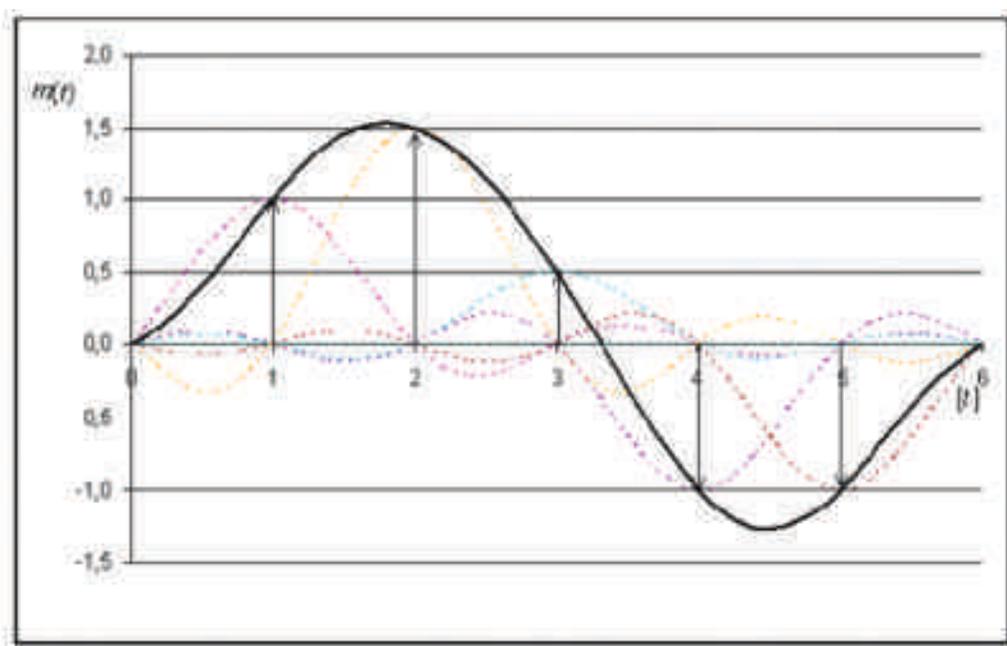


Fig. 21 - Interpretação da reconstrução do sinal no domínio do tempo.

O sinal é reconstruído por sobreposição de funções sinc, correspondentes à resposta impulsiva do filtro de reconstrução, pesadas pelos valores da amostra correspondente e deslocadas para a sua posição. As funções tomam o valor zero na posição de todas as outras amostras.

Na figura seguinte é apresentada toda a cadeia de amostragem e reconstrução.

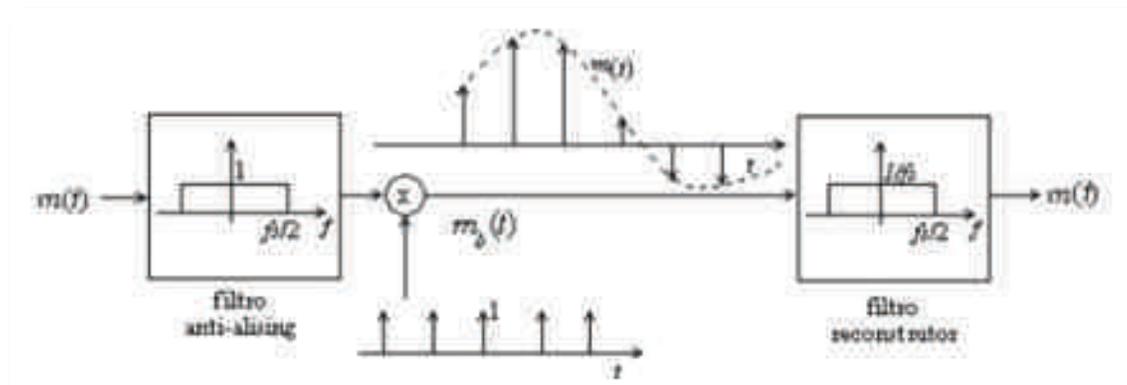


Fig. 22 - Cadeia de amostragem e reconstrução, com filtro anti-aliasing.



PAM – Modulação por amplitude de impulsos

A amostragem com um trem de *diracs* só pode ser concebida em termos teóricos. Na prática, os impulsos têm uma duração que pode ser razoavelmente pequena quando comparado com o período de amostragem, até uma duração igual a esse valor. Este tipo de representação do sinal $m(t)$ toma o nome de modulação por amplitude de impulsos (PAM – *Pulse Amplitude Modulation*), pois as amplitudes dos impulsos resultantes da amostragem tomam o valor do sinal de entrada no momento de amostragem correspondente, ou seja, da área dos *diracs* da amostragem ideal. Se $T \ll T_s$, podem-se colocar sinais de diversas fontes de informação nas zonas de não existência de impulsos das outras fontes, conseguindo-se partilhar o mesmo canal de transmissão por divisão no tempo (TDM – *Time Division Multiplexing*).

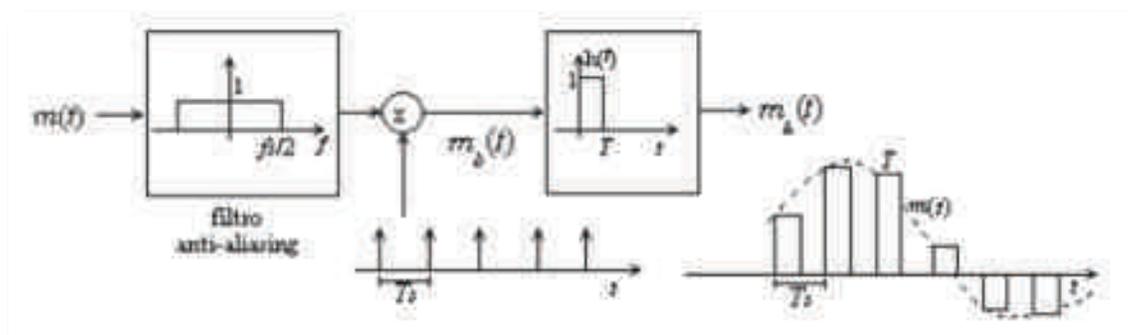


Fig. 23 - Esquema de blocos equivalente à amostragem e retenção de duração T ou modulação por amplitude de impulsos (PAM).

Assumiremos, neste texto, uma frequência de amostragem de 8 kHz e uma filtragem passa-banda na banda entre os 300 Hz e os 3400 Hz, denominada banda telefónica, normalizada na codificação de sinais de fala. A utilização de uma frequência de amostragem superior à mínima exigida pelo teorema da amostragem é justificada pela necessidade de uma banda de guarda, devido à característica não ideal dos filtros realizáveis.

Quantificação

Parâmetros quantificados é um termo usado em mecânica quântica para designar o facto de que muitos dos parâmetros que descrevem um sistema só poderem assumir



um conjunto discreto de valores, ao contrário da dinâmica clássica, onde há uma gama contínua de valores. Quantificação de um sinal é o processo que converte um sinal amostrado (discreto no tempo), num sinal com valores também discretos em amplitude. O sinal analógico $m(t)$ é amostrado dando origem ao sinal $m_{\pm}(t)$. A quantificação torna o sinal discreto, reconhecendo-se na figura seguinte os níveis de quantificação. No gráfico, o sinal quantificado é representado em PAM com duração do período de amostragem (amostragem e retenção).

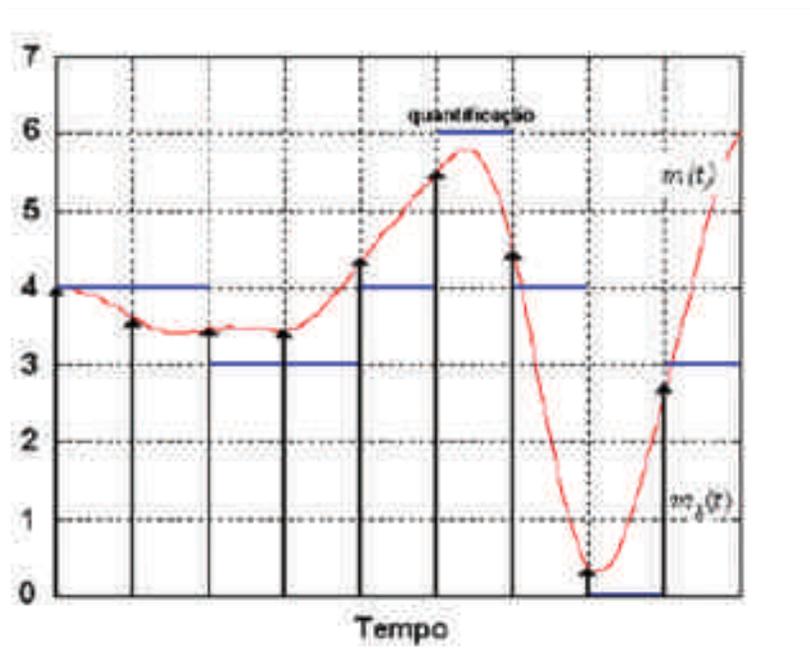


Fig. 24 - Amostragem e quantificação de sinais.

Existem dois tipos de quantificadores, cujas funções entrada-saída são apresentadas na figura 25: *midtread* e *midrise*. Os quantificadores *midtread* incluem o 0 como nível de quantificação, o que é importante nas zonas nulas do sinal (e.g. silêncio em sinais de fala). Como é usual serem usados quantificadores com um número par de níveis de quantificação, estes tornam-se não simétricos pela inclusão, num dos extremos, de mais um nível de quantificação (não apresentado).



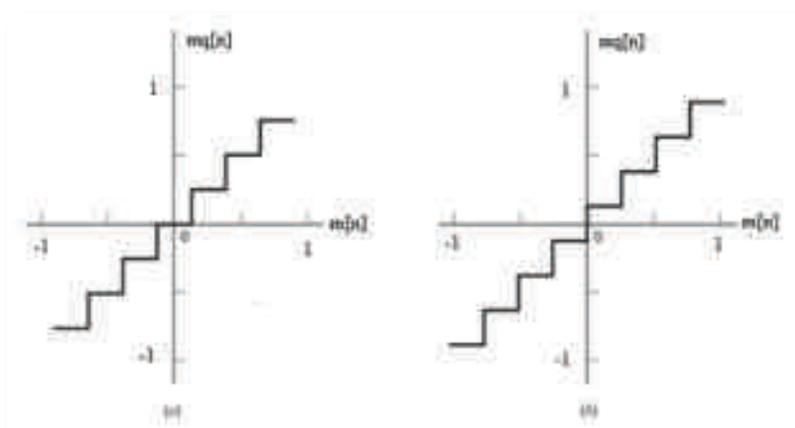


Fig. 25 - Funções entrada-saída dos quantificadores (a) midtread e (b) midrise.

PCM - Modulação por código de impulsos

A codificação é a representação, binária ou outra, da sequência de valores de um sinal, após amostragem e quantificação. Normalmente, os dispositivos que efetuam a amostragem, quantificação e codificação amostra-a-amostra estão integrados. Estes dispositivos necessitam de um circuito de retenção do sinal amostrado durante o tempo de conversão (S&H - *Sampling and Hold*), como foi mostrado na figura 26. No entanto, no que diz respeito à conversão analógico-digital, esta é ideal pois apenas existe um número que representa a área quantificada do impulso de dirac por amostra. A esta codificação amostra-a-amostra dá-se o nome de modulação por código de impulsos (PCM - *Pulse Code Modulation*).

Como exemplo da sequência de amostragem, quantificação e codificação, é representado na tabela 1 um sinal sinusoidal de amplitude 1 Volt e frequência de 1300 Hz ($\sin(2\pi 1300t)$), amostrado com 8000 amostras por segundo (8 kHz). É utilizado o quantificador *midrise* de 8 níveis (3 bits) já apresentado na tabela 2.1 e um código correspondente a numerar sequencialmente os intervalos de quantificação pelo valor do respetivo nível de quantificação (0 para o valor mais negativo e 7 para o valor mais positivo).



Amostra	Amostragem	Quantificação		Codificação	
		$m_q[n]$	$q[n]$	decimal	binario
0	0.000	-0.125	0.125	3	011
1	0.853	0.875	-0.022	7	111
2	0.891	0.875	0.016	7	111
3	0.078	0.125	-0.047	4	100
4	-0.809	-0.875	0.066	0	000
5	-0.924	-0.875	-0.049	0	000
6	-0.156	-0.125	-0.031	3	011
7	0.760	0.875	-0.115	7	111

Tabela 1 - Exemplo de amostragem, quantificação e codificação.

Sinal sinusoidal de amplitude 1 Volt e frequência 1300 Hz, amostrado a 8000 amostras por segundo e resultando no sinal $m[n]=\sin(2\pi 1300n/8000)$. Este é quantificado (*midrise*) com 8 níveis resultando no sinal $m_q[n]$. Estes 8 níveis são codificados com 3 bits por amostra.

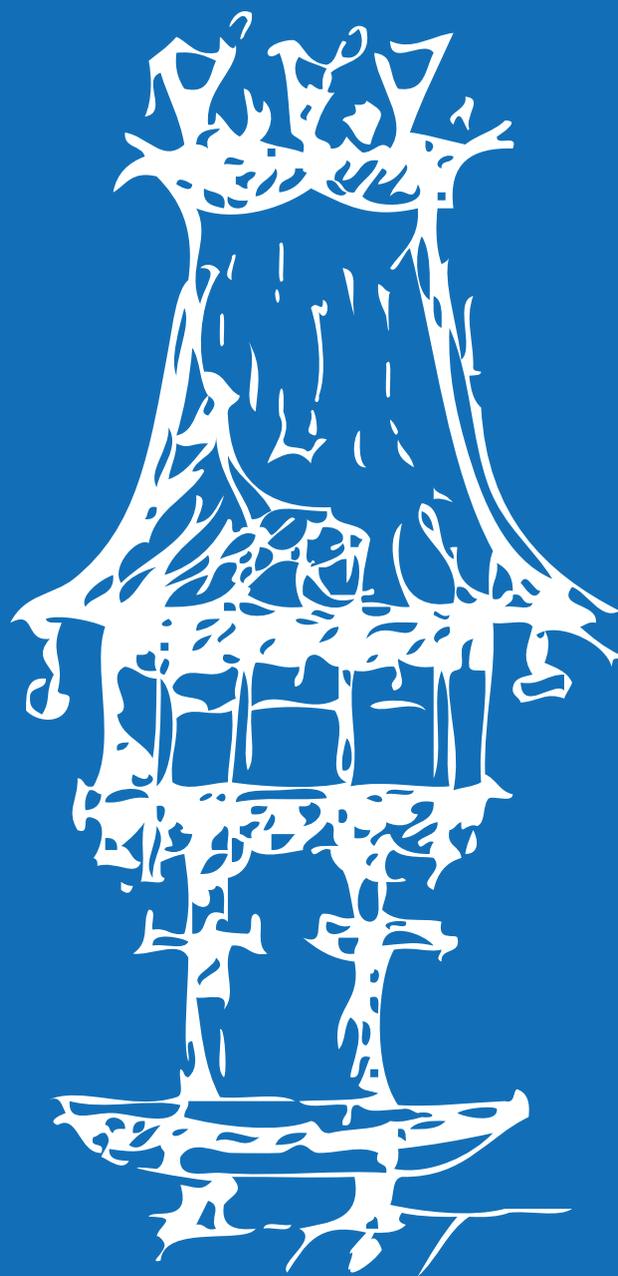


Bibliografia

Malvino – *Electrónica – Vol. II* – Makron Books. (s.d.).

Manual de Sistemas de Transmissão – ESTEL. (s.d.).







Antenas e Sistemas de Transmissão

Módulo 3

Apresentação

Este módulo desta disciplina tem como função a continuação da explicação de como é transmitido e rececionado o áudio a longas distâncias e neste módulo como vamos receber as ondas emitidas pelas estações de rádio e televisão principalmente.

Este tema tem carácter teórico-prático, por isso deverá decorrer, em parte, em ambiente de laboratório de forma que se permita aos alunos a montagem de diversas antenas para melhor entendimento desta matéria.

O objetivo dessa disciplina, portanto, é torná-lo apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos e a comunicação adequada com os profissionais da área.

Introdução

A abordagem deste módulo de antenas e sistemas de transmissão leva-nos a um melhor entendimento dos vários tipos de antenas existentes no mercado assim como a melhor escolha deste equipamento para que se ajuste às crescentes mudanças de equipamentos disponíveis pelas diversas marcas.

Este módulo requer um conhecimento básico de circuitos eletrónicos e respetiva análise e compreensão desses circuitos.

Objetivos de aprendizagem

- Compreender o princípio de funcionamento e características principais das linhas de transmissão.
- Conhecer os principais tipos de antenas, características e modo de funcionamento.
- Conhecer os três sistemas básicos de comunicação: Televisão, FM stereo e comunicação de dados.

Âmbito de conteúdos

- Antenas.
- Sistemas de Transmissão.



Antenas

Introdução

A informação a ser transmitida é inserida numa portadora de radiofrequência (RF) no equipamento transmissor. A energia associada a portadora de (RF) modulada é enviada, por meio de uma linha de transmissão especial, para a antena transmissora, onde é, finalmente, radiada para o espaço na forma de uma onda eletromagnética. Antenas recetoras, quando colocadas no caminho da onda eletromagnética, absorvem parte da sua energia e enviam-na para um equipamento recetor, que recupera a informação.

A potência da portadora de RF gerada no transmissor, a distância entre o transmissor e o recetor e a sensibilidade do recetor são alguns fatores importantes para a viabilização de comunicação por meio de ondas eletromagnéticas. Além disso, a propagação da onda eletromagnética é influenciada pelas condições da atmosfera terrestre e pela natureza do solo entre os pontos de transmissão e de recepção, sinais interferentes podem impossibilitar a recepção durante algum intervalo de tempo, e ruídos e perdas presentes na linha de transmissão dificultam a identificação do sinal.

Qualquer dispositivo conectado a uma fonte de energia que produza campos eletromagnéticos numa região externa é um sistema radiante. A antena é a parte desse sistema construída de modo que maximize ou acentue a radiação de energia e, ao mesmo tempo, minimize ou suprima a energia restante. A teoria de antenas, portanto, admite implicitamente que ela esteja acoplada a uma fonte de energia não radiante por meio de uma linha de transmissão também não radiante.

Em resumo, tanto a investigação da propagação das ondas eletromagnéticas como o estudo de antenas são essenciais para um completo entendimento dos sistemas de comunicação via rádio.

Espectro eletromagnético de frequências

Uma grande variedade de enlaces via rádio pode ser implementada usando como portadora uma frequência do espectro eletromagnético. Os organismos de regulação limitam a faixa de radiofrequências (RF) entre 30 kHz e 300 GHz, embora a propagação



de ondas eletromagnéticas também seja possível abaixo de alguns kHz. Por acordo internacional, a faixa de RF é dividida em bandas, cada banda sendo designada por um nome. A Tab.1 mostra as várias bandas de frequências com as aplicações típicas.

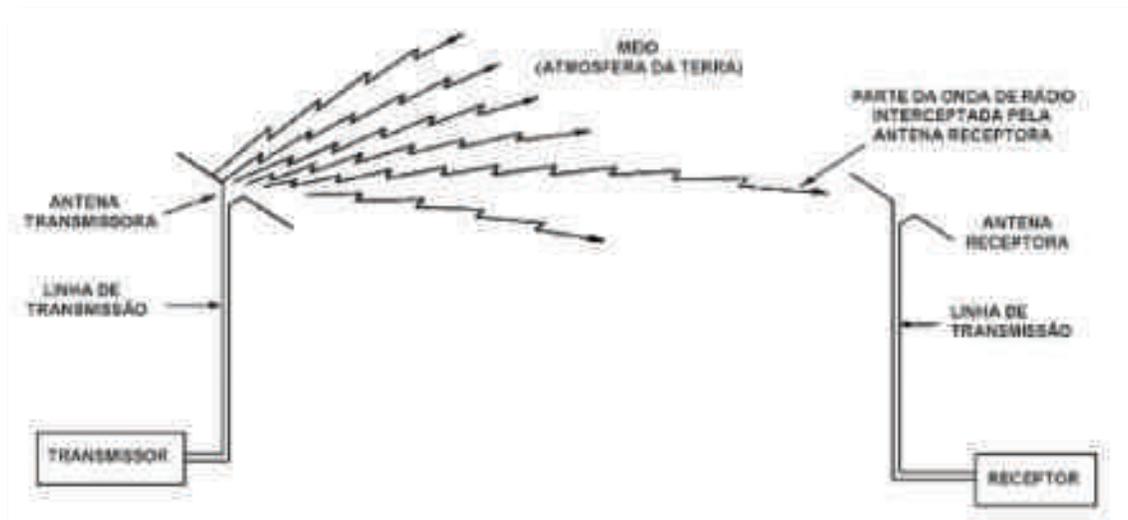


Fig. 1 - Componentes básicos de um sistema de comunicações via rádio.

Assim como o petróleo, o espectro de RF é um recurso natural escasso e, portanto, deve ser utilizado de forma prudente e conservativa. Vários serviços como rádio AM, rádio FM, TV, celular, satélite e enlaces fixos terrestres devem compartilhar desse espectro comum. Além disso, cada um desses serviços deve crescer e se expandir sem causar interferência em outro.

A tarefa de alocar e controlar o espectro de RF é de responsabilidade de um comitê internacional de padronização, criado pelas Nações Unidas e denominado de União Internacional de Telecomunicações (ITU - International Telecommunications Union). Os órgãos do ITU de interesse para comunicações via rádio são as agências designadas de ITU-T (anteriormente CCITT) e ITU-R (anteriormente CCIR). Dentro do ITU-R, a WARC (World Administrative Radio Conference) é responsável pela alocação de uma banda específica de frequência para os serviços atuais e futuros, e a RRB (Radio Regulations Board, anteriormente IFRB) define as regras internacionais para a utilização da frequência dentro dessas bandas. O ITU dividiu o mundo em três regiões: Fig.1.2. A região 1 inclui a Europa, a África e a Comunidade dos Estados Independentes, a região 2 inclui a América do Norte e a América do Sul, a região 3 inclui a Ásia, a Austrália e o Pacífico.



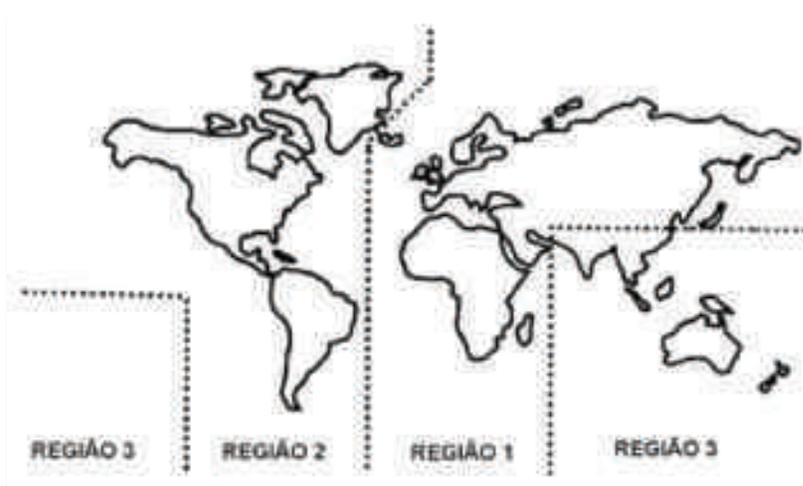
Caraterísticas da onda eletromagnética

Para o entendimento de sistemas radiantes e da propagação de energia, é importante o conhecimento de conceitos associados a uma onda eletromagnética e também as suas caraterísticas na região distante da fonte de radiação.

banda de frequências	designação	aplicações típicas
3 - 30 kHz	very low frequency (VLF)	navegação em longas distâncias, comunicações submarinas
30 - 300 kHz	low frequency (LF)	navegação em longas distâncias, rádio farol marítimo
300 - 3.000 kHz	medium frequency (MF)	AM comercial, rádio marítimo, frequências de emergência
3 - 30 MHz	high frequency (HF)	rádio amador, comunicações militares, <i>broadcasting</i> internacional, comunicações com aviões e navios em grandes distâncias
30 - 300 MHz	very high frequency (VHF)	televisão VHF, rádio FM, comunicação AM aérea, auxílio à navegação aérea
0,3 - 3 GHz	ultra high frequency (UHF)	televisão UHF, radar, enlaces de microondas, auxílio à navegação
3 - 30 GHz	super high frequency (SHF)	comunicações por satélite, enlaces de microondas e radar
30 - 300 GHz	extra high frequency (EHF)	radar, satélite experimental.
$10^3 - 10^7$ GHz	infravermelho, luz visível, ultravioleta	comunicações ópticas.

Tabela 1 - Designação das bandas de frequências e aplicações típicas.

Fig. 2 - Mapa regional do ITU.



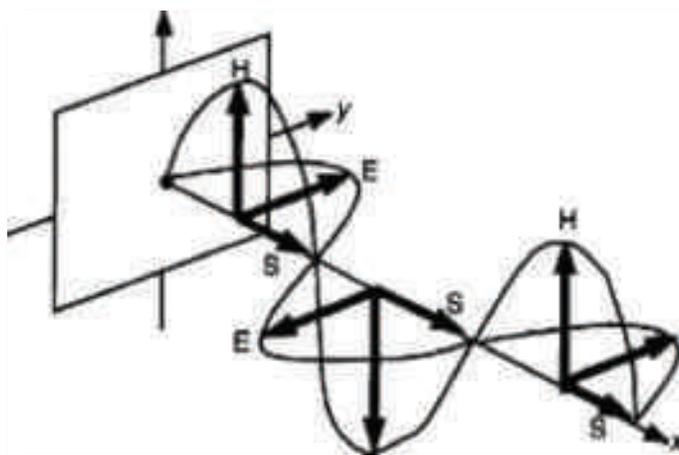


Fig. 3 - Campos vetoriais E e H de onda eletromagnética.

Frente de onda

Distante da antena transmissora, uma onda eletromagnética tem duas componentes vetoriais mutuamente perpendiculares: um campo elétrico e um campo magnético. Esses dois campos são normais à direção de propagação, o que caracteriza uma onda transversa eletromagnética (TEM), Fig.3. Os campos elétrico e magnético interagem com o outro, um campo magnético variante induz um campo elétrico e um campo elétrico variante induz um campo magnético.

A frente de onda é uma superfície imaginária formada por pontos em que os campos têm fase constante. Se, além da fase constante, os campos tem a mesma magnitude em qualquer ponto da frente de onda, ela é uniforme. Nesse caso, os valores máximos e mínimos dos vetores campo elétrico e campo magnético ocorrem no mesmo instante de tempo e são independentes do ponto de observação na frente de onda. Ondas eletromagnéticas no espaço livre caminham como uma onda plana não uniforme.

Período

O período de uma onda é o intervalo de tempo necessário para que os vetores campos elétrico e magnético dessa onda voltem a se repetir. O período T é expresso por:

$$T = \frac{1}{f} \quad (s)$$



em que f é a frequência da onda (o número de ciclos por segundo, em Hz).

Velocidade de propagação

A velocidade de propagação da onda depende do meio no qual ela se propaga e é determinada por:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \quad \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

em que μ é a permeabilidade do meio e ε é a permissividade do meio.

No vácuo:

$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} \simeq 3 \times 10^8$$

em que:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m e } \varepsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Um outro meio qualquer e especificado em termos da permissividade relativa:

$$\mu_r = \mu/\mu_0$$

e da permeabilidade relativa:

$$\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$$

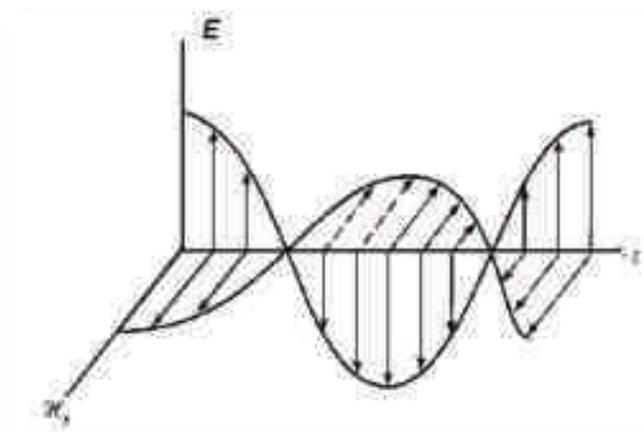


Fig. 4 - Comportamento espacial dos campos elétrico e magnético numa onda polarizada linearmente na vertical.



Comprimento de onda

O comprimento de onda é a menor distância entre duas superfícies de mesma fase. O comprimento de onda λ é expresso por:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (\text{m})$$

Polarização

Uma onda eletromagnética monocromática - que varia sinusoidalmente no tempo - é caracterizada no ponto de observação pela frequência, magnitude, fase e polarização. A polarização da onda é definida no plano que contém o vetor campo elétrico. Ela é a figura que o campo elétrico instantâneo traça, com o tempo, num ponto fixo de observação. Um exemplo é a onda linearmente polarizada na vertical, mostrada na figura anterior para um instante fixo de tempo. Quando o tempo avança, o campo elétrico num ponto fixo oscila para cima e para baixo ao longo de uma linha vertical. Como indicado na figura, as variações temporal e espacial do campo magnético são similares às do campo elétrico, exceto que o campo magnético é perpendicular ao campo elétrico.

Para uma onda completamente polarizada, a figura traçada pelo campo elétrico é uma elipse, representado na figura seguinte. A rotação, numa frequência angular ω , pode ocorrer num determinado sentido. Se a onda está se deslocando na direção do observador e o vetor roda na direção dos ponteiros do relógio, a onda está polarizada para a esquerda. A regra da mão esquerda se aplica nesse caso. Caso contrário, a onda está polarizada para a direita. Ondas elipticamente polarizadas para a esquerda e direita são mostradas nas figuras seguintes.

Se o vetor campo elétrico permanece constante em comprimento mas rotacional sobre um caminho circular, ele está circularmente polarizado. O comportamento tempo-espaço da onda circularmente polarizada é difícil de visualizar. A Fig.7 fornece uma vista em perspectiva espacial de uma onda circularmente polarizada para a esquerda. Na medida em que essa onda se desloca na direção do eixo +z, o campo elétrico num ponto fixo roda na direção dos ponteiros do relógio no plano x y (resultando numa onda circularmente polarizada para a esquerda). Isso é ilustrado na figura com a sequência da variação no tempo do vetor campo elétrico num plano.



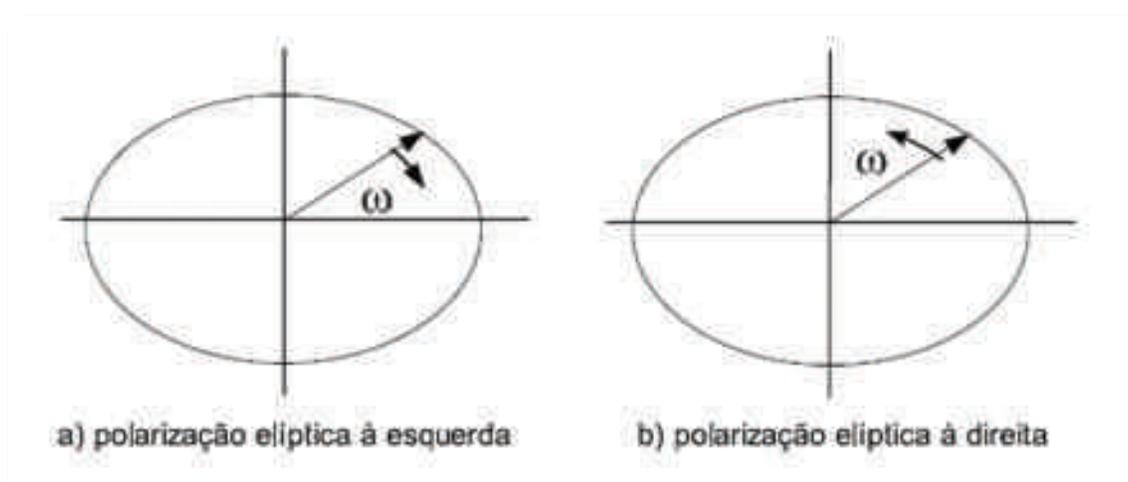


Fig. 5 - Comportamento espacial do campo elétrico numa onda elípticamente polarizada. A onda se aproxima do observador.

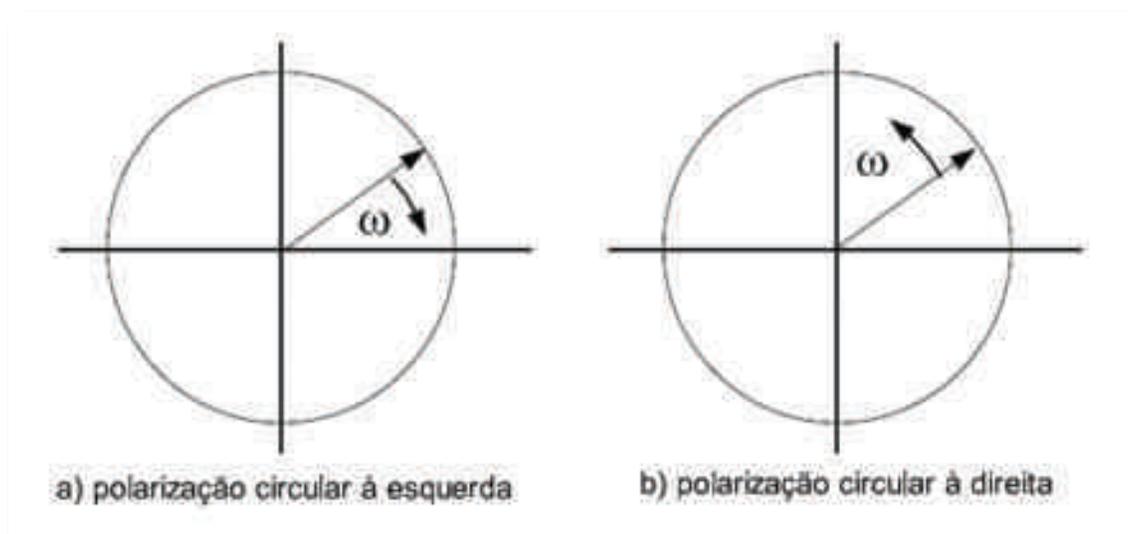


Fig. 6 - Polarização circular. A onda aproxima-se do observador.

Mecanismos de radiação

Considere uma fonte de voltagem conectada a uma antena por meio de uma linha de transmissão de dois condutores. Aplicando-se uma voltagem na entrada da linha cria-se um campo elétrico entre os seus condutores, cujas linhas de são mostradas na Fig. 3.8. As linhas de fluxo forçam os elétrons livres dos condutores a se deslocarem. O movimento de cargas origina uma corrente que, por sua vez, cria um campo magnético com suas respectivas linhas de fluxo.



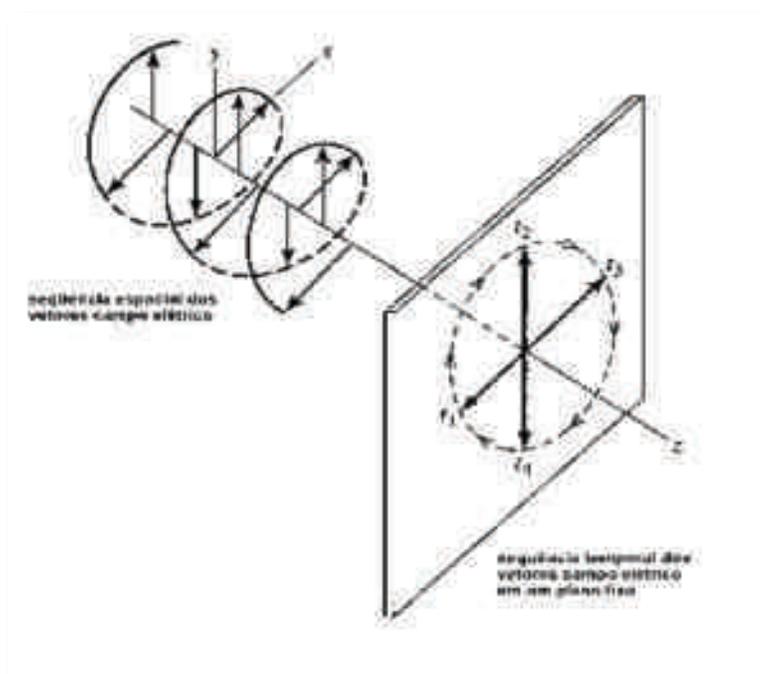


Fig. 7 - Vista em perspectiva de uma onda circularmente polarizada para a esquerda.

As linhas de campo elétrico iniciam em cargas positivas e terminam em cargas negativas. Elas também podem iniciar em cargas positivas e terminar no infinito, iniciar no infinito e terminar em cargas negativas, ou formar caminhos fechados não iniciando nem terminando em cargas. As linhas de campo magnético sempre formam

percursos fechados envolvendo condutores carregando correntes porque não existem cargas magnéticas.

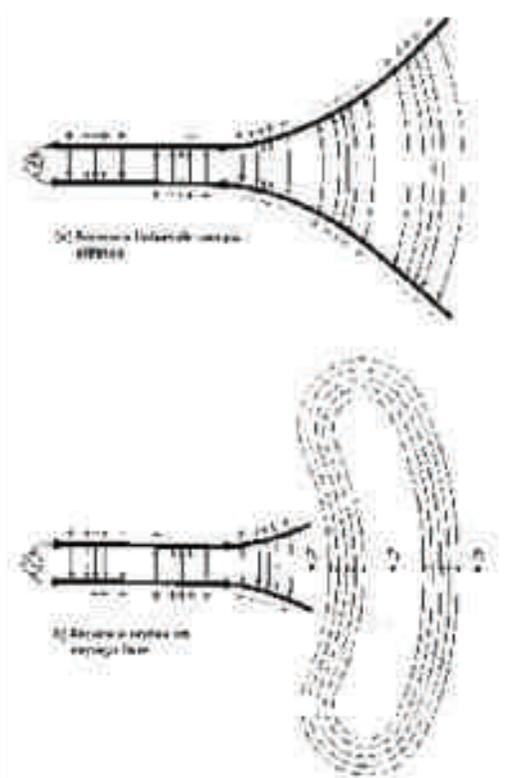


Fig. 8 - Fonte, linha de transmissão e antena.

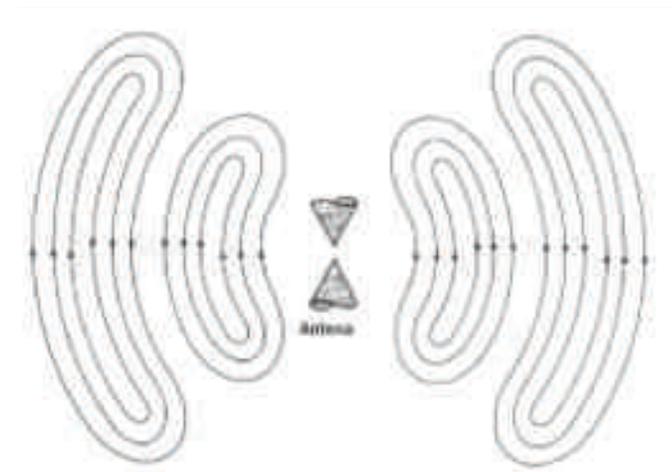


As linhas de campo elétrico, mostradas na figura acima representada, entre os dois condutores, auxiliam a visualização das distribuições de cargas. Assumindo-se que a fonte de voltagem é senoidal, então que o campo elétrico entre os condutores também é senoidal, com um período igual ao da fonte. A amplitude relativa da intensidade de campo elétrico é indicada pela densidade de linhas de força, com as setas mostrando o sentido positivo ou negativo. Os campos elétrico e magnético variando no tempo entre os condutores formam ondas eletromagnéticas que caminham ao longo da linha de transmissão. As ondas eletromagnéticas entram na antena e tem, associadas com elas, cargas elétricas e a corrente correspondente. Removendo-se parte da estrutura da antena, as ondas no espaço livre podem ser formadas fechando-se as extremidades das linhas de campo elétrico (linhas pontilhadas). Essas ondas são também periódicas, mas um ponto de fase constante P_0 move-se externamente com a velocidade da luz e caminha uma distância $\lambda/2$ (para P_1) no intervalo de tempo de meio período.

Para se entender como as ondas guiadas são liberadas da antena dando origem as ondas no espaço livre, conforme indicado por linhas fechadas na figura seguinte, pode-se fazer uma analogia entre as ondas no espaço livre e as ondas criadas ao se atirar uma pedra num lago. Quando a perturbação na água inicia, as ondas criadas se deslocam afastando-se do ponto onde a pedra caiu. Se a perturbação persiste, novas ondas são criadas mas atrasadas em suas propagações com relação as iniciais.

Processo semelhante acontece com as ondas eletromagnéticas criadas por uma perturbação elétrica. Se a perturbação elétrica inicial produzida pela fonte é de curta duração, as ondas eletromagnéticas criadas caminham dentro da linha de transmissão, em seguida pela antena e finalmente serão radiadas como ondas no espaço livre, mesmo se a fonte elétrica não mais existe. Se a perturbação elétrica é de natureza contínua, as ondas eletromagnéticas se deslocam continuamente uma após a outra, como mostrado na figura seguinte para uma antena bicônica.

Fig. 9 - Linhas de campo elétrico no espaço livre produzidas por uma antena bicônica.



As ondas eletromagnéticas no interior da linha de transmissão e da antena estão associadas com as cargas presentes nos condutores. No entanto, quando as ondas são radiadas, elas formam caminhos fechados sem cargas associadas. Com isso se conclui que cargas elétricas são necessárias para excitar mas não para manter os campos, que podem existir na sua ausência. Essa é uma analogia direta com as ondas na água.

O mecanismo pelo qual as linhas de força de campo elétrico se libertam da antena, para formar ondas no espaço livre, pode ser ilustrado pelo exemplo de uma antena curta com relação ao comprimento de onda. Nessa antena, o tempo de deslocamento é desprezável, o que permite uma melhor interpretação física do desprendimento das linhas de força. Embora seja um mecanismo simplificado, ele permite a visualização da criação das ondas no espaço livre.

A figura seguinte mostra as linhas de força criadas entre os braços de um dipolo eletricamente curto alimentado pelo centro, no primeiro quarto do período, tempo durante o qual as cargas atingem seu valor máximo (assumindo uma variação senoidal no tempo) e as linhas caminham a partir do centro de uma distância radial igual a $\lambda/4$. Neste exemplo, assumamos que o número de linhas formadas são três. Durante o próximo quarto do período, as três linhas originais caminham uma distância adicional de $\lambda/4$ (um total de $\lambda/2$ do ponto inicial) e a densidade de cargas nos condutores começa a diminuir. Isso pode ser entendido como sendo acompanhado pela introdução de cargas opostas que no final da primeira metade do período neutralizam as cargas nos condutores. As três linhas de força criadas pelas cargas opostas caminham uma distância de $\lambda/4$ durante o segundo quarto da primeira metade do período. Elas são mostradas pontilhadas na Fig. 10b. O resultado final é que existem três linhas de força apontando num sentido na primeira distância de $\lambda/4$ e o mesmo número de linhas apontando no sentido contrário na segunda distância de $\lambda/4$. Como não existem cargas líquidas na antena, as linhas de força devem ser forçadas a se desprender dos condutores e se unir para formar caminhos fechados, Fig. 10c. Na segunda metade do período, o mesmo fenômeno ocorre mas em sentido oposto. A seguir, o processo se repete e continua indefinidamente.



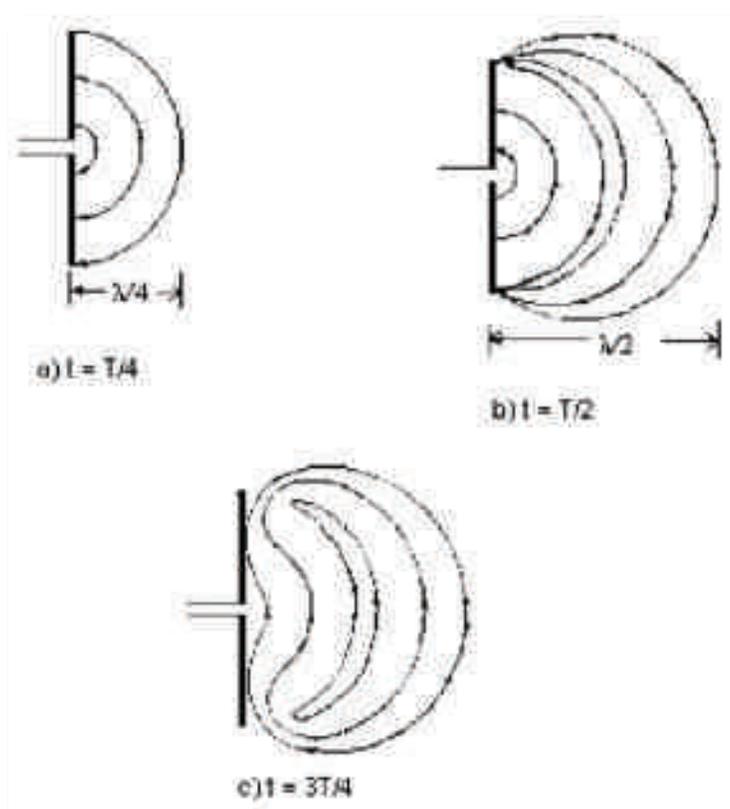


Fig. 10 - Formação e liberação das linhas de campo elétrico pelo dipolo curto.



Linhas de Transmissão

Introdução

As ondas guiadas, presentes em linhas de transmissão ou em guias de ondas, têm comportamento de propagação diferente das ondas radiadas. A linha de transmissão é um componente importante dos sistemas de comunicações, conseqüentemente, o seu comportamento e características básicas devem ser conhecidos com algum detalhe. Neste capítulo, são discutidos os conceitos básicos de linhas de transmissão de dois condutores e guias de ondas.

Ondas guiadas

Numa onda eletromagnética, uma variação do campo elétrico produz um campo magnético variante, que gera um campo elétrico e, dessa forma, energia se propaga. Uma linha de transmissão é um dispositivo de dois terminais capaz de guiar energia de um ponto a outro. Num dos terminais a potência (ou informação) é inserida e no outro terminal essa potência é extraída. Então, uma linha de transmissão pode ser vista como um dispositivo de quatro terminais para conectar dispositivos elétricos.

Os cabos elétricos de ligação de uma lâmpada ou ferramenta são exemplos de linhas de transmissão, como também o são os fios de telefone, de áudio, de vídeo e mesmo as fibras nervosas do corpo humano. As interconexões de todos os circuitos elétricos, guias de onda - condutores metálicos ocos de seções transversais diversas, fibras ópticas, e até mesmo enlaces de rádio podem ser vistos como exemplos de linhas de transmissão, Fig.11.

As linhas de transmissão estão por toda parte e apresentam uma variedade infinita. Porém, indiferente ao tipo de construção, todas operam de acordo com os mesmos princípios básicos que serão discutidos a seguir.

É conveniente classificar as linhas de transmissão em três grupos principais de acordo com o modo de operação: modo TEM, modo de ordem superior e as ondas espaciais no modo TEM.



Uma propriedade das linhas de dois condutores - bifilar, coaxial, microfita e que os campos elétrico e magnético são transversos a direção de propagação da onda. Tais campos são conhecidos como modos TEM, e, para esses modos, as grandezas escalares V e I são relacionadas diretamente aos campos vetoriais E e H da linha de transmissão. Logo, essas estruturas podem ser analisadas usando a aproximação para circuitos, que é um procedimento mais rápido e menos complexo, quando comparado a teoria geral dos campos, em que as incógnitas são os campos elétrico e magnético.

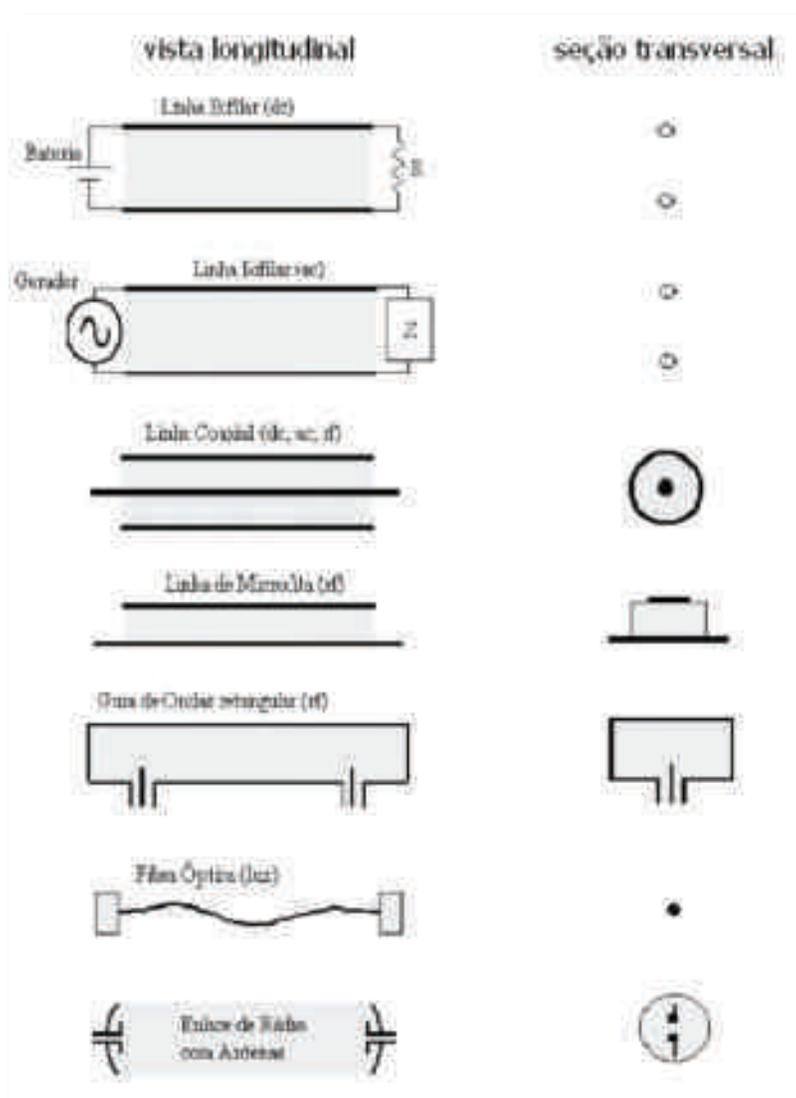


Fig. 11 - Exemplos de linhas de transmissão.

De outra forma, guias de onda (os quais são construídos de condutores ocios), estruturas de condutor único e guias de onda dielétricos tem campos eletromagnéticos com componentes na direção de propagação da onda. Tais configurações de campo



(conhecidos como modos de ordem superior), somente podem ser analisadas utilizando a teoria de campos eletromagnéticos.

O principal uso de linhas de transmissão e a transferência de sinais e potência entre dois pontos. As linhas de transmissão são geralmente grandes numa dimensão e pequenas nas outras duas. Nas frequências utilizadas para transmissão de potência, as dimensões transversais são muito pequenas quando comparadas com λ (comprimento de onda). Por exemplo, para uma frequência de 60 Hz, o comprimento de onda é de 5.000 km e as dimensões transversais são da ordem de metro ou menos. Mesmo a dimensão longitudinal é, na maioria dos casos, apenas uma fração de λ .

Para frequências mais altas, os comprimentos das linhas de transmissão podem ser de vários comprimentos de onda. Na frequência de 1 GHz, a qual é o limite para a maioria das linhas práticas tais como linhas coaxiais e de fios paralelos, a seção transversal é da ordem de $0,03\lambda$. Acima de 1 GHz, as perdas inviabilizam o uso prático dessas linhas. Como exemplo, um cabo coaxial operando a 5 GHz pode apresentar perdas acima de 100 dB/km. Na faixa de 1 GHz a 100 GHz, guias de ondas são usados. As seções transversais dos guias de onda são da ordem de λ . Em 10 GHz, uma frequência típica de operação de guias de onda, um guia de 10 m de comprimento tem várias centenas de comprimentos de onda. Acima de 100 GHz, os guias de onda são difíceis de serem usados devido a dificuldade de construção, uma vez que sua seção transversal fica muito pequena. Então, guias de ondas ópticos tornam-se mais adequados, apresentando perdas de 0,3 dB/km e 0,2 dB/km, operando em comprimentos de onda ao redor de 1,3 μm e 1,55 μm , respectivamente. Nesse caso, a seção transversal é grande quando comparada com o comprimento de onda, geralmente excedendo 100λ (125 μm e um valor típico do diâmetro da fibra). Claramente, qualquer fibra óptica na prática tem uma dimensão de vários milhões de comprimentos de onda.

A linha de transmissão de dois condutores

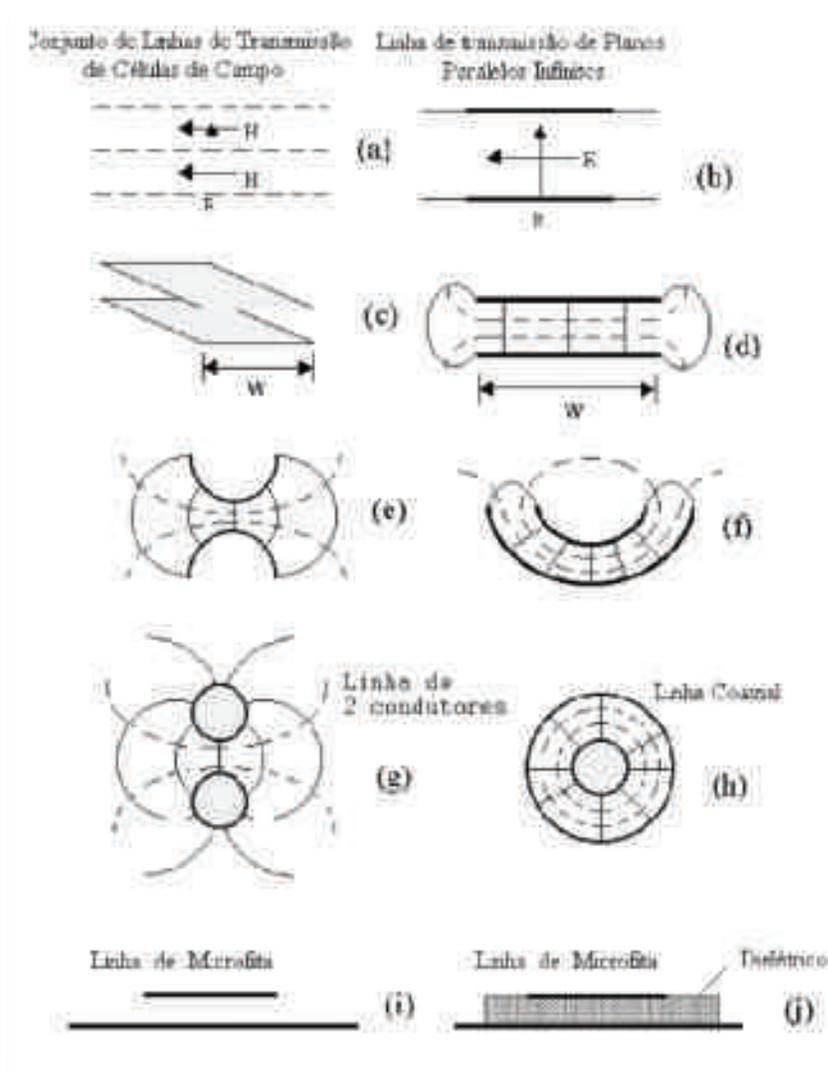
A Fig. 11a ilustra o processo de formação de diferentes estruturas de dois condutores, a partir de células de campo, onde se tem uma onda se propagando para fora da página com os campos E e H como indicados. Na Fig. 11b, placas condutoras paralelas são posicionadas perpendiculares a E e paralelas a H, não afetando a configuração da onda.



Esta célula de campo, ilustrada na Fig. 11c com extensão infinita, pode ser visualizada como uma linha de transmissão de duas placas paralelas, Fig. 11d. Note que E e H estão sempre perpendiculares e paralelos às placas, respetivamente. Encurvando-se as placas, como nas Figs. 11e ou 11f, e continuando esse encurvamento até que os condutores se fechem na secção transversal, tem-se as linhas de transmissão de dois condutores cilíndricos, Fig. 11g, e a linha coaxial, Fig. 11h. Uma outra estrutura de muito interesse que pode surgir da Fig. 11b e a linha de microfita, muito empregada na tecnologia de circuitos integrados. Neste caso, uma das fitas é mais estreita que a outra, Fig. 11i, podendo-se ainda colocar um material dielétrico entre elas, Fig. 11j.

As linhas de dois condutores paralelos, Fig. 11g, têm sido muito usadas para frequências até a faixa de VHF, podendo-se citar sua aplicação na recepção de TV e rádio FM. Porém, apesar de apresentarem vantagens como baixo custo, impedância característica alta (o que diminui as perdas em circuitos de potência de RF, devido a menor corrente na linha), elas tem como desvantagens não serem imunes a ruídos externos, suas características se alteram quando imersas em locais húmidos ou próximas de condutores e ainda perdem parte da energia por radiação a medida que a frequência aumenta.

Fig. 11 - Evolução de uma linha de transmissão a partir de uma célula de campo para a linha de dois condutores, coaxial e de microfita.



As linhas coaxiais, Fig. 11h, apresentam como principal característica o fato de serem blindadas pelo condutor externo, o que as tornam imunes a ruído e perdas por radiação. Porém, as perdas para frequências acima de 1 GHz as tornam inviáveis para aplicações a partir dessa frequência.

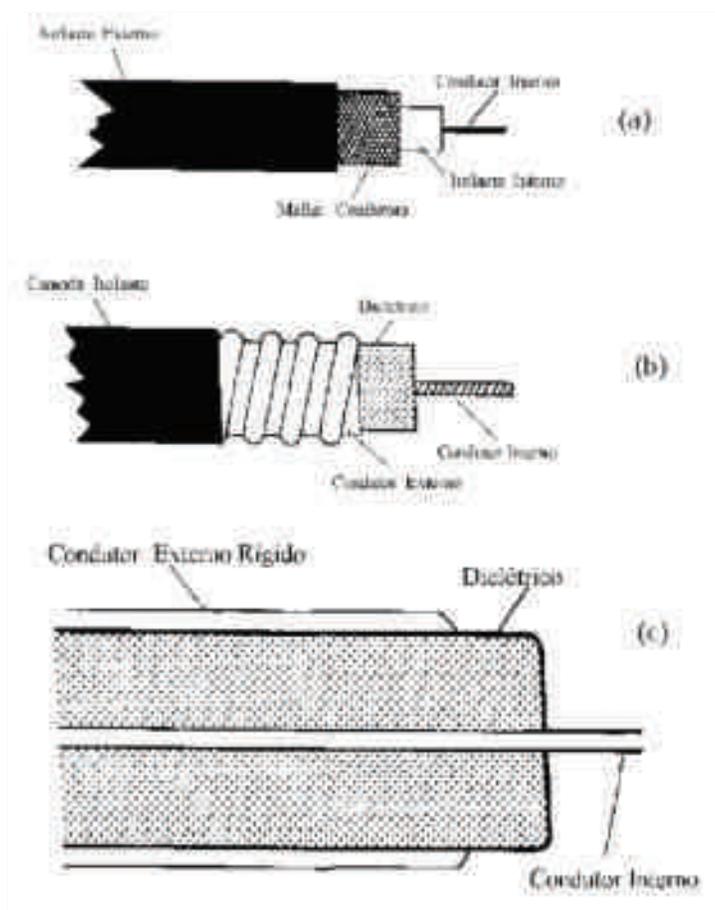


Fig. 12 - Cabo coaxial (a) Flexível; (b) Semiflexível; (c) rígido.

A Fig. 12 apresenta três tipos de linhas coaxiais. Na Fig. 12a, tem-se o cabo coaxial mais comum, muito usado na recepção de TV devido a facilidade de manuseio por ser flexível. As Figs. 12b e 12c mostram um cabo semiflexível e um cabo coaxial constituído de dois condutores rígidos, respectivamente. O cabo rígido geralmente tem aplicação em frequências de micro-ondas e é preenchido por um dielétrico que pode ser constituído de material sólido ou ar, ou um gás sobre pressão. Tal procedimento, que evita a entrada de humidade, e também utilizado em guias de ondas.

Cabos coaxiais com encapsulamento metálico duplo apresentam maior proteção contra radiação e interferências eletromagnéticas de fontes externas. A Fig. 13 mostra uma linha coaxial com duas malhas condutoras.



Um circuito equivalente para uma secção de linha de transmissão é mostrado na Fig. 14, onde observa-se que uma linha de transmissão é essencialmente um dispositivo de quatro terminais. Dois terminais (entrada) são conectados, por exemplo, ao transmissor e os outros dois (saída) são conectados a antena. Entre esses terminais estão distribuídos os parâmetros indutância, capacitância, resistência e condutância. Os valores desses parâmetros dependem das características físicas da linha e não podem, realmente, ser distinguidos como mostrados na Fig. 14.

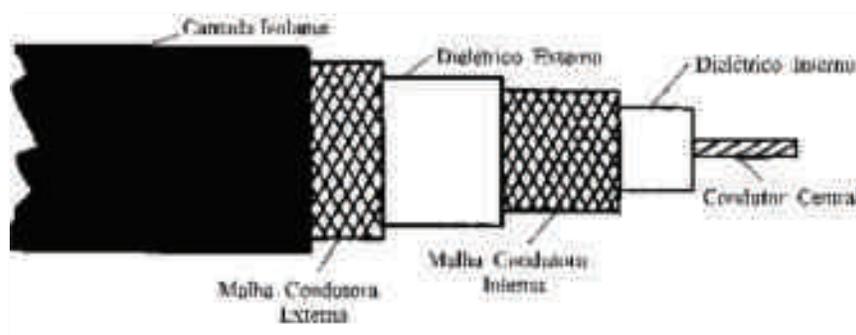


Fig. 13: Cabo coaxial com encapsulamento metálico duplo.

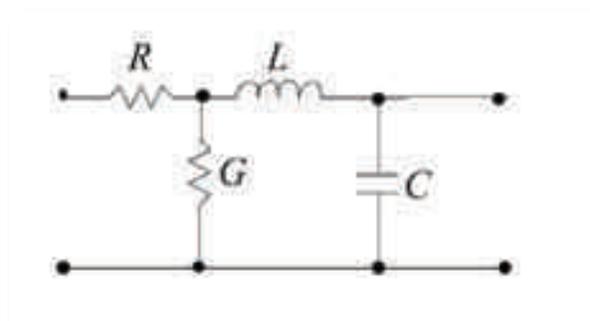


Fig. 14: Circuito equivalente para uma seção de linha de transmissão.

A resistência é distribuída ao longo de toda a linha, sendo dimensionada em ohms por metro e é considerada como em série com a linha. A condutância tem sua origem na corrente de fuga através do dielétrico entre os condutores, sendo portanto posicionada em paralelo com a linha.

Os condutores também possuem uma indutância distribuída, em série com a linha. Esta pode ser vista como a ação de campos magnéticos causados pelos fluxos de corrente. Se o fluxo de corrente tende a cair para zero rapidamente, os campos magnéticos em decréscimo tendem a manter esse fluxo de corrente.



Impedância característica

Associada aos parâmetros distribuídos, pode-se definir uma impedância característica para a linha de transmissão. Assumindo-se uma linha infinitamente longa, a impedância característica determina a corrente que flui quando uma dada voltagem é aplicada na linha. Para linhas sem perdas, essa impedância é puramente resistiva e constante.

A impedância característica é importante no cálculo da quantidade de energia que é transferida da fonte para a carga. Para uma linha infinita, toda a energia da fonte é transferida para a linha e nenhuma potência retorna para a fonte. Se a linha é finita e termina numa carga puramente resistiva e com valor igual a sua impedância característica, a fonte senti-la-á como uma linha infinita e toda a energia conduzida pela linha é absorvida pela carga. Se a linha é terminada com qualquer outra carga, energia é refletida de volta para a fonte.

Atenuação e perdas

Uma linha de transmissão ideal não sofre perdas. Contudo, as linhas de transmissão na prática dissipam potência de três formas.

- **Radiação:** a linha de transmissão tende a agir como se fosse uma antena, e perdas por radiação podem ser consideráveis para alguns tipos de linha.
- **Aquecimento:** a resistência dos condutores dissipa uma quantidade de potência em forma de calor (perda ôhmica). Perdas ôhmicas também podem ocorrer de correntes de fuga entre os condutores (perdas no dielétrico). Perdas ôhmicas aumentam em linhas com baixa impedância característica por causa das altas correntes que podem fluir.
- **Reflexão:** para uma linha com impedância característica real com uma carga diferente de Z_0 , energia é refletida de volta para a fonte. Como resultado, tem-se perdas por reflexão.

Reflexão de energia

Quando a linha é infinita, a energia injetada pelo transmissor resulta numa onda que se propaga indefinidamente na linha. As ondas propagantes de corrente e voltagem se



deslocam, sem nenhum obstáculo, uma vez que a linha não tem fim.

Imaginando agora que os condutores terminem abruptamente, como se eles fossem cortados, as ondas propagantes ao atingirem o fim da linha serão refletidas. Estas ondas refletidas se compõem com as incidentes resultando na formação de um padrão de ondas estacionárias de corrente e voltagem ao longo da linha. As ondas refletidas representam energia que, não sendo absorvida pela carga, são refletidas de volta pela linha. Isso é indesejado numa linha de transmissão, uma vez que o objetivo é transferir o máximo de potência para a carga.

Se a energia é refletida, ondas estacionárias são formadas, o que implica numa mudança da razão entre a voltagem e a corrente ao longo da linha, e uma consequente alteração da impedância da linha. Se toda a energia é refletida no final da linha, nenhuma energia é absorvida pela carga, e a impedância ao longo da linha é puramente reativa. Se parte da energia é absorvida pela carga e a restante é refletida, a impedância ao longo da linha pode ser resistiva (valor maior ou menor que Z_0) ou pode ser complexa (uma parte resistiva e outra reativa).

Linha de transmissão uniforme

Neste item serão consideradas linhas finitas, terminadas com uma carga Z_L , Fig. 15. A voltagem total e a corrente total resultam de duas ondas que se propagam em direções opostas, sendo a onda incidente a que se propaga em direção à carga.



linha	geometria	impedância característica
bifilar		$Z_0 \approx \frac{\eta}{\pi} \log \frac{2D}{d} \quad (D \gg d)$
coaxial cilíndrica		$Z_0 = \frac{\eta}{2\pi} \log \frac{b}{a}$
coaxial elíptica		$Z_0 = \frac{\eta}{2\pi} \log \frac{b + \sqrt{b^2 - r^2}}{a + \sqrt{a^2 - r^2}}$
placas paralelas		$Z_0 \approx \eta \frac{a}{b} \quad (a \gg b)$
placas colineares		$Z_0 \approx \frac{\eta}{\pi} \log \frac{4D}{a} \quad (D \gg a)$
fio acima de um plano terra		$Z_0 \approx \frac{\eta}{2\pi} \log \frac{4h}{d} \quad (h \gg d)$
bifilar com blindagem		$Z_0 \approx \frac{\eta}{\pi} \log \left(\frac{2s}{d} \frac{D^2 - r^2}{D^2 + r^2} \right) \Rightarrow \begin{matrix} D \gg d \\ s \gg d \end{matrix}$
fio no interior de uma calha		$Z_0 \approx \frac{\eta}{2\pi} \log \left(\frac{4a}{\pi d} \tanh \frac{\pi h}{a} \right) \Rightarrow \begin{matrix} h \gg d \\ a \gg b \end{matrix}$

Tabela 2: Impedância característica de algumas linhas de transmissão.



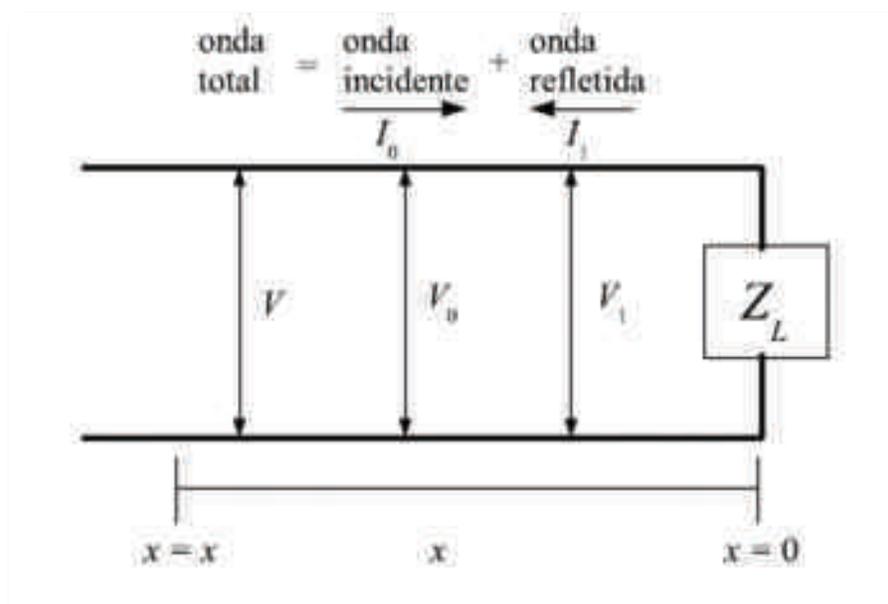


Fig. 15: Linha de transmissão uniforme com ondas incidentes e refletidas.

Sejam V_0 e I_0 , respetivamente, as ondas de voltagem e corrente incidentes e V_1 e I_1 as ondas refletidas. Em qualquer ponto da linha, a voltagem resultante V é dada pela relação:

$$V = V_0 + V_1$$

em que as grandezas V , V_0 e V_1 são fasores, tendo, portanto, informações de amplitude e fase, com o tempo implícito.

Então, dependendo dos valores de V_0 e V_1 , V apresenta valores máximos e mínimos ao longo da linha.



Conceitos básicos de antenas

Introdução

A radiação de energia eletromagnética - por um circuito, uma cavidade ressonante ou uma linha de transmissão - pode ter um efeito importante como um fenômeno indesejado ou como parte de um processo para excitar ondas no espaço. No primeiro caso, procura-se minimizar as perdas de potência por radiação, mudando a configuração dos circuitos ou adicionando blindagem. Quando a radiação é desejada, o que se procura é excitar ondas a partir uma dada fonte de energia numa ou várias direções, da forma mais eficiente possível.

O dispositivo que atua como transição ou casamento entre a fonte e a onda no espaço é conhecido como radiador ou antena. Para o projeto de uma antena, as seguintes informações são necessárias:

- A intensidade relativa do campo para várias direções (o diagrama de radiação da antena);
- A potência total radiada quando a antena é excitada por uma tensão ou corrente conhecida;
- A impedância de entrada da antena para propósito de casamento;
- A largura de banda da antena com relação a alguma das propriedades anteriores;
- A eficiência de radiação, ou a relação entre a potência radiada e a potência total;
- Para antenas de alta potência, a máxima intensidade de campo, em determinadas posições no ar ou dielétrico, que possa causar efeito corona ou ruptura do dielétrico.

Para se obter qualquer uma das informações anteriores, a técnica utilizada é a solução das equações de Maxwell sujeitas as condições de contorno na antena e no infinito. Isso só é possível em alguns poucos casos, porque a maioria das configurações práticas são muito complicadas para a solução por essa técnica direta.



Influência de um plano condutor infinito

O diagrama de radiação mostrado anteriormente foi obtido considerando-se o dipolo elementar no espaço livre, distante de qualquer corpo condutor ou superfície refletora. Na prática, as antenas podem estar posicionadas próximas (em termos de comprimentos de onda) da superfície da terra ou de uma superfície refletora qualquer. Nessas condições, correntes que fluem na superfície refletora produzem um campo eletromagnético que será adicionado ao campo da corrente original, modificando o diagrama de radiação quando comparado a situação de antena isolada.

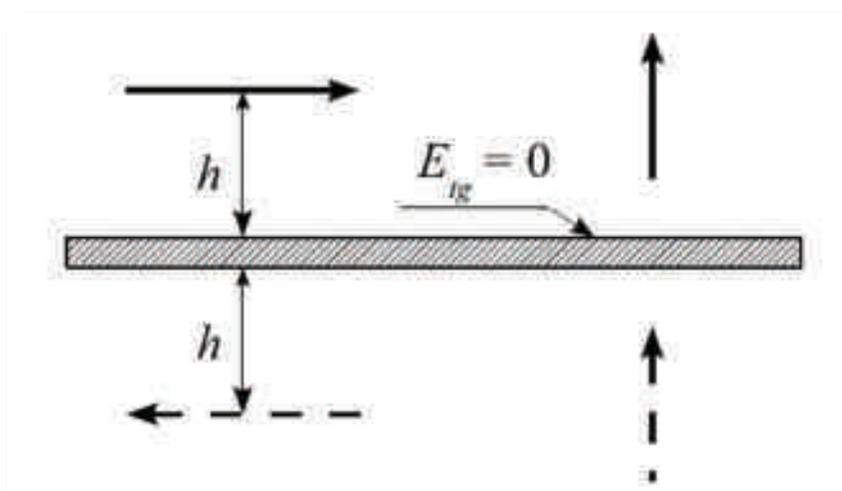


Fig. 16: Sentidos das correntes imagens.

A Fig. 16 mostra o dipolo elementar posicionado horizontalmente e verticalmente acima da terra (considerada perfeitamente condutora). As condições de contorno exigem que a componente tangencial de E e a componente normal de H sejam zero na superfície do condutor perfeito. Então, na superfície, o campo E é normal e o campo H é tangencial. O efeito da presença do plano condutor no diagrama de radiação pode ser obtido utilizando-se o método das imagens, segundo o qual o campo secundário, no espaço acima do plano condutor, não se altera ao substituir-se o plano por uma fonte de corrente imagem de igual magnitude da fonte real e com o sentido escolhido de modo que coloque a zero a componente tangencial do campo elétrico total na superfície do plano condutor. No caso do dipolo elétrico horizontal, a corrente imagem tem o sentido contrário à da corrente real, para o dipolo elétrico vertical, a corrente imagem tem o mesmo sentido da corrente real, Fig. 16.



Quando a distância da fonte real para o plano é igual a zero, os campos primário e secundário do dipolo horizontal são iguais em módulo e de sinais contrários, o campo total resultante é igual a zero e a radiação é nula. Para o dipolo vertical, os campos primário e secundário são iguais em módulo e sinal, de modo que o campo total é o dobro quando comparado ao campo do dipolo no espaço livre.

A Fig. 17 mostra o diagrama de radiação, no plano de elevação, do dipolo elétrico vertical situado na superfície do plano condutor ($h = 0$). Como se observa, o dipolo vertical radia o máximo de potência ao longo da superfície do plano e tem radiação zero numa direção perpendicular ao plano.

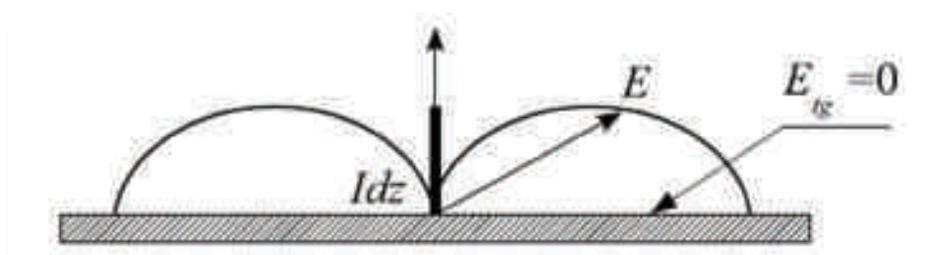


Fig. 17: Diagrama de radiação do dipolo elétrico elementar sobre um condutor perfeito.

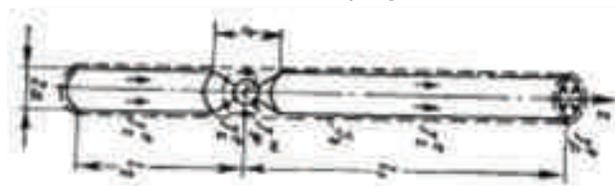


Fig. 18: Dipolo elétrico.

Cabe notar que para $h = 0$ o plano condutor infinito aumenta em duas vezes a diretividade do dipolo vertical e, então, na direção de radiação máxima se obtém $D_{max} = 3$.

Antena dipolo

A antena dipolo é amplamente utilizada na prática de forma isolada ou como um elemento na formação de conjuntos. O dipolo elétrico, Fig. 18, é um condutor cilíndrico de comprimento $l_1 + l_2$ e raio a , alimentado nos pontos de corte por um gerador em alta frequência. Quando os comprimentos dos braços são iguais ($l_1 = l_2$), o dipolo é simétrico. O gerador pode ser acoplado no dipolo de diversas maneiras. Em particular, os dipolos simétricos podem ser alimentados por meio de linhas de transmissão bifilares (equilibradas).



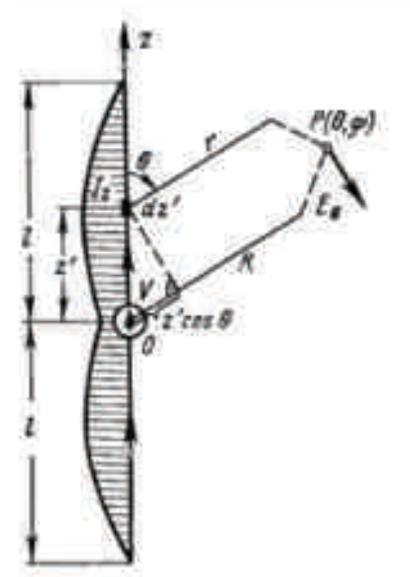


Fig. 19: Determinação do campo distante radiado pelo dipolo elétrico simétrico.

A Fig. 20 mostra a variação da forma do diagrama de radiação do dipolo simétrico no plano transversal, em função do comprimento do braço do dipolo.

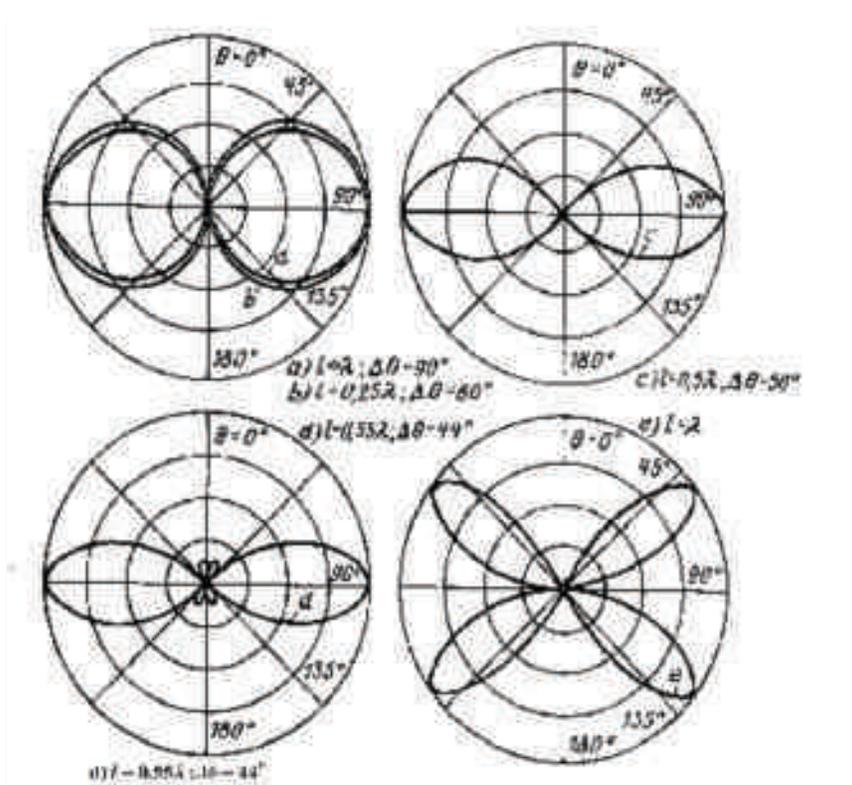


Fig. 20: Diagramas direcionais de um dipolo simétrico.



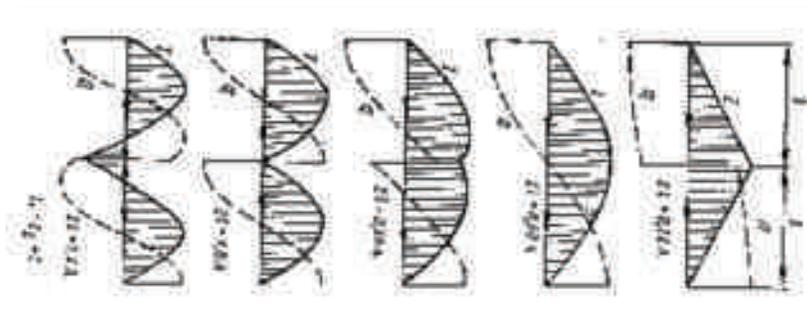


Fig. 21: Distribuições de corrente e de carga num dipolo elétrico.

Noções de conjuntos

Qualquer radiador isolado pode ser combinado, com um elemento igual ou diferente, para formar um conjunto que tenha uma direção particular na qual a fase se adiciona e a radiação é concentrada. A Fig. 22 mostra, como exemplo de um conjunto, dois dipolos elétricos elementares com comprimentos dl iguais, situados em quadratura espacial e temporal, isto é, dispostos no espaço com um ângulo de 90° entre eles e excitados com correntes desfasadas também por 90° .

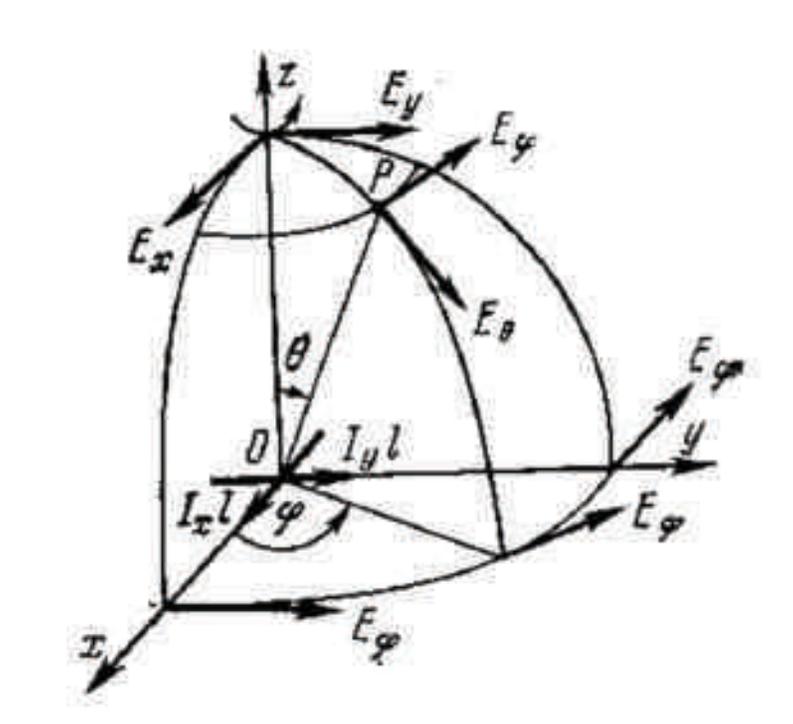


Fig. 22: Dois dipolos elétricos em quadratura.



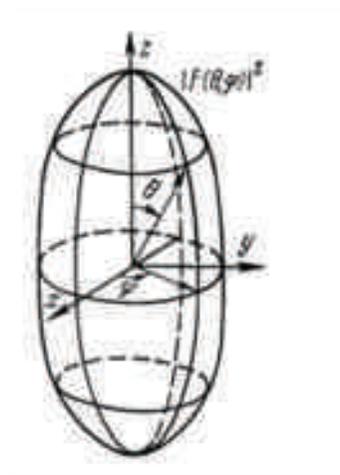


Fig. 23: Diagrama direcional de dois dipolos elétricos em quadratura.

Pode concluir-se que existe a possibilidade de controlar a forma do diagrama de radiação e a característica de polarização do sistema radiante, combinando-se a radiação de apenas duas fontes elementares. Isso deve-se ao fenômeno de interferência de ondas, devido ao qual o campo se intensifica nas direções em que as correspondentes componentes se encontram em fase, e atenua-se nas direções correspondentes à soma em oposição de fase.

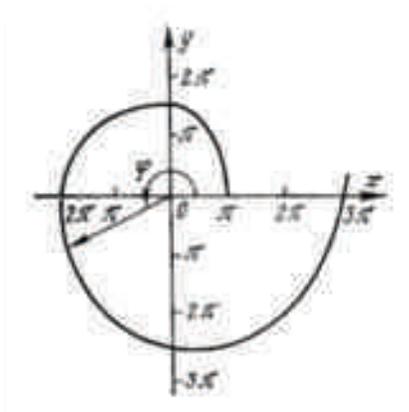


Fig. 24: Diagrama de fase de dois dipolos em quadratura.

Aumentado o número de fontes elementares, posicionando-as no espaço de forma mais complexa e escolhendo a distribuição de corrente, podem ampliar-se consideravelmente as possibilidades de obtenção de propriedades direcionais e de polarização dos sistemas radiantes. Portanto, a construção de sistemas radiantes reduz-se ao organizar a interferência necessária das ondas eletromagnéticas das fontes elementares.



Alimentação de antenas

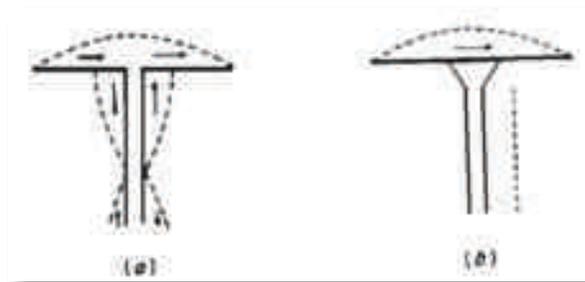


Fig. 25: Alimentação de dipolos de meia onda em alta frequência.

A linha de alimentação tem um papel muito importante no funcionamento dos sistemas radiantes. Entre outras funções, a linha de alimentação canaliza a energia eletromagnética, assegura o regime correto dos circuitos de entrada e de saída do transmissor e do receptor e faz uma filtragem em frequência dos sinais de entrada.

A Fig. 25a mostra a alimentação pelo centro do dipolo de meia onda, por meio de uma linha simétrica. Devido ao descasamento entre a linha paralela, com alta impedância característica, e o dipolo ressonante, com baixa resistência de entrada, esta maneira de excitação produz uma onda estacionária na linha de alimentação, como indicado na figura. Esse descasamento pode ser reduzido escolhendo-se o dielétrico da linha, de modo que diminua a sua impedância característica, custando alguma perda de energia no dielétrico. O arranjo em delta ou em paralelo da Fig. 25b pode resultar num bom casamento de impedâncias e baixa onda estacionária na linha, se as várias dimensões forem convenientemente escolhidas. Uma outra vantagem desta alimentação é que no centro do dipolo ocorre um nulo de tensão, o que permite fixar o dipolo em suportes sem isolantes.

Como vimos, o dipolo de meia onda numa impedância de entrada, que é muito baixa para a conexão direta com uma linha de transmissão de fios paralelos e, então, algum tipo de estrutura de casamento de impedâncias é necessário para uma condição favorável de onda estacionária na linha. Uma maneira de se obter esse casamento é por meio do dipolo com estube. Fazendo-se o comprimento L um pouco menor do que meio comprimento de onda, a impedância de entrada terá uma reactância capacitiva em série com a resistência de radiação. Para um comprimento S do estube menor do que $\lambda/4$, a impedância de entrada da linha de transmissão em curto será uma reactância



indutiva, com um módulo que pode ser ajustado para sintonizar a capacitância da antena. A impedância resultante nos terminais do dipolo será uma resistência pura, a resistência do circuito ressonante em paralelo. Pela escolha de L e S, essa resistência pode ser ajustada para qualquer valor desejado. Este arranjo é mecanicamente bom, porque o trecho em curto do estube pode ser utilizado para suporte da antena sem o uso de isoladores.

Dobrar o dipolo é uma forma alternativa de se obter uma alta impedância de entrada, Fig.26. Este método tem a vantagem adicional de também aumentar a largura de banda da antena, uma consideração importante para aplicações em FM e TV.

O dipolo dobrado de meia onda consiste essencialmente em dois radiadores de meia onda muito próximos um do outro e conectados pelas extremidades. Considerando somente as correntes radiantes, os dois elementos estão em paralelo e, se seus diâmetros são iguais, as correntes nos elementos serão iguais e no mesmo sentido. Ligando-se três elementos com diâmetros iguais, como na Fig. 26b, a resistência de entrada será aproximadamente 9 vezes a de um único dipolo.

Para entender o aumento na largura de banda do dipolo dobrado, considere o dipolo simples da Fig. 27a, ligado em paralelo com uma linha de um quarto de comprimento de onda. Na frequência de ressonância, a resistência do dipolo está em paralelo com a impedância de entrada da linha de transmissão, a qual tem uma resistência de valor muito alto. Abaixo da ressonância, a impedância da antena torna-se capacitiva, mas a linha de transmissão torna-se indutiva, e a combinação em paralelo tende a permanecer com um fator de potência aproximadamente unitário. De forma contrária, acima da ressonância a impedância da antena torna-se indutiva e a impedância da linha torna-se capacitiva de tal modo que a compensação ocorre novamente.

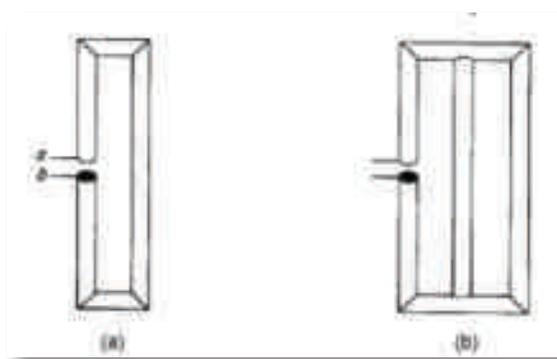


Fig. 26: (a) Dipolo dobrado. (b) Dipolo com três elementos.



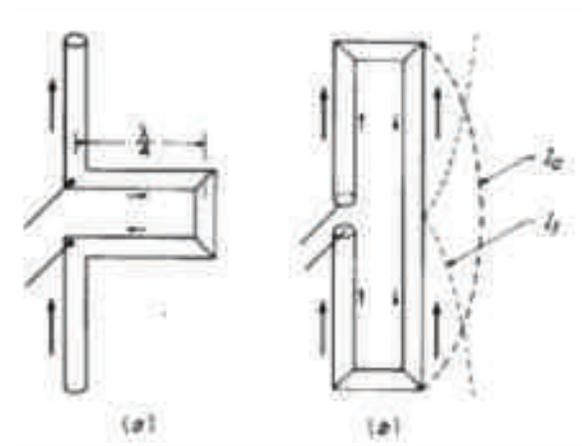


Fig. 27: Distribuição de corrente num dipolo dobrado.

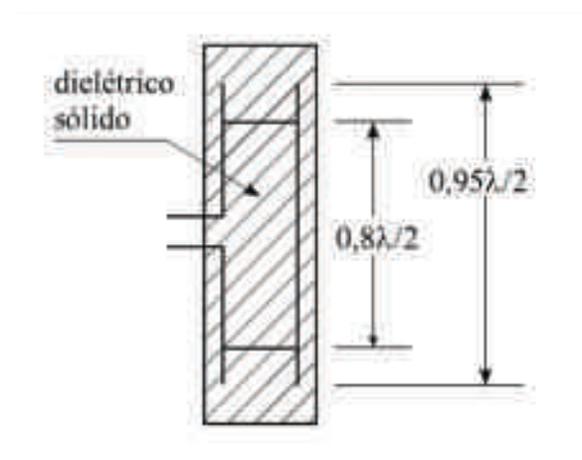


Fig. 28: Antena dipolo dobrado para recepção de FM.

Embora a compensação esteja longe da perfeição, devidas às susceptâncias não serem iguais e opostas, se a frequência varia muito da frequência de ressonância do dipolo, um ponto de compensação de susceptância perfeito (impedância de entrada é uma resistência pura) ainda é obtido. Abaixo da ressonância isso ocorre para as mesmas condições que levam para o casamento do dipolo com estube. Acima da ressonância, o ponto de compensação ocorre quando a susceptância capacitiva do estube é suficiente para sintonizar a parte indutiva da antena.

A resistência de entrada para este casamento com estube será consideravelmente maior que para a frequência de ressonância, mas a relação de onda estacionária resultante é razoável sobre a faixa e, então, a largura de banda efetiva aumenta. Isso representa uma banda de frequência aproximada de dois para um.



As considerações anteriores também se aplicam para o dipolo dobrado que tem o estube (na verdade dois estubes em série) como característica intrínseca. Os elementos do dipolo dobrado carregam as correntes da antena, que estão no mesmo sentido nos dois elementos, e as correntes das linhas de transmissão, que estão em sentidos opostos nos dois elementos do dipolo.

Em recepção de rádio FM comercial, um tipo comum de antena é o dipolo dobrado com material dielétrico flexível. Para uma linha de transmissão construída com este material, a velocidade de fase v , então, o comprimento de onda, e cerca de 80% do valor no espaço livre. Assim, o comprimento elétrico da secção de um quarto de onda é $0,8\lambda/4$ e o comprimento físico da linha deve ser menor que seria com o dielétrico ar. Por outro lado, a fina camada dielétrica cobrindo o condutor tem efeito quase desprezível no comprimento de onda e na velocidade de fase aparente das correntes na antena, tal que na ressonância o comprimento físico da antena ainda é aproximadamente $L \sim 0,95 \times \lambda/2$. A forma de satisfazer estas duas condições simultaneamente é mostrada na Fig.28. Os dois elementos são cortados em $0,95\lambda/2$, mas as conexões em curto são separadas por uma distância de $0,8 \times \lambda/2$.



Parâmetros principais de antenas

Introdução

A antena é um componente indispensável em qualquer sistema de comunicação via rádio. Ela funciona como a interface entre os elementos do sistema que guiam a onda e o meio de propagação. O aparecimento das antenas está, portanto, associado as primeiras tentativas de comunicação por ondas eletromagnéticas, no final do século XIX.

Para o funcionamento eficaz, as antenas devem satisfazer certos requisitos. Entre eles cabe destacar em primeiro lugar duas condições:

- A antena deve distribuir a energia eletromagnética no espaço (ou reaproveitar a energia incidente) de acordo com uma lei determinada, ou seja, deve ter uma característica de emissão (ou recepção) conhecida. Em determinada situação convém que a energia seja emitida (ou recebida) uniformemente em todas as direções, em outra se necessita o efeito diretivo, ou seja, a concentração do campo radiado num feixe suficientemente estreito.
- A emissão ou a recepção das ondas eletromagnéticas não deve ser acompanhada por um consumo inútil de energia em perdas ohmicas na estrutura da antena. Em outras palavras, a antena deve ter o mais alto rendimento possível.

O campo de aplicação dos sistemas radiantes é amplo. No rápido desenvolvimento histórico, ao longo de menos de um século, as antenas se converteram, de um meio simples de aumentar o alcance dos sinais elétricos, num componente determinante dos sistemas de comunicação via rádio.

As antenas se caracterizam por um grande número de parâmetros que permitem se fazer estimativas e comparações entre elas. Anteriormente já foram introduzidos o diagrama de radiação, a resistência de radiação, a eficiência e a diretividade. Existe uma relação unívoca entre alguns desses parâmetros. Partindo da existência desse vínculo, os parâmetros das antenas podem ser divididos em duas categorias: primários e secundários. Nos primários, pode incluir-se o diagrama de radiação, a resistência de radiação, a eficiência e o coeficiente de reflexão (ou impedância de entrada). Os parâmetros secundários são obtidos a partir dos primários. Entre eles encontram-se,



por exemplo, a largura de feixe do lobo principal, o nível de lóbulos secundários (laterais) e a faixa de frequências de operação (largura de banda).

Um dos parâmetros mais importantes das antenas é a sua curva característica de radiação (diagrama direcional). É uma representação do vetor complexo normalizado que determina completamente, na região de campo distante, a distribuição angular e todas as propriedades de polarização e de fase do campo eletromagnético radiado. É necessário, para essa determinação, a indicação da posição da origem do sistema de coordenadas com relação a qual se calcula a diferença de fase.

Diagrama de radiação

A curva característica da amplitude de radiação de uma antena pode ser obtida tanto teórica como experimentalmente. Para a sua representação, se utilizam distintos métodos de construção gráfica. A Fig. 29 mostra alguns diagramas de radiação de antenas.

A representação espacial da superfície total do diagrama direcional de amplitude, semelhante aos da Fig. 29, é bastante complexa e, por isso, é comum apresentar planos convenientes desse diagrama. Para antenas de baixa diretividade como, por exemplo, a antena dipolo, se utilizam as secções principais do sistema de coordenadas esféricas: o plano equatorial e o par de planos ortogonais meridianos. Quando as antenas são direcionais, se utilizam pares de secções perpendiculares, que passam pela direção de radiação máxima. Nesse caso, uma das secções escolhidas e o plano em que o lobo principal do diagrama tem largura mínima. Se as antenas têm polarização linear, também se pode escolher o par de secções paralelas aos vetores campos elétrico e magnético, os denominados plano E e plano H.

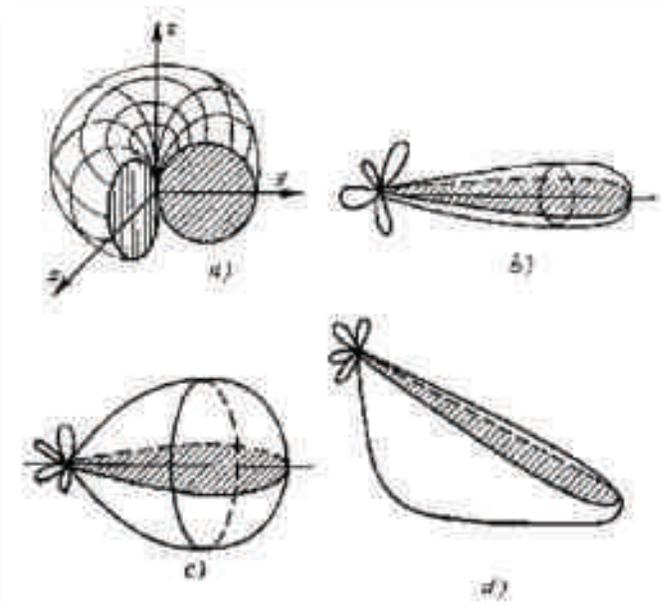


Fig. 29: Diagramas de radiação típicos.



Para representar as secções dos diagramas direcionais, utilizam-se as coordenadas polares e cartesianas, assim como se utilizam diferentes escalas de amplitude: linear (para campo), quadrática (para potência) e logaritmo (dB). A Fig. 29 mostra diferentes formas de representação de um mesmo diagrama direcional bidimensional para comparação. Os diagramas direcionais polares têm como inconveniente a dificuldade de se determinar com exatidão as posições angulares de zero e de máximo de radiação. A escala quadrática tende a omitir os lóbulos de pequena magnitude e, por isso, não servem para representar diagramas de antenas com baixa radiação lateral.

Relação frente-costas

A relação frente-costas é uma comparação entre o nível do feixe principal da antena com relação ao nível do lóbulo traseiro. Quanto maior o valor medido da relação frente-costas, melhor o isolamento na parte posterior da antena, Fig. 30. Este parâmetro é importante no estudo da interferência de sinais provenientes de outras antenas.

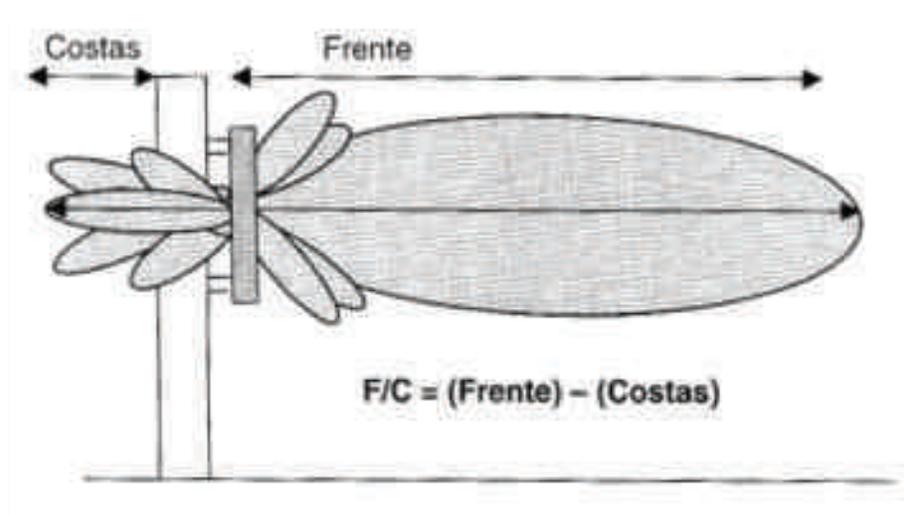


Fig. 30: Relação frente-costas (diagrama em dB).

Impedância

A impedância de entrada de uma antena é uma função da frequência e não pode ser descrita por uma expressão analítica simples. No entanto, para uma dada frequência, a impedância da antena pode ser representada por uma resistência em série com



uma reatância. Numa banda estreita de frequências, essa representação ainda pode ser utilizada, mas somente de forma aproximada. Quando a banda de frequências é centrada na frequência de ressonância da antena, uma melhor aproximação é obtida representando-se a antena como um circuito RLC série. Quando a faixa de operação estende-se sobre uma grande banda de frequências, esta representação não é adequada.

Largura de banda

Os parâmetros das antenas mencionados anteriormente caracterizam o funcionamento das mesmas numa única frequência. Como num sistema de comunicações se utilizam sinais com determinada largura de banda, um parâmetro importante das antenas e a sua largura de banda de frequências de operação, em cujos limites os outros parâmetros da antena não excedem valores permitidos, estabelecidos por requisitos técnicos.

Os limites da banda de frequências de operação são determinados por qualquer um dos parâmetros dependentes da frequência. A largura de banda se define, por exemplo, pelo comportamento da impedância de entrada da antena, isto é, o coeficiente de onda estacionária na linha de alimentação deve se limitar abaixo de um determinado valor ao se variar a frequência. A definição da banda também pode ser em função da variação da direção de máximo do diagrama de radiação, da variação da largura de feixe, da diminuição da diretividade, do aumento do nível de lóbulos laterais etc.

Convencionalmente se considera de banda estreita as antenas com banda de frequências de operação menor do que 10% da frequência nominal. As antenas de banda larga podem ter uma largura de banda desde 10% até 50%. As antenas com bandas maiores, da ordem de uma ou várias oitavas, se denominam de multibandas. E, finalmente, se a relação dos limites superior e inferior chega a 5:1 ou maior, a antena pode ser considerada como independente da frequência.

Temperatura de ruído

Quando se estima a qualidade de uma antena recetora, se deve comparar a potência do sinal recebido com a potência total de ruído na entrada do recetor. Todos os ruídos



da antena podem ser divididos em externos e internos. Normalmente, o ruído externo, recebido pela antena do espaço em redor é o dominante. Este ruído é originado por:

- Perturbações atmosféricas e industriais, isto é, descargas elétricas;
- Emissões de ruídos de fontes extratérrestres (cósmicas);
- Radiação térmica da superfície terrestre;
- Radiação de calor da troposfera e da ionosfera.

Como regra, os ruídos internos, originados pelo movimento térmico dos eletrões nos condutores não ideais e em dielétricos da antena e da linha de alimentação, são menos importantes.



Tipos de antenas

Introdução

De acordo com seu desempenho com relação a frequência, as antenas podem ser divididas em quatro tipos básicos: Antenas eletricamente curtas, Antenas ressonantes, Antenas de banda larga e Antenas de abertura.

Antenas eletricamente curtas

Uma antena é eletricamente curta quando as suas dimensões são da ordem de (ou menores do que) um décimo do comprimento de onda para a frequência de operação. Esta é a antena do tipo mais elementar e tem uma estrutura muito simples, com propriedades que não são sensíveis aos detalhes de construção. As principais características de uma antena eletricamente curta são baixa diretividade, baixa resistência de entrada, alta reatância de entrada e baixa eficiência de radiação.

O monopolo vertical, usado nos carros para recepção de rádio AM, é um exemplo de uma antena eletricamente curta. O monopolo tem cerca de 0,003λ de comprimento e o seu diagrama é aproximadamente omnidirecional no plano horizontal. A utilização de monopolos, para simular um dipolo no espaço livre, é particularmente importante em baixas frequências, o que implica em grandes valores de comprimento de onda.

Nas faixas de VLF e HF (3 kHz a 300 kHz) a superfície terrestre comporta-se praticamente como um condutor perfeito. Além disso, as ondas de superfície polarizadas verticalmente sofrem atenuações muito menores do que as polarizadas horizontalmente. Finalmente, as ondas espaciais propagando-se pela atmosfera serão sensivelmente menos afetadas pelas condições momentâneas da ionosfera ou pelos distúrbios ionosféricos. Dessa forma, a aplicação de monopolos verticais curtos é praticamente uma imposição nessas faixas de frequências.

Monopolos verticais eletricamente curtos têm uma baixa resistência de radiação e uma reatância capacitiva relativamente alta. Nas frequências próximas da frequência de operação, a antena pode ser considerada como um circuito concentrado, consistindo numa resistência (de radiação mais perdas) e numa capacitância em série. Para um



melhor aproveitamento da potência, a reatância capacitiva deve ser cancelada por um indutor conveniente e a impedância resistiva resultante casada para a linha de alimentação da antena.

Uma forma de se diminuir a reactância capacitiva é crescer eletricamente a antena. A carga de topo realiza este objetivo, permitindo o fluxo de cargas na extremidade da antena, o que produz uma intensidade de corrente equivalente a do monopolo de $\lambda/4$, Fig. 31. Na prática, sistema de fixação também é constituído de condutores, sendo necessária a colocação de isolantes entre o sistema de fixação e o sistema radiante, Fig. 32. Nessas situações, a única estrutura responsável pelo efeito de carga de topo, na frequência de operação, e aquela de dimensão LT.

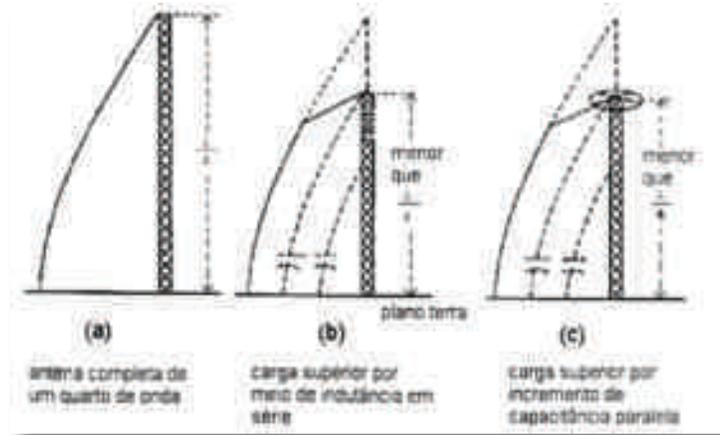


Fig. 31: Antena eletricamente curta com carga de topo.

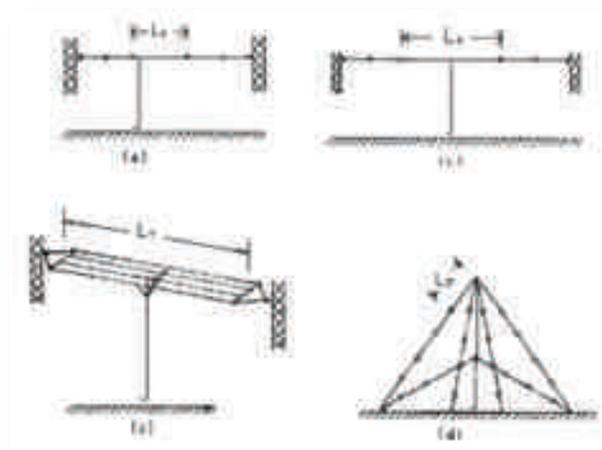


Fig. 32: Tipos de carga de topo.

Na faixa de ondas médias (MF), compreendida no espectro de 300 kHz a 3 MHz, o solo terrestre não se comporta como um condutor perfeito. Nessa situação, utiliza-se um sistema de terra para simular um condutor perfeito. Este sistema é composto por



condutores de cobre, dispostos radialmente a partir da base da antena e dela isolados, conforme a vista de topo da Fig. 33.

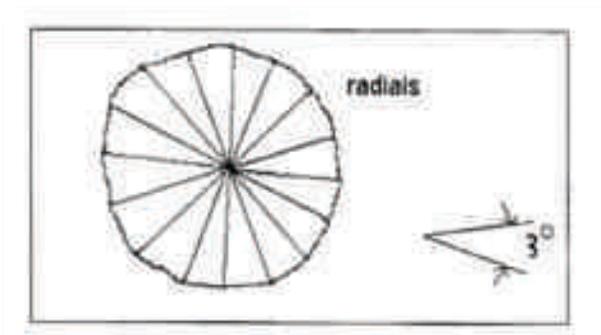


Fig. 33: Sistema de radiais.

Em geral, são empregados 120 radiais, ligeiramente enterrados no solo, de comprimentos em torno de $\lambda/4$, suficiente para simular adequadamente um solo condutor de dimensões teóricas infinitas. As alturas adotadas para os monopolos variam de $\lambda/6$ a $5\lambda/8$, dependendo das características de operação e fatores económicos. Pelas dimensões envolvidas, esses radiadores verticais poderão ser, mecanicamente, torres auto-suportadas ou torres estaiadas, Fig.34.

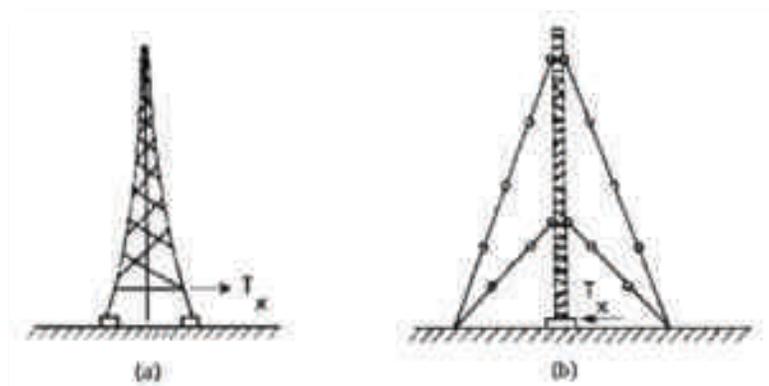


Fig. 34: Antenas transmissoras de rádio AM.

As antenas eletricamente curtas são ineficientes devidas às perdas ohmicas na estrutura. O diagrama de radiação é independente do tamanho da antena. Uma antena eletricamente curta comporta-se como um simples dipolo elétrico e/ou magnético. O dipolo elétrico é fisicamente realizável, enquanto o dipolo magnético é simulado por uma corrente circular. Embora o diagrama de radiação e a diretividade de uma antena eletricamente curta sejam independentes do tamanho e da frequência, a resistência de



radiação e, especialmente, a reactância não são. Isso faz com que seja difícil transferir-se potência da antena para uma carga, ou de um gerador para a antena, quando a frequência varia. Uma antena com esta característica tem um alto Q, em que Q é definido como $2\pi f$ vezes o valor de pico da energia armazenada sobre a potência média radiada. Na prática, um alto Q significa que a impedância de entrada é muito sensível a uma pequena variação da frequência.

Antenas ressonantes

As antenas que operam numa única frequência ou numa pequena faixa de frequências são denominadas de ressonantes. As suas características principais são ganho baixo ou moderado, impedância de entrada real, e largura de banda estreita.

Na faixa de HF (3 a 30 MHz) - comprimentos de onda entre 100 m e 10 m -, é possível construir estruturas da ordem de grandeza do comprimento de onda utilizado. Em aplicações na faixa de HF, grande ênfase é dada sobre os dipolos de meia onda que, por maior facilidade de utilização, são operados em polarização horizontal. Essa escolha de polarização também pode ser analisada lembrando-se que, na faixa de HF, o mecanismo de radiação fundamental e a propagação ionosférica. Desse modo, a finalidade principal do serviço é, por exemplo, operar segundo um ângulo de partida de 20° e causar pouca interferência com os sistemas vizinhos.

O dipolo vertical seria diretivo em planos verticais contendo seu eixo, mas espalharia o sinal igualmente ao seu redor. Com o dipolo horizontal, a direccionalidade no plano horizontal é aproveitada para minimizar interferências.

Nas aplicações em VHF (30 a 300 MHz), as relações comprimento/diâmetro dos dipolos serão baixas, tornando possível a utilização de tubos rígidos em substituição aos fios de cobre. Nessa faixa, os comprimentos de onda são da ordem de 10 m a 1 m. Uma facilidade decorrente é a fixação do dipolo diretamente por seus terminais, Fig.35a, evitando-se a necessidade de utilização de torres laterais para tensionamento do fio, como na situação de HF mostrada na Fig.35b. Uma segunda facilidade é a possibilidade do emprego tanto de polarização vertical quanto de horizontal, decorrente dos menores comprimentos envolvidos.



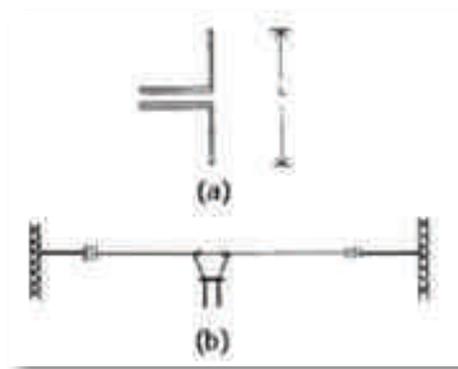


Fig. 35: Antenas dipolo para as faixas de VHF e HF.

Os dipolos de meia onda são extremamente utilizados nos sistemas de comunicações em VHF, seja atuando isoladamente, Fig. 36a, seja como elemento ativo das antenas Yagi, Fig. 36b, ou nas antenas log-periódicas (por exemplo, na recepção de sinais de TV, na faixa de 50 MHz a 220 MHz), Fig.36c.

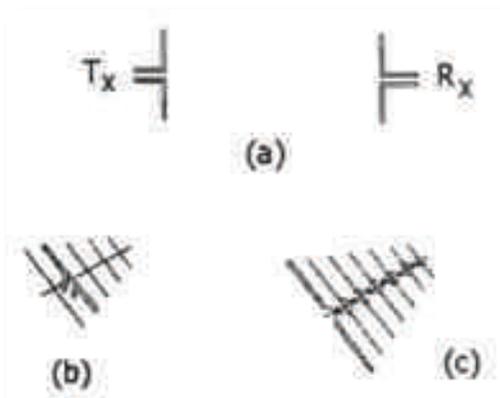


Fig. 36: Antenas dipolo, Yagi e Log-periódica.

O dipolo com plano refletor encontra aplicações quando é necessária a redução (ou supressão) da radiação traseira e/ou aumento do ganho. Uma aplicação importante encontra-se nos painéis transmissores de sinais de TV. Para melhores resultados quanto a impedância de entrada, os dipolos empregados são de onda completa e com uma relação comprimento/diâmetro baixa, de modo que possa operar satisfatoriamente ao longo da faixa de 6 MHz de cada canal. Comercialmente são encontrados em grupos de dois ou quatro dipolos por plano refletor e com determinados níveis de ganho e diagrama resultantes. A Fig. 37 mostra um painel com quatro dipolos em frente a uma grade condutora, desenvolvido para a faixa de 174 MHz a 223 MHz, e com ganho típico de 11 dB com relação ao dipolo de meia onda.



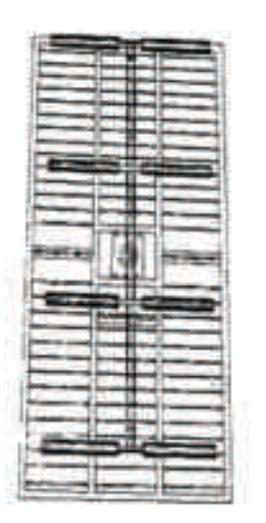


Fig. 37: Painel de dipolos para transmissão de sinais de TV.

Uma observação interessante é que, com a utilização de dipolos de onda completa, é possível suportá-los pelo ponto médio de cada braço à grade metálica de sustentação do conjunto. Essa possibilidade deve-se à distribuição de tensão sobre o dipolo, tendo um nulo nesses pontos considerados, Fig. 38.

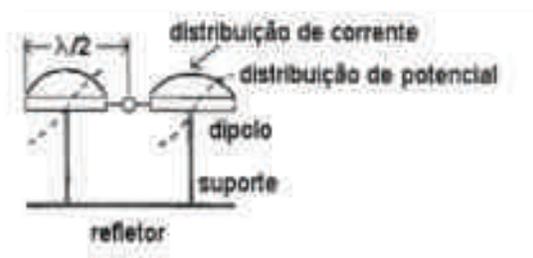


Fig. 38: Distribuição de tensão num dipolo de onda completa.

Uma outra antena utilizada em VHF é a antena vertical com plano de terra, Fig. 39. As hastes horizontais atuam como terra virtual podendo-se, para alterar níveis de impedância e ângulos de cobertura dos diagramas verticais, inclinar ou não essas hastes.

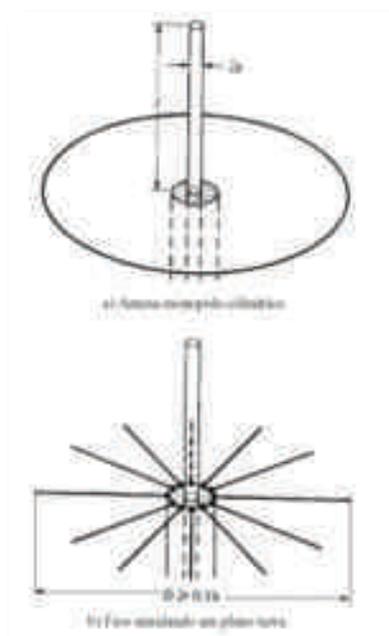


Fig. 39: Antena monopolo para VHF.



Antenas de banda larga

Quando a antena tem uma performance aceitável em um ou mais parâmetros (diagrama, ganho, e/ou impedância) sobre uma largura de banda de 2:1 com relação as frequências superior e inferior de operação, é classificada de banda larga. As suas características principais são ganho baixo ou moderado, ganho constante, impedância de entrada real e largura de banda grande.

Nas antenas ressonantes, a onda incidente a partir do ponto de alimentação é refletida pela extremidade do condutor, criando uma distribuição de onda estacionária. Se a onda refletida é de pequena intensidade, a estrutura é denominada de antena de onda caminhante. De forma contrária, a antena ressonante, que suporta onda estacionária, uma antena de onda caminhante atua como uma estrutura guiante para a onda. Ondas caminhantes podem ser criadas usando uma carga casada na extremidade para evitar reflexão. Também, as antenas muito longas podem dissipar a maior parte da potência, restando uma pequena fração para ser refletida. Essas antenas tendem a ter uma largura de banda de 2:1.

O fio reto carregando uma onda caminhante pura é a antena de onda caminhante mais simples. Um fio longo é aquele que tem um comprimento maior do que meio comprimento de onda. A Fig. 40 mostra essa estrutura com uma carga casada R_L para evitar reflexão. A impedância de entrada de uma antena de onda caminhante é predominantemente real. Isso pode ser entendido lembrando-se que a impedância de uma linha de transmissão de baixa perda é igual a impedância característica da linha (real), se a linha suporta uma onda caminhante pura. A resistência de radiação desse tipo de antena é da ordem de 200 a 300 Ω . A resistência da terminação deve ser igual ao valor da resistência de radiação.

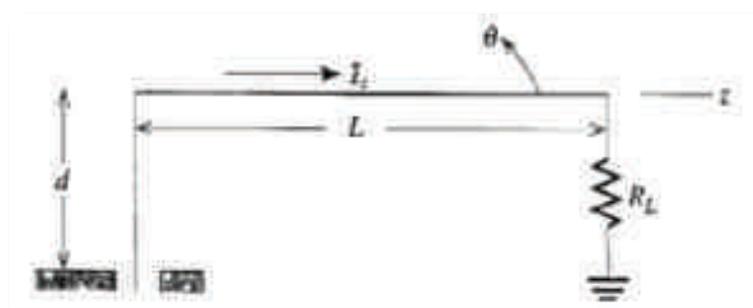


Fig. 40: Antena de onda caminhante de fio longo.



A antena ressonante em V pode se tornar uma antena de onda caminhante terminando-se o fio com cargas casadas, Fig. 41.

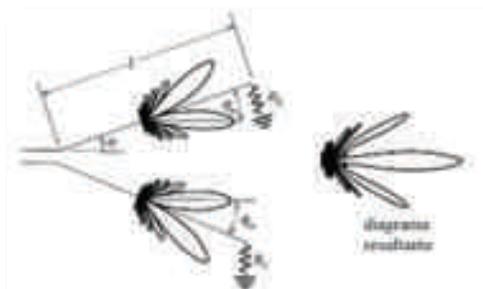


Fig. 41: Antena de onda caminhante em V.

O diagrama em cada braço é mostrado separadamente, bem como o diagrama resultante. Uma extensão dessa antena é a antena rômbrica, Fig. 42. A operação dessa antena pode ser mais bem visualizada comparando-se com uma linha de transmissão que foi separada na sua parte central e tem, conseqüentemente, um valor maior de impedância característica. O resistor de carga R_L deve ter um valor conveniente para casamento com a linha de transmissão e deve absorver as ondas caminhantes carregadas pela antena. Como a separação entre as linhas é grande relativamente ao comprimento de onda, a estrutura radia. Se projetado de forma conveniente, um diagrama diretivo com um único feixe na direção longitudinal pode ser obtido. A impedância da antena rômbrica tem valor típico da ordem de 600 a 800 Q.

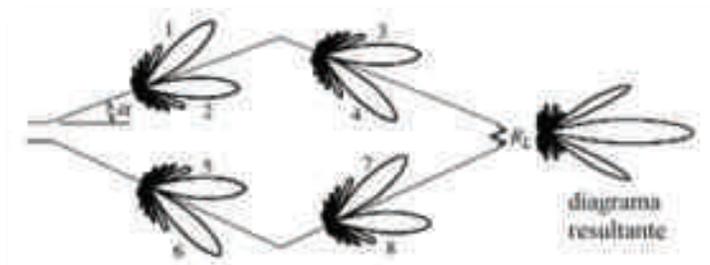


Fig. 42: Antena rômbrica.

De entre as antenas de banda larga, o dipolo dobrado é uma das mais utilizadas. É formado por dois dipolos cilíndricos ligados pela extremidade, como mostra a Fig. 43 para aplicações em HF e VHF. O dipolo dobrado apresenta uma impedância de cerca de 4 vezes a do dipolo de meia onda ou 260 Q. Este valor aproxima-se bastante dos 300 Q de impedância característica de uma linha de transmissão de fios paralelos comercial,



possibilitando um bom casamento dipolo-linha. Os dipolos dobrados são utilizados, por exemplo, no sistema de estações costeiras para comunicações com navios.

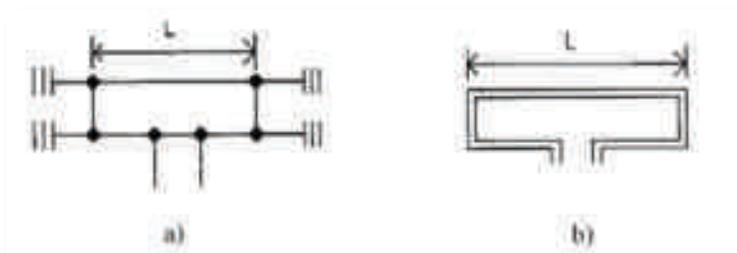


Fig. 43: Dipolo dobrado para aplicações em a) HF e b) VHF.

Uma antena de banda larga é caracterizada por uma região ativa. As ondas propagantes originam-se no ponto de alimentação e caminham para a região ativa, onde grande parte da potência é radiada. Uma antena de banda larga com geometria circular tem uma região ativa em que a circunferência é um comprimento de onda e produz polarização circular. Um exemplo é a antena helicoidal, Fig. 44, que pode alcançar uma largura de banda de 2:1. Esta antena pode ser considerada como interface entre a antena linear (quando o diâmetro da hélice tende a zero) e a antena em anel (quando os espaçamentos entre as espiras tendem a zero). Em função das suas dimensões, as antenas helicoidais apresentam as seguintes possibilidades de radiação: modo normal (ou transversal), modo dos quatro lobos e modo axial (ou longitudinal). O modo axial é o mais importante para aplicações em sistemas de comunicações ponto a ponto, entre as frequências de aproximadamente 200 MHz a 600 MHz.

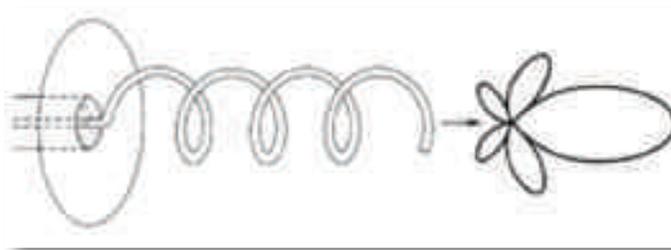


Fig. 44: Antena helicoidal no modo axial com plano terra.

Nesse modo, pode-se também construir conjuntos planos formados por duas ou quatro helicoidais, Fig. 45, conseguindo-se ganhos típicos de 15 dB e 18 dB, respectivamente.



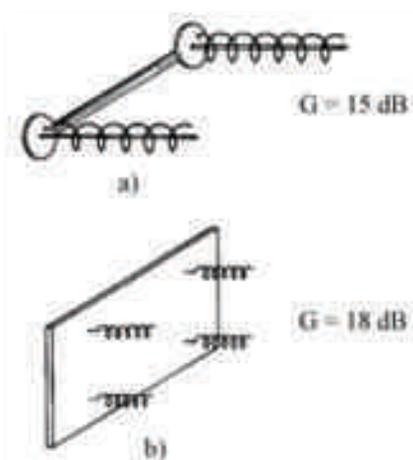


Fig. 45: Conjuntos formados por antenas helicoidais.

Antenas de abertura

As antenas vistas anteriormente podem ser analisadas em termos da distribuição de corrente na estrutura. Existe uma outra classe de antenas, mais convenientemente denominadas de antenas de abertura, na qual a radiação ocorre através de uma abertura. Pode-se fazer uma analogia com a pupila do olho humano, que é uma abertura para as ondas luminosas. A Fig. 46 mostra alguns exemplos dessa classe de antenas. Para alto ganho, uma das dimensões da antena de abertura deve ter o tamanho de vários comprimentos de onda. Então, não é surpresa que elas encontrem aplicações mais importantes na faixa de micro-ondas, onde o comprimento de onda é da ordem de poucos centímetros. As características principais destas antenas são ganho alto, ganho aumenta com a frequência, impedância de entrada aproximadamente real e largura de banda moderada.

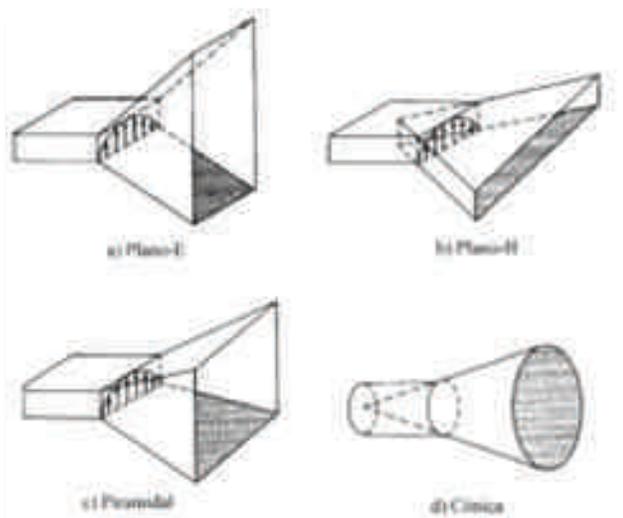


Fig. 46: Antenas de abertura



Tratando-se de uma abertura operando isolada (guia, corneta), esta será a eficiência total da abertura. Os refletores operam em várias configurações como a *focal-point* e a *cassegrain*. Na primeira configuração, estuda-se a associação de uma estrutura radiante (guia, corneta) com um sistema refletor de formato parabólico, Fig. 47a. Na segunda, associa-se a estrutura radiante a um sistema composto por um refletor de formato hiperbólico (subrefletor), acoplado a um segundo refletor (refletor principal) de formato parabólico, Fig. 47b. Para a determinação da eficiência do sistema (alimentador mais refletor), deve-se considerar não apenas a eficiência de iluminação da abertura do refletor mas, também, o facto de que parte da energia radiada pelo alimentador não é interceptada pela abertura (transbordamento) e que o alimentador e seus suportes bloqueiam uma outra parte da energia radiada (bloqueio).

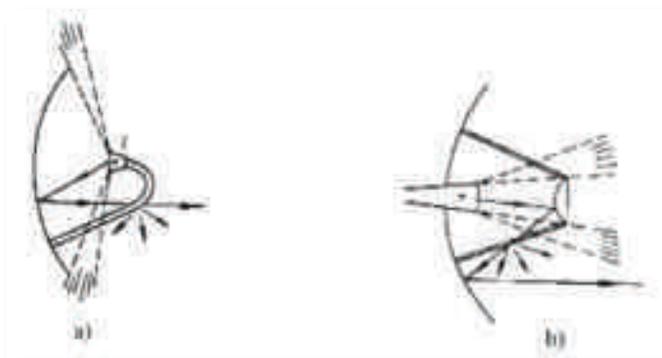


Figura 47: Antenas refletoras

Antenas parabólicas comerciais em sistemas focal-point apresentam uma eficiência total da ordem de 55%, enquanto que nos sistemas cassegrain a eficiência total situa-se na faixa de 65% a 70%.



Propagação de Ondas Eletromagnéticas

Introdução

A onda eletromagnética radiada por uma antena tende, em geral, a se propagar para todas as direções a partir da antena, a menos do que isso seja alterado elétrica ou mecanicamente. A energia radiada por uma antena transmissora pode alcançar a antena recetora por diferentes caminhos de propagação. A onda pode, por exemplo, caminhar nas proximidades paralelamente à superfície da Terra. Nesse caso, ela é afetada por absorção em prédios e árvores, pela densidade de gases da atmosfera e por objetos no seu caminho de propagação. Elas também podem ser espalhadas por objetos refletores de radiofrequência. Este tipo de sinal é denominado por onda terrestre e é a principal fonte de energia na área de cobertura primária de uma estação. As ondas terrestres podem ser convenientemente divididas em onda de superfície e onda espacial, que por sua vez pode ser subdividida em onda direta e onda refletida.

As ondas que chegam no recetor, depois de reflexão ou espalhamento na ionosfera, são conhecidas como ondas ionosféricas ou ondas celestes. A ionosfera é a área da atmosfera que se estende cerca de 50 km até cerca de 400 km acima da superfície da Terra.

As ondas que são refletidas ou espalhadas na troposfera (região da atmosfera dentro dos 10 km da superfície da Terra) são denominadas por ondas troposféricas.

Neste capítulo, o canal de radiocomunicação é introduzido no que concerne a ondas radiadas, a partir da propagação em espaço livre e concluindo com o efeito do terreno sobre a onda eletromagnética.

Propagação no espaço livre

A propagação no espaço livre obedece a lei do inverso da distância ao quadrado, de modo que a potência diminui em 6 dB quando a distância do enlace dobra (ou se reduz em 20 dB por década). Do mesmo modo, as perdas no caminho aumentam com o quadrado da frequência de transmissão, tal que as perdas também aumentam de 6 dB quando a frequência dobra. Antenas com altos ganhos podem ser utilizadas para diminuir essas perdas. Essas antenas são relativamente fáceis de construir para frequências na faixa de



VHF e superiores. Isso fornece uma solução para enlaces fixos ponto a ponto, mas não para enlaces moveis em VHF ou UHF nos quais cobertura omnidirecional é necessária.

A atmosfera

O estudo da propagação de ondas eletromagnéticas considera principalmente as propriedades e efeitos do meio real no qual as ondas caminham entre as antenas transmissoras e recetoras. Como a atmosfera da terra não é uniforme, variando com a altura e localização geográfica, ou mesmo com o tempo (dia, noite, estação, ano), a falta de uniformidade influencia apreciavelmente a passagem das ondas eletromagnéticas através dela. O conhecimento da composição da atmosfera da terra é extremamente importante na solução desse problema e, então, para o entendimento da propagação da onda, várias camadas da atmosfera são distinguidas. Elas são a troposfera, a estratosfera e a ionosfera.

Troposfera

A troposfera é a camada que esta em contato com a superfície terrestre e estende-se até uma altitude de aproximadamente 11 km. A principal característica desta camada é que a temperatura decresce numa razão de 6,5 a 7 graus centígrados por quilómetro de altitude. Na troposfera estão presentes alguns tipos de gases como o oxigénio, o nitrogénio e o bióxido de carbono, além de vapor de água, chuvas, neves e poluição. O estudo do comportamento físico dessa camada é feito por meio de três parâmetros: pressão atmosférica, temperatura e pressão do vapor de água. Os principais fenómenos, no que diz respeito à propagação das ondas eletromagnéticas na troposfera, são:

- Refração: fenómeno causado pela variação do índice de refração da camada em função da variação da altitude.
- Reflexão: a onda eletromagnética sofre reflexão em superfícies como lagos, rios, mares, planícies, obstáculos planos etc.
- Difração: fenómeno causado por obstáculos pontiagudos no caminho da propagação, provocando dispersão (difração) da onda no ponto.
- Absorção: a energia da onda é absorvida, principalmente pelo oxigénio e vapor de água, além de outros tipos de absorção.



Estratosfera

A estratosfera é uma camada intermediária entre a troposfera e a ionosfera, estendendo-se até uma altitude de cerca de 11 km a aproximadamente 50 km. A principal característica desta camada é ter a temperatura constante com a altura. Por isso, é também denominada de camada isotérmica. A propagação da onda eletromagnética não sofre nenhuma alteração significativa nessa camada. Portanto, não desperta interesse para as comunicações via rádio.

Ionosfera

A ionosfera é caracterizada pelo grau de ionização, que varia de intensidade durante o dia e, principalmente, do dia para a noite. A modificação do grau de ionização altera a propagação das ondas eletromagnéticas nessa camada. A ionosfera começa numa altitude de cerca de 50 km e estende-se a uma altura de aproximadamente 400 km, podendo ser subdividida em várias subcamadas, de acordo com os diferentes graus de ionização. As camadas mais altas são as mais fortemente ionizadas. A Fig.6.2 ilustra o meio de propagação formado pela superfície terrestre e a atmosfera. As subcamadas e algumas de suas características são listadas a seguir.

- Camada D (50 - 90 km) - perda por absorção.
- Camada E (90 - 150 km) - baixa densidade de ionização, possibilita transmissões em HF acima de 2.000 km.

Camada F (150 - 400 km) - durante o dia é dividida em duas subcamadas F1 e F2, a camada F1 é similar à camada E com baixa densidade de ionização, a camada F2 permite transmissões em HF acima de 4.000 km.

Propagação na atmosfera

Existem dois modos principais de propagação das ondas eletromagnéticas entre o transmissor e o receptor: a onda terrestre, que se propaga diretamente do transmissor para o receptor, e a onda celeste, que caminha até a camada eletricamente condutora



da atmosfera (a ionosfera) e é refletida de volta para a terra. Comunicações em longas distâncias ocorrem principalmente por meio das ondas celestes, e as transmissões em curtas distância e todas as comunicações em UHF ocorrem por meio das ondas terrestres. Algumas formas de transmissão consistem na combinação dessas duas. A propagação da onda terrestre é, em parte, afetada pelas características elétricas da terra (solo ou água), e por difração, ou encurvamento, da onda com a curvatura da terra. Essas características diferem entre localidades, mas são praticamente constantes ao longo do tempo. Por outro lado, a propagação da onda celeste é variável, uma vez que o estado da ionosfera esta sempre variando, afetando a reflexão, ou a refração, da onda.

Modos de propagação

A energia eletromagnética se propaga, na forma de ondas de rádio, a partir de uma antena transmissora. Existem diversas maneiras nas quais essas ondas se deslocam, dependendo da frequência de transmissão. Ondas que se propagam via camadas da ionosfera são conhecidas como ondas ionosféricas ou ondas celestes. Aquelas que se propagam sobre outros caminhos na camada mais baixa da atmosfera (a troposfera) são denominadas de ondas troposféricas, enquanto que aquelas que se propagam muito perto da superfície da Terra são genericamente chamadas de ondas terrestres. As ondas terrestres podem ser convenientemente divididas em ondas espaciais e ondas de superfície. As ondas espaciais podem ser subdivididas em ondas diretas, que se propagam através de um caminho direto entre as antenas transmissora e recetora, e ondas refletidas, que chegam na antena recetora depois de serem refletidas pela terra. A Fig.6.3 resume essa divisão.



Fig. 48: Modos de propagação das ondas de rádio.



As ondas de superfície são guiadas pela superfície da terra que, devido não ser perfeitamente condutora, extrai energia da onda à medida em que ela se propaga, transformando em perdas por dissipação. A atenuação dessa onda e, então, diretamente afetada pelas características elétricas da terra (constante dielétrica e condutividade) ao longo do caminho de propagação.

A importância de cada uma dessas ondas em qualquer caso particular depende da distância de propagação e da frequência de transmissão.

VLF

Na faixa de VLF, o comprimento de onda é muito longo, com cerca de 105 m, e portanto, as antenas são muito grandes. Por razões práticas, são posicionadas muito próximas da superfície. As ondas eletromagnéticas são guiadas por uma espécie de guia de onda formado pela terra e pela ionosfera. Devido as variações na altura da camada D da atmosfera, a altura efetiva desse guia de onda também varia a partir da superfície da terra.

A faixa de VLF é utilizada em telegrafia a longas distâncias e em sistemas de navegação. Ela também é usada em comunicações com submarinos, já que as frequências altas são rapidamente atenuadas pela água do mar. Transmissões digitais são sempre usadas, mas a largura de banda disponível nessa faixa de frequências é muito pequena e a taxa de dados é extremamente baixa.

LF e MF

Para frequências entre kHz e alguns MHz (as bandas LF e MF) a onda terrestre é o modo dominante de propagação e as características de radiação são intensamente influenciadas pela presença da terra. Em LF a onda de superfície é utilizada para comunicações de longa distância e navegação. As antenas são ainda fisicamente muito grandes e são usados transmissores de alta potência. O aumento da largura de banda disponível em MF permite o seu uso comercial em rádio AM. Embora a atenuação da onda de superfície seja mais alta do que na faixa de LF, comunicação sobre distâncias de diversas centenas de quilômetros são ainda possíveis, particularmente durante o dia. a noite, a



propagação da onda celeste via camada D da ionosfera é possível na faixa de MF e isso leva à possibilidade de interferência entre sinais chegando num mesmo ponto, um por meio da onda terrestre e o outro pela onda celeste. A interferência pode ser construtiva ou destrutiva, dependendo da fase das ondas e da variação temporal na altura da camada D, tornando o sinal alternadamente fraco e forte. Este fenômeno, chamado *fading*, também é produzido por diversos outros mecanismos e ocorre quando a energia se pode propagar por meio de mais do de um caminho.

HF

Propagação da onda terrestre também ocorre em HF, mas a onda ionosférica é dominante nessa faixa de frequências. As camadas ionizadas dentro da ionosfera (as camadas D, E e F) existem em alturas de vários quilômetros acima da superfície da terra e a comunicação em grande distância pode ocorrer por meio de um ou vários saltos. A altura das diferentes camadas varia durante a hora do dia, a estação do ano e a localização geográfica. Isso causa severos problemas que têm atraído a atenção de investigadores durante muitos anos, sendo ainda de grande interesse.

VHF e UHF

Frequências em VHF e UHF são normalmente muito altas para ocorrer a propagação da onda pela ionosfera. As comunicações ocorrem por meio das componentes direta e refletida da onda terrestre. Nessas bandas, as antenas tem tamanhos relativamente pequenos e podem ser posicionadas com vários comprimentos de onda distante da terra. Nessas condições a onda espacial é predominante. A largura de banda disponível é tal que rádio FM de alta qualidade e canais de televisão podem ser disponibilizados, mas a propagação é normalmente restrita para pontos dentro do horizonte e a cobertura é essencialmente local. A análise da propagação da onda espacial em VHF e UHF necessita levar em conta os problemas da reflexão da terra e de obstáculos naturais ou artificiais. Difração em árvores e prédios e refração na camada mais baixa da atmosfera são também importantes.



SHF

Frequências em SHF são normalmente chamadas de micro-ondas e este termo é algumas vezes usado para descrever a parte da banda de UHF acima de cerca de 1,5 GHz. O caminho de propagação deve estar em linha de visada entre o transmissor e o recetor, caso contrário as perdas serão extremamente altas. Nessas frequências, é possível projetar antenas compactas de alto-ganho, normalmente do tipo refletora, que concentra a radiação numa direção desejada. Frequências de micro-ondas são usadas para comunicações via satélite, enlaces terrestres ponto a ponto, radares e sistemas de comunicações de curtas distâncias.

EHF

O termo ondas milimétricas é às vezes utilizado para descrever as frequências em EHF (entre 30 GHz e 300 GHz). Comparando-se com frequências menores, enormes larguras de banda são disponíveis nessa parte do espectro. Propagação em linha de visada é predominante e, embora a interferência da onda refletida pela terra seja possível, é insignificante, devido à rugosidade da terra ser muito maior em comparação com o comprimento de onda envolvido. Somente quando a terra é muito suave, ou uma superfície de água está presente, é que as ondas refletidas têm um papel significativo. Na banda de ondas milimétricas os mais importantes efeitos que tem de ser considerado são espalhamentos por chuva, em certas frequências, absorção por nevoeiro, vapor de água e outros gases atmosféricos. A Fig.6.4 mostra a atenuação por oxigênio e vapor de água não condensado, em função da frequência. Pode observar-se que para algumas frequências existe uma intensa linha de absorção, por exemplo a absorção por vapor de água em 22 GHz e a absorção por oxigênio em 60 GHz. No entanto, entre esses pontos existem janelas onde a atenuação é muito menor.

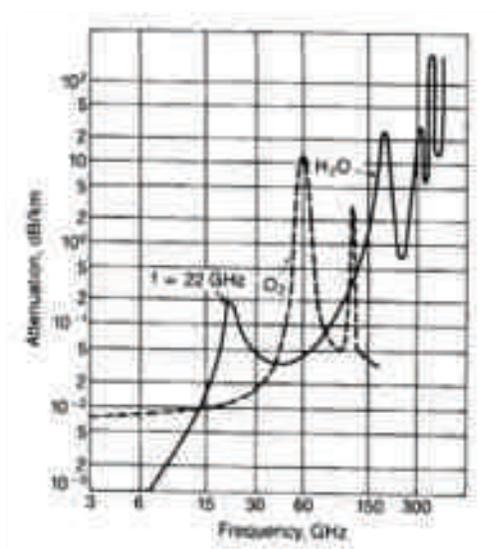


Fig. 49: Atenuação por oxigênio e vapor de água no nível do mar.



O efeito da atmosfera

A camada inferior da atmosfera, conhecida como troposfera, estende-se da superfície da terra até a uma altura de cerca de 11 quilômetros. É nessa região que as nuvens são formadas. Em frequências acima de 30 MHz ocorrem três fenômenos com as ondas que propagam-se em linha de visada na troposfera. Em primeiro lugar, flutuações localizadas do índice de refração podem causar espalhamento. Em segundo lugar, qualquer variação abrupta do índice de refração com a altura pode causar reflexão. Finalmente, um fenômeno mais complicado, conhecido como duto, pode também ocorrer. Todos estes mecanismos podem carregar energia além do horizonte ótico e, num pontencial, podem causar interferências entre diferentes sistemas de rádio comunicação.

Variações nas condições climáticas dentro da troposfera, como mudança de temperatura, pressão e humidade causam variação no índice de refração do ar. Grandes variações no índice de refração com a altura produzem refração da onda de rádio e o efeito pode ser muito significativo em todas as frequências, para baixos ângulos de elevação, especialmente no aumento de alcance das ondas de rádio para distâncias muito além do horizonte ótico, Fig. 50. De todas as influências que a atmosfera pode exercer nos sinais de rádio, a refração é um dos que tem maiores efeitos em sistemas ponto a ponto em VHF e UHF.

Uma atmosfera ideal é aquela na qual a constante dielétrica é unitária e a absorção é zero. Na prática, a constante dielétrica do ar é maior do que a unidade e depende da pressão total, da pressão de vapor de água e da temperatura do ar. A constante dielétrica varia, então, com as condições do tempo e com a altura acima da terra. Normalmente, mas nem sempre, ela diminui com o aumento da altura. A consequência de variações na constante dielétrica com a altura é que as ondas eletromagnéticas são encurvadas enquanto se propagam numa curva que as mantém mais próximas da terra do que se elas fizessem um percurso retilíneo. A Fig.6.6 mostra o encurvamento do feixe no plano vertical, devido ao fenômeno da refração da onda eletromagnética.

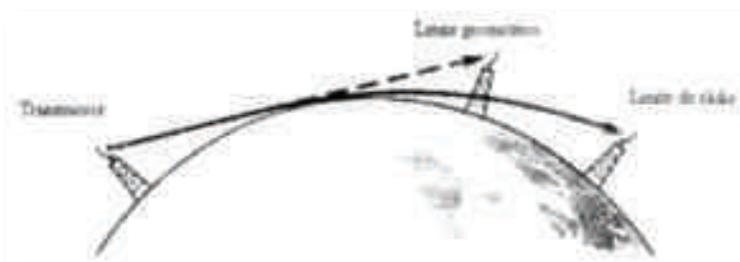


Fig. 50: Propagação de ondas eletromagnéticas além do horizonte ótico.



O índice de refração da atmosfera (n) tem valor médio igual a 1,000315 ao nível do mar. Este é um número inconveniente.

Raio efetivo da terra

Devido à refração do sinal, a onda de rádio não percorre uma linha reta. O encurvamento do raio depende do gradiente da refratividade em cada ponto ao longo do caminho. Tomando-se uma média do gradiente sobre o percurso, pode considerar-se que o raio segue uma trajetória curva, num arco com raio r . Este raio é inversamente proporcional ao gradiente médio do índice de refração sobre o caminho.

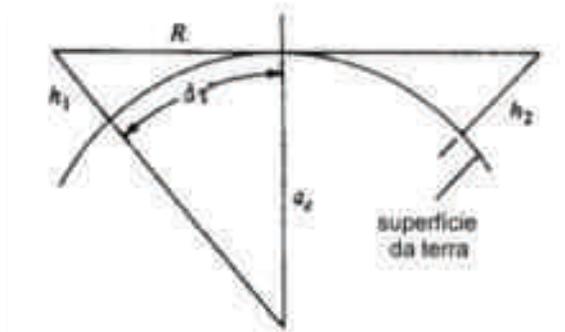
Assim como a onda de rádio não segue uma linha reta, a superfície da terra sobre a qual ela caminha não é plana. A superfície da terra pode ser considerada como sendo um arco de raio médio de 6.370 km. Se é assumido um perfil linear para N (isto é, gradiente uniforme), o encurvamento para baixo do raio da onda pode ser determinado admitindo-se que ele percorre um caminho reto, com o raio da terra sendo dado por um valor efetivo. Para a atmosfera padrão, o fator apropriado para a obtenção do raio efetivo é $K = 4/3$, de modo que o raio efetivo é $4/3$ do raio real.

A Fig.6.7 ilustra o conceito de raio equivalente. Então, o raio efetivo da terra é igual a $a_e = 8.497$ km.



Fig. 51: Raio efetivo da terra.

Com referencia à Fig.6.8, a altura da antena é pequena comparada com a distância para o horizonte, tem-se que R é aproximadamente igual à distância d_p . Então a distância para



o horizonte é dada por $d_T = (2h_1 a_e)^{1/2}$.

Fig. 52: Distância para o horizonte.



A Fig. 53 mostra a variação do raio equivalente da terra, em função do parâmetro K . Na prática, a atmosfera nem sempre se comporta de acordo com esse modelo idealizado e os caminhos de propagação das ondas de rádio são perturbados.

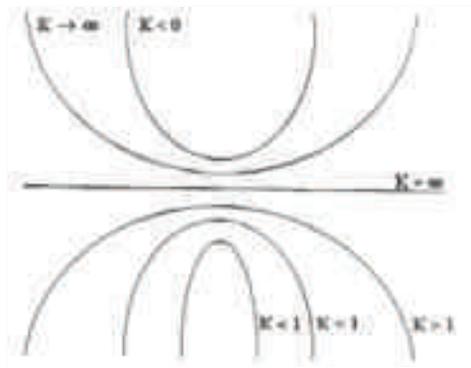


Fig. 53: Representação da variação do raio da terra com relação ao parâmetro K .

Efeitos do terreno

O terreno pode influenciar a propagação em dois aspectos: obstrução e reflexão. Montanhas, prédios, árvores ou a própria superfície da Terra podem bloquear parcialmente o feixe, causando a atenuação por obstrução. Regiões razoavelmente planas como mares, lagos e planícies podem refletir o feixe de ondas com oposição de fase em relação ao sinal direto, causando a atenuação por interferência.

Princípio de Huygens

Quando uma frente de onda encontra um obstáculo ou uma descontinuidade que não é grande em comparação com o comprimento de onda, pode utilizar-se o princípio de Huygens para se obter uma solução para o problema. Este princípio sugere que cada ponto de uma frente de onda atua como uma fonte de frentes de ondas secundárias que se combinam para produzir uma nova frente de onda na direção de propagação. A Fig.54 mostra uma frente de onda que se encontra na posição AA. Ondas esféricas se originam em cada ponto do plano AA1 para formar a nova frente de onda BB', que é tangencial a todas as ondas com iguais raios.



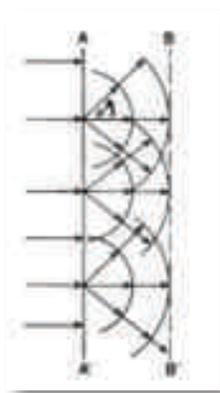


Fig. 54: Princípio de Huygens aplicado à propagação de ondas planas.

Considerações das ondas originadas em todos os pontos do plano AA' levam para uma expressão para o campo, em qualquer ponto de BB', na forma de uma integral, cuja solução mostra que o campo em qualquer ponto de BB' é exatamente o mesmo do ponto mais próximo em AA', com sua fase retardada por $2nd/\lambda$. As ondas propagam-se então ao longo de linhas retas normais às frentes de ondas.

Difração por obstáculo

A análise descrita anteriormente aplica-se apenas se a frente de onda é infinita em todas as direções. Na prática, aplica-se se AA' é grande comparado com o comprimento de onda. A Fig. 55 mostra uma situação onde essa condição é violada. Observa-se da figura que além do obstáculo (que se assume ser impenetrável ou perfeitamente absorvente) apenas existe uma frente de onda semi-infinita CC. A teoria dos raios sugere que não existe nenhum campo eletromagnético na região de sombra abaixo da linha pontilhada BC, mas o princípio de Huygens estabelece que as ondas que se originam em todos os pontos em BB', por exemplo em P, se propagam na região de sombra e o campo, em qualquer ponto dessa região, será a resultante de interferências de todas essas ondas. O encurvamento aparente das ondas de rádio em torno de uma obstrução é conhecido como difração.

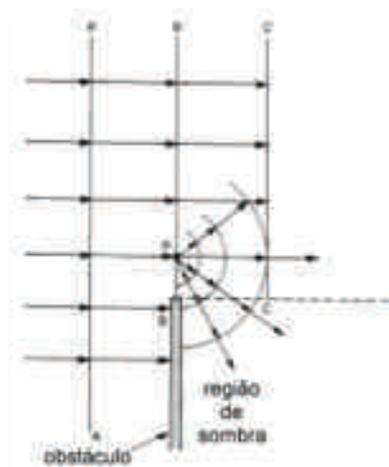


Fig. 55: Difração por obstáculo.



Para se introduzir alguns conceitos associados com difração considere um transmissor T é um recetor R no espaço livre, Fig. 56.

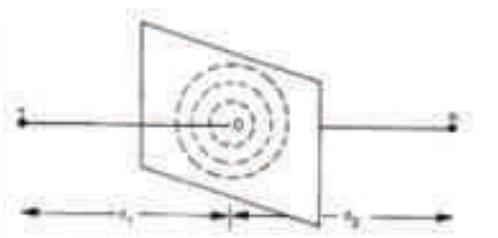


Fig. 56: Família de círculos definidos num plano imaginário entre transmissor e recetor.

Considere também um plano normal a linha de visada em qualquer ponto entre T e R. Nesse plano constrói-se círculos concêntricos de raios arbitrários. Então, qualquer onda que alcance R via qualquer ponto nesses círculos caminhará uma distância maior do que pelo percurso TOR. Em termos da geometria da Fig. 57

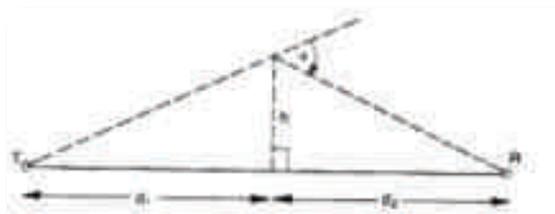


Fig. 57: Geometria da difração por gume de faca.

Zonas de Fresnel

Da Fig. 56 observa-se que, no plano passando através de O, pode construir-se uma família de círculos tendo a propriedade de que o comprimento total de T para R, via cada círculo, seja $n\lambda/2$ maior do que a distância TOR, em que n é um inteiro. O círculo mais interno representa o caso $n = 1$, com um excesso de percurso igual a $\lambda/2$. Os raios dos círculos individuais dependem da localização do plano imaginário com relação as extremidades. Os raios são maiores em metade do percurso e diminuem com a proximidade das extremidades. Esses pontos definem uma família de elipsoides como ilustrado na Fig. 58. O raio de qualquer uma dessas curvas pode ser expresso em termos de n e das dimensões da Fig.58.



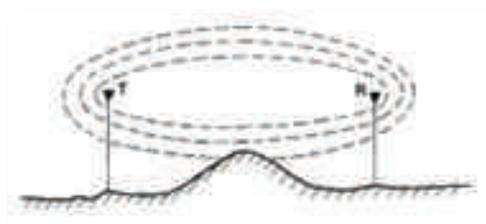


Fig. 58: Família de elipsóides definindo as três primeiras zonas de Fresnel.

As contribuições para o campo no ponto de recepção das sucessivas zonas de Fresnel tendem a estar em oposição de fase e, portanto, interferem destrutivamente.

Perdas por difração

Se uma superfície plana absorvente ideal é colocada entre T e R, terá pouca influência no campo quando bem afastada da linha de visada. O campo em R terá o valor do espaço livre. Começa a oscilar quando se aumenta a altura do anteparo bloqueando, então, cada vez mais o campo das zonas de Fresnel abaixo da linha de visada. A amplitude da oscilação diminui até que o anteparo alcance a linha de visada, quando exatamente metade do valor do campo é obstruído e a atenuação é de 6 dB. Para alturas além deste valor, a oscilação cessa e a intensidade do campo diminui.

Para determinar a atenuação de forma quantitativa, usa-se a teoria clássica da difração e pode substituir-se qualquer obstrução ao longo do caminho por um plano absorvente colocado na mesma posição. O plano é normal ao percurso direto e prolonga-se para o infinito em todas as direções, exceto verticalmente onde termina na altura da obstrução original. Difração por gume de faca é o termo usado para descrever essa situação e todas as reflexões na terra são ignoradas. As integrais de Fresnel são usadas para se expressar a difração por gume de faca. A Fig. 59 mostra a perda por difração em dB relativa ao espaço livre. Na zona de sombra abaixo da linha de visada a perda aumenta continuamente. Acima da linha de visada ocorre oscilação sobre o valor do espaço livre, a amplitude da oscilação decrescendo, com a atenuação tendendo para zero quando o percurso torna-se totalmente desobstruído. Para obstrução de metade do campo a perda é 6 dB, mas da Fig. 59 observa-se que quando 60% da primeira zona de Fresnel está desobstruída, a perda com relação ao espaço livre é zero. Na prática, projetam-se



enlaces ponto a ponto com as alturas das antenas, de modo que desobstruam a maior parte da primeira zona de Fresnel.

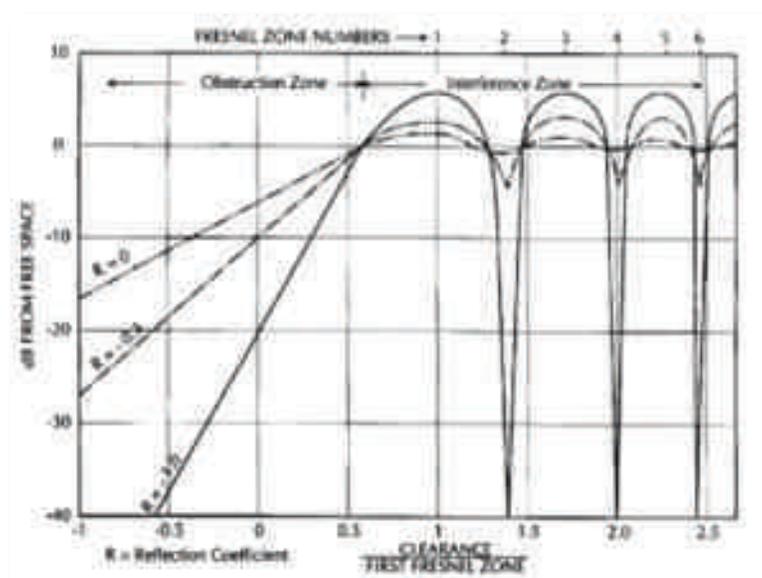


Fig. 59: Perda por difração sobre o espaço livre para um obstáculo gume de faca.



Sistemas de Transmissão de TV

Introdução

Há dez ou vinte anos, não importava muito que houvesse algumas centenas de línguas diferentes no mundo e uma dúzia de sistemas de televisão incompatíveis. A distância era um grande fator de isolamento.

Hoje em dia, com satélites ligando todos os países por meio da televisão e com a Internet disponibilizando informações em texto, vídeo e áudio, virtualmente para qualquer pessoa no mundo (com acesso a um computador), os padrões incompatíveis e as línguas incompreensíveis começaram a fazer diferença, e tornaram-se obstáculos para a comunicação e compreensão.

Os ditadores gostam das coisas assim. E também as pessoas que temem ver as suas ideias subvertidas ou substituídas pelo livre fluxo de informação.

Mas a grande maioria dos cidadãos do mundo tende a achar que o livre fluxo de informação é a oportunidade de desenvolver o senso crítico, para poder separar o joio do trigo, são essenciais para o progresso da humanidade e para acabar com as barreiras de mal-entendidos entre os povos, o que nos leva às incompatibilidades entre padrões dos sistemas de transmissão de TV.

Embora o número total tenha diminuído, ainda existem vários sistemas de transmissão de televisão incompatíveis (padrões técnicos para a transmissão do som e da imagem) no mundo. Isto significa que um programa produzido num país não pode ser visto automaticamente em outro, sem que seja feita a conversão para o padrão técnico apropriado.

Filmes e programas de TV são um dos maiores e mais lucrativos produtos de exportação dos Estados Unidos. Por isso, os produtores de televisão e os sindicatos americanos precisam de estar familiarizados com as diferenças dos sistemas de TV mundiais. (Muitos filmes e programas de TV não dão dinheiro algum até entrarem no circuito de distribuição internacional.)

Já existiram 14 padrões de transmissão diferentes, em uso, no mundo. Hoje em dia, excluindo a HDTV/DTV (TV de alta-definição / TV digital), três sistemas básicos servem a grande maioria dos países (embora haja variações significativas entre eles).



A diferença entre esses padrões básicos de transmissão internacional está centralizada em três coisas:

- o número de linhas horizontais da imagem;
- o tamanho do canal de transmissão (a largura da banda eletrônica do sinal);
- o tipo de modulação - AM ou FM - utilizado para a transmissão de áudio e vídeo.

Historicamente, o número de linhas usadas na transmissão de TV já variou entre 405 linhas (do sistema de TV monocromático do Reino Unido) e 819 linhas (do sistema francês). Estes dois sistemas já não existem mais. Assim, excluindo os sistemas de alta definição, que serão discutidos mais tarde, o mundo tem hoje dois padrões básicos de número de linhas: 525 e 625.

O Tamanho Padrão das Imagens da TV

Embora o número de linhas tenha variado bastante, todos os sistemas de televisão adotaram um tamanho padrão de imagem de TV. O quadro de vídeo tem a proporção de 4x3 (largura x altura). Esta relação proporcional entre as medidas de um quadro é chamada pelos americanos de aspect ratio.



Fig. 60 - representa uma imagem em 16/9

O aspect ratio de 4x3 adotado pela TV era compatível com os primeiros filmes, que antecederam o formato das grandes telas de Cinemascope, Vista-Vision e Panavision. Como veremos adiante, o aspect ratio de 16x9 característico da HDTV/DTV (a área maior na foto do papagaio) está mais próximo do aspect ratio das grandes telas do Cinema.



O Sistema de Transmissão NTSC

O sistema NTSC - com 525 linhas e 30 quadros por segundo - é compartilhado pelos Estados Unidos, Canadá, Groenlândia, México, Cuba, Panamá, Japão, Filipinas, Porto Rico, e partes da América do Sul.

Na medida em que os 30 quadros de vídeo são constituídos por 60 campos de vídeo, poderíamos dizer que o sistema NTSC tem 525 linhas e 60 campos.

O sistema de 60 campos do padrão NTSC se baseia originalmente no ciclo - de 60Hz - do sistema elétrico utilizado nesses países. Nos países onde o sistema elétrico tem ciclos de 50 Hz, foi mais lógico desenvolver ou adotar sistemas de televisão compatíveis - isto é, de 50 campos por segundo.

Os Sistemas de Televisão PAL e SECAM

Mais de metade dos países do mundo utiliza um dos dois sistemas: SECAM (*Systèm Électronique pour Couleur Avec Mémoire*) ou PAL (*Phase Alternating Line*) - com 625 linhas e 25 quadros por segundo.

O sistema SECAM é usado em França, na maior parte dos países vizinhos e na Rússia. O sistema PAL é usado por quase toda a Europa Ocidental (com exceção da França).

As 100 linhas a mais dos sistemas PAL e SECAM acrescentam bastante detalhe e clareza à imagem de vídeo, mas quando comparamos os 50 campos por segundo com os 60 campos do sistema do NTSC, podemos notar uma ligeira trepidação (*flicker*) na imagem daqueles sistemas.

Ainda assim, os 25 quadros-por-segundo estão muito próximos do padrão internacional do Cinema - de 24 quadros-por-segundo e, por isso, é muito mais fácil converter filme para os sistemas PAL e SECAM.

Com o sistema NTSC as coisas são mais difíceis, a velocidade de 24 quadros-por-segundo deve ser convertida para 30 quadros. Isto se consegue duplicando quadros do filme, duas vezes, em intervalos regulares - um procedimento meio estranho, mas que funciona.



Conversão de Padrões

A existência de padrões de transmissão de TV diferentes dificulta o intercâmbio de programação internacional. Um vídeo feito nos Estados Unidos não pode ser reproduzido na Inglaterra, por exemplo, sem passar por uma transcodificação (conversão eletrônica de padrões).

Isto já foi um grande problema. Hoje em dia, com a tecnologia digital, o processo de conversão de um padrão internacional para outro é bastante rápido, simples e indolor (assumindo que existem condições de suportar os custos do equipamento profissional). Hoje em dia, existem também televisores e gravadores de videocassete multi-sistema no mercado consumidor capazes de ler vários padrões.

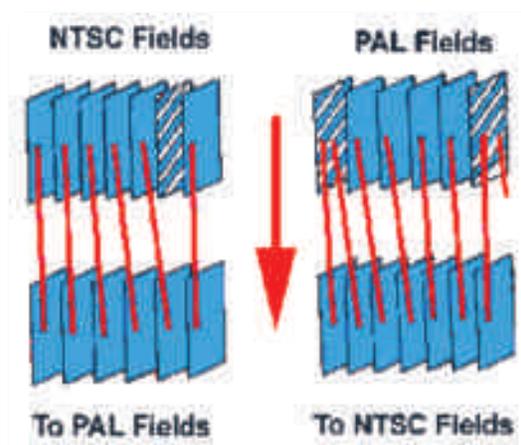


Figura 61 – Sistemas de conversão NTSC e PAL

TV de Alta Definição / Televisão Digital

Havia uma esperança de que quando o mundo mudasse para a TV de alta-definição e TV digital, ou HDTV/DTV, as nações concordariam em adotar um único padrão de televisão global. E isto pareceu possível, quando no final dos anos 80 muitas nações concordaram com o padrão proposto de 1.125-linhas e 60-campos para HDTV / DTV.

Entretanto, quando os 200 líderes de várias nações, reunidos numa conferência mundial sobre transmissão de TV, se defrontaram com questões de ordem técnica e política, eles voltaram atrás no acordo inicial. E o sonho de um padrão global de televisão desapareceu. Os Estados Unidos, Japão e alguns outros países adotaram o sistema de 1.125 linhas e 60 campos, enquanto muitos dos países que utilizavam os sistemas PAL e SECAM mudaram



para um sistema de HDTV / DTV com 1.250 linhas e 50 campos. Ainda poderíamos listar aqui sistemas de 1.080 e 1.152 linhas, respetivamente, com um número de campos de 59.9, mas não vamos entrar nestas distinções técnicas agora.

Comparado com o padrão de televisão NTSC, o sistema HDTV/DTV é capaz de reproduzir imagens com até seis vezes mais detalhe, e dez vezes mais informação de cor.

Quando projetada numa tela de 16 x 9 pés é observada de uma distância normal, a imagem do sistema HDTV/DTV parece se igualar, em termos de detalhe, com o resultado obtido na projeção de um filme de 35mm.

Ainda assim, vídeo e filme são dois veículos inerentemente diferentes. A questão quanto à «qualidade» (uma palavra que pode significar muitas coisas, para pessoas diferentes) relativa a estes meios de comunicação, tem provocado discussões acaloradas e esta questão polémica não pode ser decidida por critérios puramente técnicos.

Basta dizer que, quando os dois veículos são comparados - para se decidir qual deles é o mais apropriado para uma determinada produção - a diferença entre vídeo e filme é baseada mais em termos da abordagem da respetiva produção, do que em quaisquer diferenças de qualidade inerente entre eles. Voltaremos a este assunto mais tarde.

Convertendo Telas Grandes

A conversão das imagens - 16x9 - da HDTV/DTV para o tamanho padrão - 4x3 - é feita, basicamente, da mesma maneira que a telecinagem - conversão dos filmes de cinema para o sistema de televisão NTSC.

Existem três maneiras:

Primeiro, cortar as laterais do quadro. Quando a gravação original de HDTV/DTV (ou de cinema) é realizada prevendo-se a conversão da imagem para 4x3, os enquadramentos são centralizados na tela e os cortes laterais não são problema. Os americanos denominam este procedimento de - shoot and protect (gravar e proteger).



Figura 62 – Tratamento da imagem Pan-and-Scan



Segundo, o programa inteiro pode passar por um processo chamado *pan-and-scan*. Este processo envolve o trabalho de um técnico, que tem de rever todas as cenas para poder programar um dispositivo gerador de imagens (uma espécie de *scanner*). Este dispositivo controlado por computador, realiza movimentos horizontais - *pan* - eletronicamente, de um lado para o outro do ecrã, deslocando as imagens no formato 4x3.

Na foto do papagaio, por exemplo, o corte das laterais não seria problema. Mas, se tivéssemos dois papagaios olhando um para o outro em lados opostos da tela.

Finalmente, se informações visuais importantes ocupassem todo o quadro de HDTV/DTV (como no caso de um texto escrito, que ocupe toda a tela) nenhum dos dois métodos aqui descritos iria funcionar. Seríamos obrigados, então, a usar o método que os americanos chamam de *letterbox*.

O problema é que este método resulta em áreas horizontais vazias, em cima e em baixo do quadro. O método *letterbox* é frequentemente reservado para os títulos iniciais e créditos finais, enquanto o restante do programa é submetido ao método de *pan-and-scan*.



Figura 63 – Exemplo de Letterbox

Muitos diretores, porém, não gostam do método *pan-and-scan*, e preferem a conversão pelo método *letterbox*. Argumentam que o método *pan-and-scan* introduz *pans* artificiais que não são motivadas pela ação.

Originalmente, os produtores ficaram apreendidos com a reação da audiência a respeito das faixas negras do quadro, características do formato *letterbox*. Quando o método começou a ser utilizado, muitas pessoas que alugaram filmes no formato *letterbox* devolveram-nos ao clube de vídeo, queixando-se de que havia alguma coisa errada. Entretanto, hoje o formato *letterbox* é comumente usado e bastante bem aceite.

Para sequências curtas existe ainda outra maneira de resolver a diferença de proporções das telas de 16x9 e 4x3. Você já deve ter visto cenas «espremidas» horizontalmente,



na abertura ou encerramento de um filme na televisão, para acomodar os títulos e créditos. O efeito é especialmente notável quando pessoas fazem parte da cena - elas, repentinamente, ficam muito magras. Compare estas duas imagens. Note como o pássaro no quadro com a proporção de 4X3 parece muito mais magro.



Figura 64 – Compressão da imagem de 16/9 para 4/3

O efeito de compressão da imagem é resultado da lente anamórfica usada na câmara de cinema que rotineiramente, comprime o formato de tela grande para o padrão 4x3 de filme.

Quando este filme é projetado no cinema, a imagem comprimida é esticada novamente para o seu formato original. Mas quando é usado na TV com a proporção de tela de 4x3, não é possível esticar a imagem para a sua largura total.

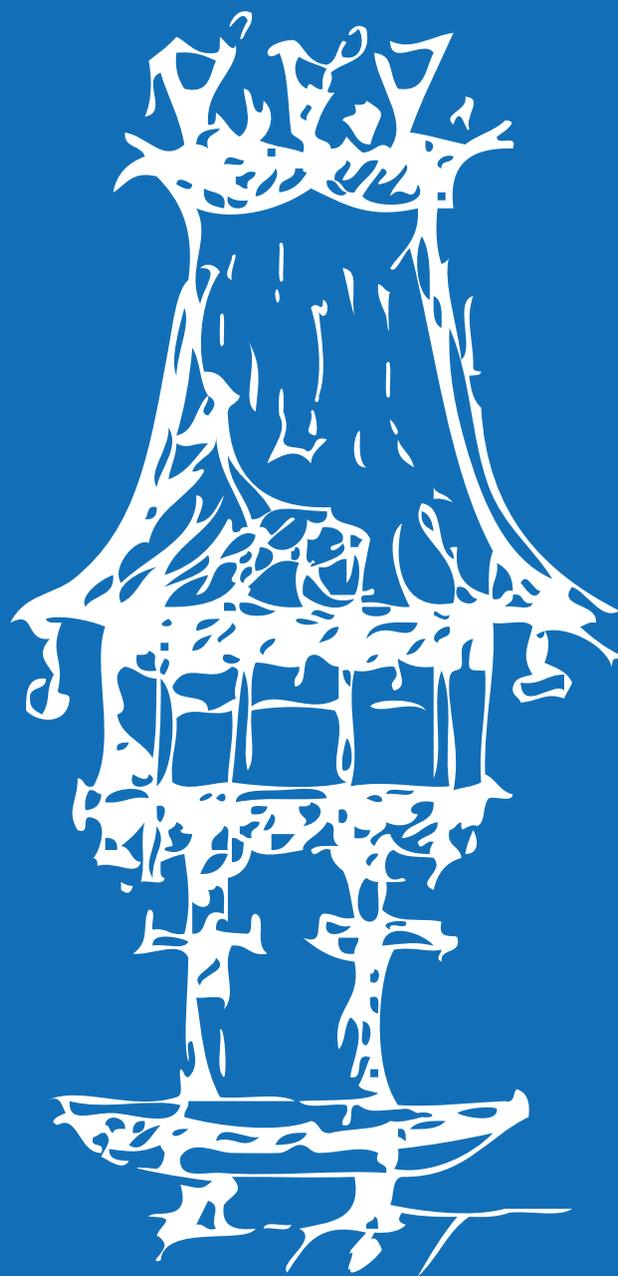
Antes do formato HDTV/DTV ser normalizado em 2003, teremos de nos preocupar sobre a conversão de todos os velhos programas 4x3 para o formato de ecrã. Hoje em dia, inclusive, apesar de ainda não termos transmissão de HDTV/DTV, muitos produtores já estão gravando programas no formato 16x9 para que o seu produto possa ainda ser útil na era da HDTV.



Bibliografia

Manual de Sistemas de Transmissão – ESTEL. (s.d.).







Receção Satélite e Sistemas Coletivos

Módulo 4

Apresentação

Este módulo tem como objetivo a continuação da explicação de como é rececionado o áudio e, principalmente, o vídeo a longas distâncias, referimos como vamos receber as ondas emitidas pelos satélites e como o distribuímos por um conjunto de habitações, como por exemplo, os prédios.

Este tema tem carácter teórico-prático, por isso deverá decorrer parcialmente em ambiente de laboratório de modo que seja permitida aos alunos a montagem de diversas antenas e sistemas coletivos, para melhor entendimento desta matéria.

O objetivo dessa disciplina é, portanto, torná-lo apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos e a comunicação adequada com os profissionais da área.

Introdução

A abordagem deste módulo de Recepção Satélite e Sistemas Coletivos leva-nos a um melhor entendimento dos vários tipos de antenas e sistemas coletivos em edifícios existentes no mercado, assim como a melhor escolha deste equipamento para que se ajuste às crescentes mudanças de equipamentos disponíveis pelas diversas marcas.

Este módulo requer um conhecimento básico de circuitos eletrónicos, e respetiva análise e compreensão desses circuitos.

Objetivos de aprendizagem

- Compreender o princípio de funcionamento da transmissão de televisão (TV) via satélite.
- Conhecer as principais características da transmissão e recepção por satélite.
- Projetar e ajustar um sistema de recepção satélite.
- Conhecer as características e a função dos equipamentos usados nos sistemas coletivos de TV.
- Projetar e ajustar um sistema coletivo de recepção TV.



Âmbito de conteúdos

- Televisão via satélite.
- Sistemas coletivos de antenas de TV.



Televisão via satélite

Introdução

A primeira transmissão de imagens televisivas a longa distância ocorreu no dia 9 de Abril de 1927, entre as cidades americanas Washington D.C. e Nova Iorque, sob a orientação da Bell Telephone e do U.S. Department of Commerce. O potencial da televisão como meio de difusão de conhecimento, informação e entretenimento foi imediatamente reconhecido.

O processo eleito para a transmissão de conteúdos televisivos foi a radiodifusão por modulação de portadoras de muito alta frequência, bandas VHF (30 a 300MHz) e UHF (0,3 a 3 GHz). A radiação do sinal está a cargo de antenas próprias para o efeito, que requerem um posicionamento geográfico preciso para que o sistema possa alcançar o melhor desempenho possível. Este sistema de transmissão tem sido o mais popular ao longo dos tempos devido, em parte, à sua facilidade de manipulação por parte do utilizador comum, mas principalmente por ser gratuito.

No entanto, este processo sofre de algumas deficiências que poderão ser mais ou menos notórias aos olhos do utilizador comum. Para que a propagação das ondas de rádio se efetue com níveis aceitáveis de qualidade requer proximidade entre emissor e recetor, linha de vista direta, preferencialmente sem obstáculos intermédios (tais como acidentes geográficos e/ou edifícios). Condições adversas conduzem a uma rápida atenuação e distorção do sinal, degradando a qualidade do serviço. Mas de todos os fatores, o mais adverso poderá ser o facto de a superfície terrestre não ser plana, o que limita bastante a linha de vista, impedindo as comunicações a grande distância devido às reflexões no solo.

A conjugação de tais fatores desfavoráveis conduziu, naturalmente, à procura de métodos mais avançados que permitissem melhorar a qualidade de serviço e quebrar a barreira da distância. Uma das alternativas foi a transmissão via satélite.

Este sistema, ao utilizar antenas posicionadas no espaço como elemento difusor da informação, diminuiu o problema da limitação da linha de vista e, simultaneamente, a questão dos obstáculos intermédios, possibilitando maiores áreas de cobertura do serviço (e.g. comunicações transatlânticas). Este tipo de serviço veio também possibilitar



melhorias significativas de qualidade. O facto de se trabalhar com sistemas de alta frequência e elevada largura de banda veio também possibilitar a transmissão de mais informação por canal, bem como de mais canais por banda de espectro utilizada.

O lançamento do satélite russo Sputnik, em 1957, veio desencadear a corrida pelo espaço.

Os Estados Unidos foram o primeiro país a utilizar satélites para efeitos de comunicação a longa distância, em 26 de Julho de 1963, para fins militares. Em breve, este recurso seria aplicado às comunicações telefónicas públicas, como forma de aliviar a carga das redes terrestres que começavam então a dar os primeiros sinais de congestionamento. A primeira utilização de satélites para transmissão de sinais televisivos ocorreu a 1 de Março de 1978, pela mão da PBS – Public Broadcasting Service.

No período de 1978 a 1984, verificou-se um rápido desenvolvimento de toda a tecnologia associada ao sistema de televisão via satélite, facto que levou a um rápido crescimento do número de utilizadores deste serviço, até então gratuito. Com o crescimento do setor, as companhias que difundiam os seus conteúdos televisivos via satélite começaram, naturalmente, a procurar formas de obter dividendos dos utilizadores que serviam. Foi assim que surgiram os primeiros códigos de encriptação adaptados aos sinais de televisão via satélite, e os primeiros serviços em que o utilizador necessitava de um recetor específico, capaz de descodificar o sinal recebido. Desta forma, as companhias adquiriam total controlo sobre os utilizadores que beneficiavam dos seus serviços, podendo assim obter os seus lucros.

Todo este sistema foi, então, legislado e devidamente regulamentado, no que se refere às telecomunicações, tendo sido estabelecidas as normas internacionais necessárias para que, a partir da segunda metade da década de 80, estes serviços comesçassem a crescer no mercado de consumo de massas. Países como o Japão e Hong Kong tomaram a dianteira na corrida à colocação em órbita de satélites de transmissão de conteúdos televisivos, tendo-se-lhes seguido os Estados Unidos e, mais tarde, a Europa.

Hoje em dia, verifica-se também na televisão por satélite o fenómeno de globalização. Empresas de diferentes continentes partilham entre si conteúdos televisivos distintos, de diferentes origens e com diferentes países ou regiões de destino, quebrando assim fronteiras de espaço e tempo de uma forma outrora inimaginável.



Funcionamento geral da televisão via satélite

Conceptualmente, a televisão por satélite é bastante semelhante a uma transmissão televisiva normal, na medida em que ambas se definem como um sistema sem fios que permite levar um serviço televisivo diretamente às casas dos utilizadores. Em ambos os sistemas, as estações e distribuidores televisivos utilizam sinais rádio para difundir a sua programação.

Para tal, as estações de transmissão utilizam antenas de grande potência. Porém, os utilizadores apenas necessitam de uma antena de menor potência para captar tais ondas. A principal limitação da transmissão televisiva é o alcance. As ondas de rádio utilizadas na transmissão são radiadas pela antena de tal forma que é necessário estar na zona de alcance da antena para captar a emissão. Pequenos objetos como árvores ou casas não são grande problema, mas um grande obstáculo como a Terra causa certamente efeitos atenuadores.

Se a Terra fosse perfeitamente plana, seria possível captar ondas de transmissão a distâncias enormes. No entanto, como o planeta é curvo, a linha de alcance do sinal acaba por ser quebrada a algumas dezenas de quilómetros do ponto de emissão.

O outro grande problema da transmissão televisiva deve-se ao facto de que o sinal é regularmente distorcido, mesmo na zona de alcance. Para se obter um sinal limpo é necessário estar bastante perto da antena de transmissão, sem muitos obstáculos no caminho.

A televisão via satélite resolve os problemas de alcance e distorção através da transmissão de sinais a partir de satélites que se encontram em órbita.

Uma vez que os satélites se encontram a altitudes elevadas (cerca de 36 000 km), existe um número bastante superior de utilizadores que se encontram na linha de alcance da transmissão.

Os sistemas de televisão via satélite transmitem e recebem os sinais utilizando antenas especiais, denominadas antenas parabólicas.

Os satélites televisivos localizam-se numa órbita geocêntrica, o que significa que se localizam sempre no mesmo ponto relativamente à Terra. Desta forma, é apenas necessário direccionar o prato parabólico para o satélite uma vez para que este capte ou transmita o sinal.





Fig. 1: Sistema de televisão via satélite.

O Sistema Geral

Atualmente, a grande maioria dos clientes de televisão via satélite obtém este serviço diretamente de um distribuidor de transmissão por satélite, o qual forma pacotes de vários canais com diferentes programações e conteúdos.

Os conteúdos produzidos são enviados para um satélite, propriedade de uma outra empresa, a qual aluga bandas de frequência ao distribuidor para possibilitar a comunicação.

Hoje em dia, a transmissão de informação de e para o satélite é realizada no formato digital, utilizando-se tipicamente a banda de frequências Ku (12GHz a 14GHz).

A informação é retransmitida para a Terra, onde os utilizadores a podem captar com antenas e recetores eletrónicos próprios para o efeito.

Os Componentes

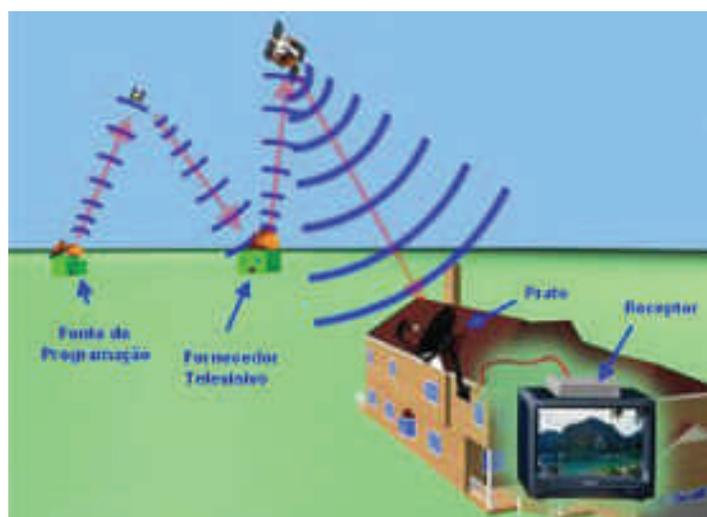


Fig. 2: Componentes de um sistema de televisão por satélite.



- Fontes de Programação

Fontes de programação são, simplesmente, os canais que fornecem programação para posterior transmissão. O fornecedor não manipula a programação desses canais, apenas paga a outras empresas o direito de transmitir via satélite os seus conteúdos.

- Distribuidor Televisivo

O distribuidor televisivo é responsável por receber sinais provenientes de diversas fontes de programação, sendo o intermediário entre estas e o cliente. Após reunir diferentes sinais televisivos, processa-os adequadamente e transmite-os para um satélite.

- Satélite

Os satélites são apenas responsáveis por receber os sinais provenientes dos fornecedores televisivos e retransmiti-los, após amplificação, para os utilizadores.

- Antenas parabólicas

O prato dos utilizadores recebe o sinal proveniente do satélite e dirige-o para o recetor localizado na casa do utilizador.

- Recetor

O recetor eletrónico processa o sinal de modo que seja possível visualizá-lo na televisão, no formato por esta utilizado.

Análise do sistema em blocos

Pretende-se, ao longo do presente capítulo, desenvolver a breve informação apresentada anteriormente acerca de cada um dos componentes que constituem o sistema de distribuição de televisão por satélite.

Efetua-se uma abordagem sistémica ao assunto, levando o leitor a «viajar» com o sinal desde a sua geração até à chegada ao destinatário.

Assim, começamos por abordar a formação do sinal de televisão por satélite, subdividindo-se este bloco de informação em duas fases que concernem, respetivamente, as fontes de conteúdo e o processamento de sinal efetuado pelo distribuidor.



Seguimos com um subcapítulo dedicado aos satélites, seu funcionamento, órbita e bandas de frequência utilizadas.

No que diz respeito ao recetor final, demonstram-se as características e princípios subjacentes à utilização de antenas parabólicas e recetores eletrónicos no sistema em estudo.

Formação do sinal de televisão satélite

Fontes de conteúdos

Para que exista televisão via satélite, são necessárias antenas parabólicas e satélites, mas mais importante do que isso, é imperativo que haja um sinal de televisão, ou seja, um canal de televisão que produza um sinal, o qual poderá ser globalmente transmitido. Fontes de conteúdos são, então, esse mesmo sinal de televisão criado por uma estação que pretende divulgar o conteúdo da sua programação para uma determinada parte do globo, ou mesmo todo.

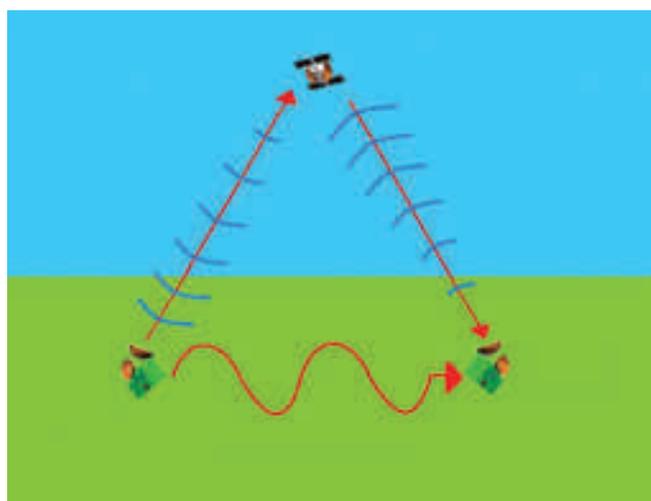


Fig. 3: Formas de transmissão do sinal de televisão, da fonte ao distribuidor.

O processo de criação do sinal prende-se com as gravações de imagem e som efetuadas pelos canais produtores de conteúdos (as verdadeiras fontes). Essa informação é geralmente difundida pelo sistema televisivo comum, ao mesmo tempo que é enviada para o distribuidor de televisão por satélite para ser processada.

Para o caso que importa aqui ser referido, o da transmissão dos conteúdos produzidos para um distribuidor, são normalmente utilizados dois meios distintos. Fontes de conteúdos regionais, localizadas próximas do distribuidor, fazem chegar a este os seus



conteúdos por fibra ótica. Produtores internacionais enviam a sua transmissão por satélite, e modo que possa ser globalmente captada por distribuidores a nível mundial.

Processamento de sinal pelo distribuidor

Conforme foi anteriormente referido, os conteúdos televisivos podem chegar ao distribuidor de duas formas distintas. O objetivo do centro de processamento de dados é parametrizar a informação recebida para que esta respeite um único padrão predefinido, quer nos níveis de áudio e vídeo, quer na codificação digital.

Assim, é natural que os sinais recebidos sejam tratados de formas distintas, uma vez que chegam em formatos distintos.

No caso da receção por satélite, chega ao *headend* (designação comum do local onde se efetua o processamento) chega um sinal na banda entre os 900Mhz e os 1800Mhz, codificado e por vezes encriptado (Nagravision e Viaccess são exemplos de tipos de encriptação). Assim, a primeira operação será a descodificação e, se necessário, a desencriptação dos dados recebidos. Tal operação provoca a separação dos sinais de vídeo e áudio, criando assim 2 sinais distintos em banda de base (na prática são 3 sinais uma vez que o sinal áudio é dividido em 2 - canais esquerdo e direito).

Caso o sinal seja recebido via fibra ótica, não é em geral utilizada nenhuma encriptação, já que o canal de comunicação é normalmente privado e incorruptível. Assim, apenas é efetuada uma desmodulação do sinal recebido e respetiva translação para banda de base, efetuando-se mais uma vez a separação de vídeo e dos dois canais de áudio.

Continuando na perspetiva do sinal, este está agora em condições de ser tratado, ou seja, podem ser-lhe serem aplicados ganhos e correções caso haja necessidade de tal operação. Na prática o que se faz nas *headends* é ter uma bancada para o teste e correção do sinal áudio e outra para o teste e correção do sinal de vídeo e proceder a ajustes relativamente a parâmetros de potência previamente estabelecidos.

A ordem seguida pelo processo conduz-nos à compressão e codificação do sinal ajustado, processo este efetuado com recurso a *hardware* especializado: codificadores MPEG-2 (Moving Pictures Experts Group). Este formato é também utilizado nos filmes em DVD atualmente no mercado. A compressão, e também a codificação em MPEG-2, assenta em 4 princípios básicos, que se enunciam de seguida:



Pré-processamento: Nesta fase, o sinal de vídeo é filtrado, sendo-lhe retiradas todas as informações visuais não essenciais cuja dificuldade de codificação não justifica a pequena perda de informação. Como essas mesmas informações não são normalmente perceptíveis ao olho humano, não existe qualquer problema em remove-las, não se perdendo qualidade de forma apreciável.

Predição temporal: Esta forma de compressão, MPEG-2, baseia-se no facto de num conjunto de *frames* de uma imagem existirem *macro-blocos*, definidos como porções da *frame* que se mantêm fixas ao longo do tempo. Codificar consecutivamente os *macro-blocos* seria redundante. Assim, o MPEG-2 opta por deixar de codificá-las, enviando apenas a informação de quais os *macro-blocos* que se repetem de *frame* para *frame*. O recetor/descodificador deve estar preparado para recolher de um *buffer* de memória a informação dos *macro-blocos* repetidos, quando essa informação deixar de ser incluída no sinal.

Compensação de movimento: Por vezes as sequências de vídeo estão altamente correlacionadas no tempo, ou seja, uma sequência num dado período é similar a *frames* precedentes e futuros. Analisando a correlação entre *frames*, o sistema pode evitar a codificação de informação supérflua.

Codificação por quantização: O último dos 4 princípios. Um algoritmo (*Discrete Cosine Transform*) transforma a diferença residual entre *frames* no domínio espacial para uma série equivalente de coeficientes no domínio da frequência, permitindo assim uma transmissão mais rápida e eficiente. A codificação por quantização consegue comprimir ainda mais esses coeficientes ao arredondá-los para o mesmo valor, dentro de certos limites.

Terminada a compressão e codificação, o sinal adquire o formato digital e, como tal, caracteriza-se por uma dada taxa de transmissão cujo valor está dependente de diversos fatores.

Segue-se a multiplexagem na frequência dos diversos canais previamente codificados.

À saída do *multiplexer*, o sinal digital tem um limite máximo de taxa de transmissão, 36Mbps, limite esse devido à gama de largura de banda disponível na comunicação com o satélite.

Atualmente, o modelo *standard* permite 18 canais multiplexados em simultâneo, embora tenham recentemente sido atingidas formas de incluir até 22 canais.



Através de um cálculo simples, verifica-se que temos uma taxa de transmissão disponível de 2Mbps por canal de entrada.

A tabela seguinte mostra a taxa de transmissão típica de cada canal, classificado por tipo de conteúdo transmitido. Uma vez que para muitos destes canais a taxa de transmissão necessária ultrapassa os 2Mbps disponíveis, verifica-se que não é possível multiplexar tantos sinais simultaneamente, o que seria um paradoxo.

Tipo de canal	Taxa de transmissão
Filmes (Qualidade VHS)	1.152 Mbits/s
Entretenimento	3.456 Mbits/s
Desporto	4.608 Mbits/s
Transmissão em 16:9	5.760 Mbits/s
Televisão de alta definição	14.00 Mbits/s

Tabela 1: Taxas de transmissão de determinados tipos de canais

O segredo está na flexibilidade do MPEG-2, que permite que os sinais tenham taxas de transmissão variáveis ao longo da emissão. Um canal de desporto, por exemplo, quando está a transmitir um jogo de futebol necessita de mais de 4Mbps para que seja perceptível o movimento dos jogadores. No entanto, na mesma altura um canal de informação poderá estar a transmitir um noticiário, caracterizado por imagens estáticas, perfeitamente codificável a taxas inferiores a 1Mbps.

Define-se então uma gama de valores limite (máximo e mínimo) de taxas de transmissão para cada canal, na qual o *multiplexer* exerce o seu controlo sobre o codificador MPEG-2 por forma que se garanta que o total dos 18 canais não excede 36Mbps.

Em geral, após este processo de compressão, codificação e multiplexagem segue-se um processo de encriptação, utilizado pelas empresas que transmitem televisão via satélite ou até pelas próprias estações de televisão, para que tenham acesso ao sinal apenas os utilizadores autorizados.

Finalmente, temos um sinal digital praticamente pronto para seguir para uma antena para ser transmitido, faltando apenas fazer chegar este sinal digital de 36Mbps/s, a um modelador para este o transformar num sinal QPSK, norma utilizada para transmitir informação para satélites.



Satélites

Aplicações Gerais dos Satélites

Dependendo da aplicação que se pretende desenvolver com um satélite, é possível elaborar a sua respetiva classificação. Desta forma, pode considerar-se que existem os seguintes tipos de satélites:

- Comunicações:
 - Comunicações fixas (FSS, *Fixed Satellite Service*)
 - Difusão (BSS, *Broadcasting Satellite Service*)
 - Comunicações móveis (MSS, *Mobile Satellite Service*)
- Navegação:
 - Posicionamento (GPS, *Global Positioning System*)
- Observação da terra e atmosfera:
 - Meteorologia
 - Detecção remota
- Militares:
 - Espionagem

Em todas estas aplicações os satélites revelam ser bastante importantes, pois a sua grande capacidade de cobertura permite atingir zonas que seriam de mais difícil acesso, caso se utilizassem meios terrestres.

Bandas de Frequência Atribuídas a Sistemas por Satélite

Para realizar comunicação via satélite são utilizados dois tipos de comunicação, o primeiro é relativo à ligação ascendente (*Uplink*), no qual a transmissão é realizada de uma central terrestre para o satélite, e o segundo é relativo à ligação descendente (*Downlink*), no qual ocorre a transmissão do satélite para uma central terrestre.

Normalmente as bandas de frequências utilizadas no percurso descendente são mais baixas do que as utilizadas no percurso ascendente. Isto acontece de modo que se reduzam possíveis interferências e porque o percurso descendente é considerado mais crítico do que o ascendente, devido às limitações de potência do satélite. O facto de



a banda de frequências do percurso ascendente ser mais elevado também permite maximizar o ganho de recepção, dado que o ruído captado pelo satélite é elevado.

Bandas de Frequência				
Serviço	Banda	Frequências	Uplink	Downlink
Fixo	C	6 / 4 GHz	5,925 - 6,425 GHz	3,700 - 4,200 GHz
	Ku	14 / 11 GHz	14,000 - 14,800 GHz	10,700 - 11,700 GHz
	Ka	30 / 20 GHz	27,500 - 31,000 GHz	18,100 - 21,200 GHz
Difusão	Ku	18 / 12 GHz	17,300 - 18,100 GHz	11,700 - 12,500 GHz
Móvel	L	1,6 GHz	Atribuições Diversas	
	S	2,5 GHz		

Tabela 2: Bandas de frequência nas comunicações por satélite

As bandas de frequência utilizadas em sistemas de comunicação por satélite situam-se nas bandas de UHF (300 MHz - 3 GHz) e SHF (3 GHz - 30 GHz).

Colocar um Satélite em Órbita

Atualmente, para colocar um satélite em órbita existem essencialmente duas tecnologias: os foguetões do tipo Ariane, utilizados pela Europa, e os veículos tripulados do tipo Space Shuttle, utilizados pelos Estados Unidos.

Para se realizar o lançamento tem-se, essencialmente, em consideração a latitude do local de lançamento, pois será este o fator que determina a inclinação da órbita de transferência e, conseqüentemente, o gasto de energia na correção da inclinação.

Tipos de Órbitas

Consoante a altura a que os satélites se encontram, e dependendo das características da órbita que descrevem, é possível definir diversos tipos de órbitas:

- GEO (*Geosynchronous Earth Orbit*): órbita circular equatorial geossíncrona
 - Período de revolução: 23h56 m4,091 s
 - Altitude média: 35 786 km

- LEO (*Low Earth Orbit*): órbita circular de baixa altitude
 - Altitude típica: 500 - 1 500 km
 - Período de revolução 1h 30m - 2h



- MEO (*Medium Earth Orbit*): órbita circular de altitude média
 - Altitude típica: 10 400 km
 - Período de revolução 6 hora
- HEO (*Highly Elliptical Orbit*): órbita elíptica
 - Órbita elíptica inclinada
 - Perigeu de baixa altitude

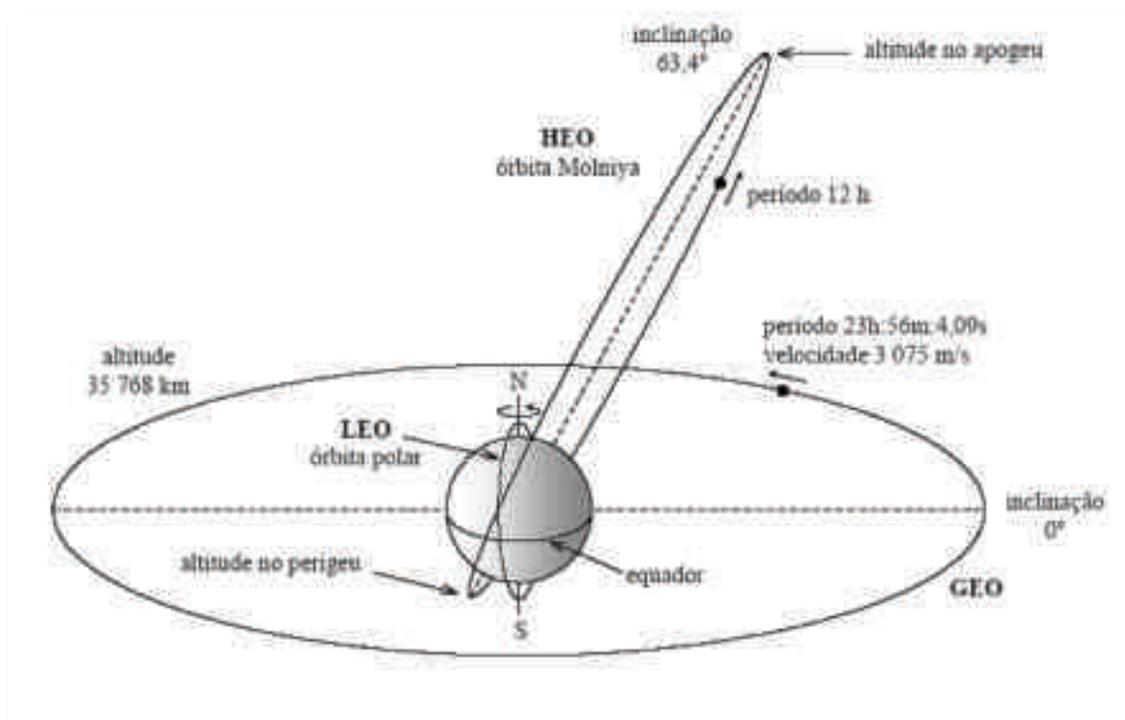


Fig. 4 - Principais órbitas de satélites

Observando as características de cada tipo de órbita, é possível definir as principais aplicações para um satélite localizado em determinada órbita:

GEO:

- Comunicações fixas
- Difusão
- Meteorologia

LEO:

- Comunicações móveis



- Rádioamadorismo
- Observação da Terra e atmosfera

MEO:

- Comunicações móveis
- Navegação

HEO:

- Comunicações fixas

Comparação entre os tipos de órbita mais importantes:				
Características	Tipo de órbita			
	GEO	LEO	MEO	HEO
cobertura terrestre assegurada por cada satélite	1/2 - 1/3 da Terra, polos não cobertos	global	global	1/2 - 1/3 da Terra
tempo útil de passagem de cada satélite	ilimitado	10 - 15 min	2 horas	8 horas
necessidade de constelação para cobertura local permanente	não	7-8 satélites	7-10 satélites	3 satélites
perdas em espaço livre (distância terra-satélite)	elevarias	reduzidas	médias	elevadas
atraso propagação (ida e retorno)	250 ms	5 - 7 ms (750 km) 10-25 ms (1.500 km)	70 - 100 ms	150-300 ms
efeito Doppler (velocidade radial)	muito reduzido	médio	médio	elevado
elevação do satélite no ponto de recepção	grande, junto do equador	variável com passagem do satélite	variável com passagem do satélite	grande em latitudes intermediárias
seguimento de satélite	geralmente não necessário	indispensável, excepto com antenas de feixe largo	indispensável, excepto com antenas de feixe largo	necessário, mas pouco complexo

Tabela 3: Comparação entre os vários tipos de órbitas

Técnicas de Acesso Múltiplo

Existem três técnicas para que diversas estações possam comunicar simultaneamente com o mesmo satélite:

- Acesso Múltiplo por Divisão na Frequência (FDMA)

Neste tipo de acesso, é possível que todas as estações usem o satélite simultaneamente, mas cada uma utiliza uma banda de frequências diferente. Este tipo de acesso é normalmente utilizado em transmissão analógica.



- Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo (TDMA)

Neste tipo de acesso, apenas é permitido às estações transmitir uma de cada vez numa dada gama de frequência, utilizando os *slots* temporais que lhe foram atribuídos. Este tipo de acesso é normalmente utilizado em transmissão digital.

- Acesso Múltiplo por Divisão no Código (CDMA)

Neste tipo de acesso, é possível que várias estações transmitam simultaneamente na mesma frequência sinais dispersos pelo espectro, codificando os sinais ortogonalmente. Para se recuperar um dado sinal é necessário ter conhecimento do código que foi utilizado para dispersar o sinal no espectro.



Antenas Parabólicas

Introdução

Constituição das antenas parabólicas

As antenas parabólicas são o dispositivo destinado a lidar diretamente com a radiação eletromagnética utilizada pelo sistema. Consoante um determinado conjunto de fatores, estas podem funcionar como emissoras ou recetoras, mas não é comum que ambas as funções sejam efetuadas pela mesma antena, simultaneamente. A figura abaixo proporciona uma melhor compreensão da estrutura e componentes da antena parabólica.

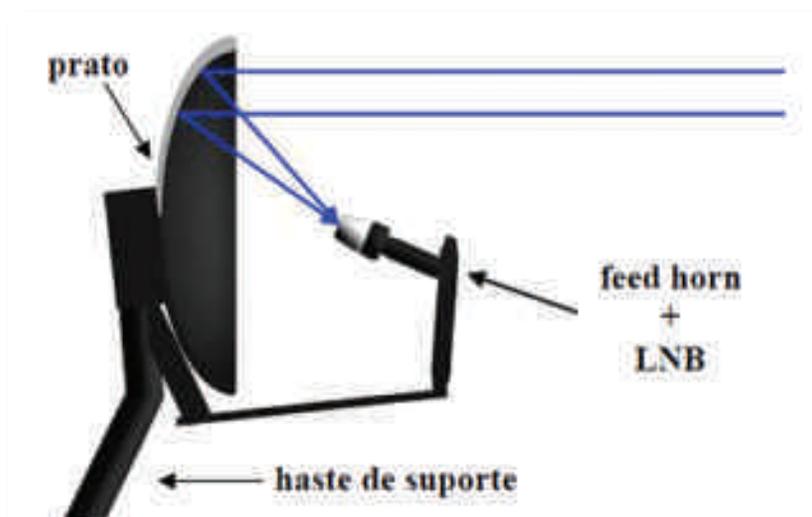


Fig. 5 – Estrutura de uma antena parabólica.

O prato

O prato é um componente passivo do sistema, simplesmente destinado a refletir as ondas que nele incidem. Para que essa reflexão se faça de forma eficiente, a forma e constituição do prato obedecem a determinados parâmetros.

A forma do prato é a de uma parábola tridimensional. As propriedades da curva parabólica permitem refletir maior potência de radiação para um ponto comum (o *feed horn*) do que qualquer outro tipo de curva conhecida, daí que seja a mais utilizada.

Tipicamente, para que a reflexão seja possível, o prato tem uma camada metálica incrustada no plástico exterior. Os materiais mais vulgares são o aço e o alumínio, e ditam geralmente o preço da antena, consoante o seu tamanho.



De salientar que existem antenas cujo prato é constituído por várias pétalas que são juntas no local de montagem. Neste tipo de pratos, cuidados reforçados são necessários para garantir que a superfície total fica realmente parabólica no final.

O *feed horn*

O *feed horn*, é o dispositivo destinado a captar o sinal eletromagnético, funcionando assim como a verdadeira antena do sistema. A utilização do *feed horn* possibilita, essencialmente, o cumprimento de dois requisitos:

- A sua forma e constituição permitem «agrupar» a radiação refletida pelo prato num feixe mais condensado, conferindo assim maior potência ao sinal recebido.
- Formar um primeiro nível de filtragem de ruído, contribuindo para uma melhoria da relação sinal-ruído logo desde a entrada do sinal no sistema.

À saída do *feed horn* o sinal é passado para um pequeno guia de ondas metálico, que o transmite para o LNB.

O LNB

O LNB - *Low Noise Block-downconverter* (conversor-abaixador de banda de frequência, de baixo ruído) é o principal componente eletrónico desta fase do sistema. O seu nome deve-se ao facto de converter uma banda contínua de alta frequência numa banda de frequências mais baixa, passível de ser transportada por cabo coaxial.

O LNB utiliza um Oscilador local de alta frequência, tipicamente à volta dos 10GHz, mas que varia consoante a banda que se pretende captar. Ao pretender receber um sinal na banda Ku nas frequências 10.7GHz a 11.7GHz por exemplo, o oscilador local é colocado a funcionar a 9.75GHz, sendo este valor subtraído à banda recebida. Obtém-se assim um sinal de saída na banda 950 a 1950MHz.

O LNB efetua depois uma filtragem de todo o espectro exterior à banda desejada, e proporciona ao sistema um primeiro estágio de amplificação de baixo ruído do sinal recebido. A amplificação de baixo ruído é crucial, uma vez que nesta fase o ruído do sistema é da ordem de grandeza do sinal captado. Os LNB's atuais utilizam Arseneto de Gálio (GaAs) e tecnologia HEMT (*High Electron Mobility Transistor*) para possibilitar elevada amplificação com o mínimo ruído.



É ainda possível comandar o LNB para captar uma determinada banda de frequências em polarização horizontal ou vertical. Este comando é efetuado pelo recetor, mediante o envio de um valor de tensão específico para o LNB, 13V ou 17V tensão dc.

Posicionamento das antenas parabólicas

Tal como foi inicialmente referido, o funcionamento deste tipo de sistemas envolve linha de vista direta entre emissores e recetores. Este é, naturalmente, o facto que motiva a colocação de antenas parabólicas em zonas exteriores de edifícios, geralmente elevadas em relação à área circundante - tipicamente telhados de edifícios, chaminés ou torres próprias para o efeito.

A orientação da antena é, no entanto, um aspeto mais preocupante. Enquanto que a sua colocação em locais altos e de linha de vista desimpedida é relativamente óbvia, a região do espaço para a qual uma determinada antena deve ser direccionada para que receba informação específica é uma matéria digna de atenção. A figura que se segue procura ilustrar os dois graus de liberdade de uma antena parabólica.



Fig. 6 – Graus de liberdade de uma antena parabólica.

A posição de um satélite em relação à Terra é descrita pela sua altitude e longitude. Com base nestes dados, é possível determinar o ângulo de fogo (dependente da elevação e da diferença entre a longitude do satélite e do local de instalação da antena) e o azimute (que depende da longitude do local de instalação), que a antena deve respeitar. Uma vez que para satélites geostacionários a altitude é fixa, é a diferença entre longitudes que determina a inclinação. A figura seguinte pretende dar um exemplo da cobertura de um satélite.





Fig. 7: Cobertura do satélite Indostar 2 em 107.7°E

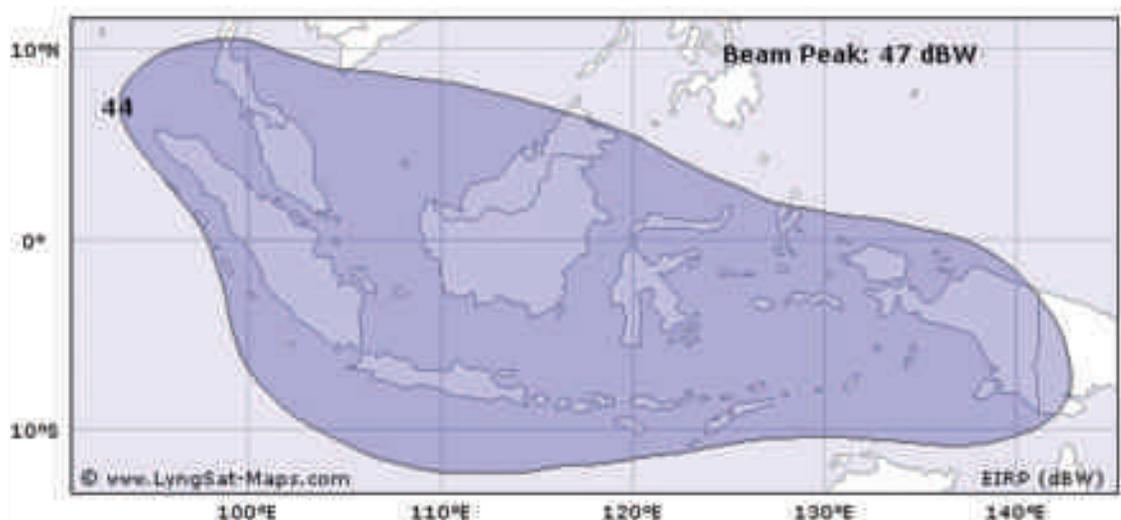


Fig. 8: Cobertura máxima do satélite Indostar 2 em 107.7°E

Recetores de sinal

Funcionalidades e objetivos

Todos os sistemas de televisão por satélite terminam num recetor. Existem diversos tipos deste equipamento, com funcionalidades e aplicações diversas, mas a principal distinção a fazer é entre sistemas analógicos e digitais. Pela distinção efetuada é óbvio compreender que recetores analógicos são capazes de efetuar somente desmodulação analógica, e recetores puramente digitais apenas conseguem desmodular transmissões digitais. Existem, no entanto, recetores simultaneamente analógicos e digitais, capazes de lidar com os dois tipos de sinais. Deve ser feita também uma distinção entre recetores



e recetores/desencriptadores (IRD – *integrated receiver/descrambler*). Os primeiros simplesmente desmodulam o sinal recebido, já os sistemas recetor/ desencriptador incluem capacidade para recuperar sinais encriptados, quer os analógicos, quer os digitais.



Fig. 9: Recetor satélite.

Assim, as funcionalidades dos recetores concentram-se em:

- Receção eletrónica do sinal – desmodulação.
- Separação (desmultiplexagem) do tipo de informação contida no sinal (bandas de áudio/vídeo e sinais de controlo) e respetivo encaminhamento.
- Desencriptação dos conteúdos permitidos (nos IRD's).
- Decodificação de todo o conteúdo recebido (descompressão).
- Adaptação dos sinais à representação no formato de televisão local.

A descrição mais detalhada de cada funcionalidade é feita na secção seguinte e acompanhada da descrição por blocos de um sistema recetor.

Descrição por blocos operacionais

Nesta secção, procura-se ilustrar de uma forma superficial os blocos eletrónicos constituintes de um sistema recetor de sinais de televisão por satélite. A exemplificação é feita para um sistema IRD, uma vez que é mais completo, possibilitando assim a explicação que também abrange os sistemas recetores puros.



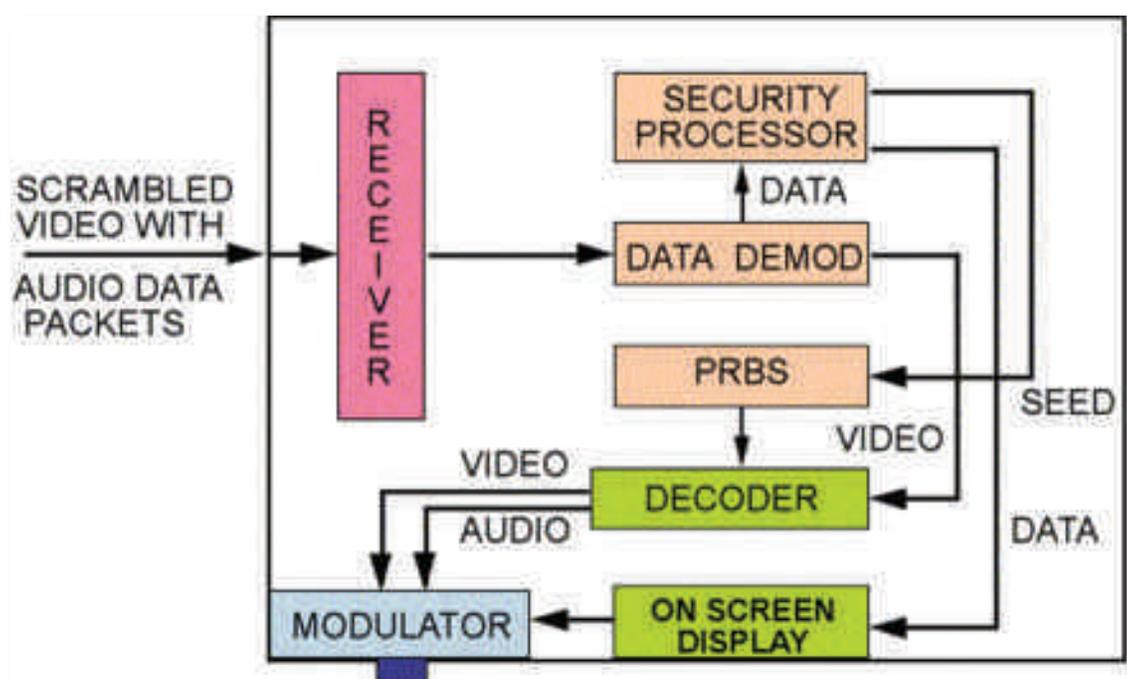


Fig. 10: Esquema de blocos de um recetor.

Bloco de receção

Nesta primeira fase, o sinal é recebido eletronicamente, passando por filtros passa banda sintonizados para o canal pretendido, amplificadores de baixo ruído e desmoduladores próprios para o tipo de sinal que se pretende receber.

Bloco de desmultiplexagem

Este subsistema destina-se a separar as componentes dos sinais desmodulados (sinais de vídeo/áudio e controlo) e a enviá-los para o bloco respetivo.

Bloco de segurança

Este bloco consiste num processador de segurança, ao qual são entregues os sinais de controlo do sistema, e que vai efetuar o processamento necessário, a fim de determinar quais os conjuntos de serviços (tipicamente um pacote de canais) a que o acesso está autorizado.

Módulo de permissão de acesso

Esta secção recebe do processador de segurança a informação dos canais cuja visualização é permitida. Nesta secção, está o CAM – *Conditional Access Module*, que é



um dispositivo destinado a trocar informação com um cartão eletrónico (*smart card*) que o utilizador coloca no recetor. Este cartão tem um formato único para cada distribuidor de serviços de televisão por satélite e inclui chaves próprias e algoritmos de descriptação exclusivos. Sistemas de encriptação comuns são, por exemplo, *Nagravision*, *SmartCrypt*, *Syster*, ou *VideoCrypt*. O cartão é personalizado (um por utilizador), com a atribuição de um número de identificação específico. Quando o processador de segurança recebe sinais do operador, atribuindo autorização ao cartão respetivo para desbloqueio de determinados canais, o cartão e o CAM trocam a informação necessária para que se descripte o sinal.

Bloco descodificador

Este bloco não deve ser confundido com o anterior, apesar do nome assim o sugerir. Descodificação, nestes sistemas digitais, refere-se ao processo de recuperar um sinal codificado com técnicas de compressão (tipicamente MPEG-2) utilizadas para maximizar o número de canais passíveis de transmitir numa largura de banda limitada. A descodificação não emprega algoritmos ou chaves secretas, nem necessita de identificação/autorização prévia. É, simplesmente, necessário que o equipamento tenha o *hardware/software* necessário para descomprimir o *stream* de dados que recebe.

Bloco modulador

Esta última secção do recetor é a interface com o sistema de televisão local, e visa adaptar a informação de áudio e vídeo ao formato próprio de exibição do sistema televisivo a ser utilizado (PAL, NTSC, SECAM, etc.).

Adaptação aos sistemas televisivos locais

A diversidade de sistemas de difusão de sinais televisivos, bem como de interfaces possíveis, justifica plenamente que aqui se aborde o tema em mais pormenor. Se bem que ainda atualmente o sistema mais utilizado seja o da modulação da informação para as bandas típicas de difusão analógica (VHF/UHF) e o respetivo envio por cabo coaxial para a entrada de antena do recetor de televisão local, outros formatos começam a conquistar espaço próprio.



Nos últimos anos, tem-se assistido à expansão de um novo tipo de interface – a ligação SCART, que não requer modulação para bandas de alta frequência, uma vez que efetua transmissão digital em banda de base.

Também conexões como a S-Video ou o chamado Vídeo por componentes, começam a crescer, impulsionados pelos sistemas de cinema em casa.

De referir também que, além de ser responsável pela interface de *hardware* com a televisão, o recetor satélite é também responsável pelo envio de sinais compatíveis com as normas locais, PAL, SECAM ou NTSC, no caso da transmissão em VHF/UHF.



A Norma Internacional DVB-S

Introdução

O Sistema DVB-S, *Digital Video Broadcasting – Satellite*, estipula as normas pelas quais se regem os sistemas de distribuição de televisão digital por satélite.

Contrariamente ao que acontece com a grande maioria dos sistemas tecnológicos existentes, a norma DVB-S é mundialmente utilizada neste campo das telecomunicações. O facto de se tratar de um desenvolvimento recente (entrou em vigor em finais da década de 1990), aliado ao seu indiscutível carácter globalizante, terão certamente contribuído para esta unificação.

A norma define um conjunto de equipamentos e modos de utilização dos mesmos, de modo que se possibilite a comunicação global. Esses parâmetros característicos serão mais detalhadamente descritos na secção seguinte deste capítulo.

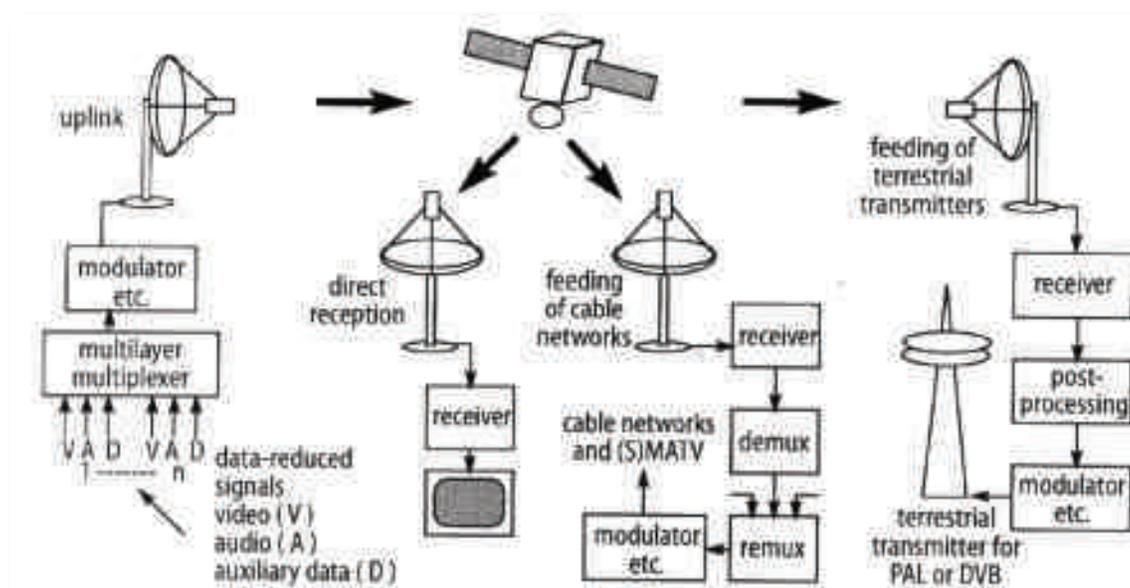


Fig. 11: Esquema geral da distribuição com DVB-S.

Composição do sistema DVB-S

A norma DVB-S cobre o funcionamento dos transpositores (*transponders*) que trabalham com larguras de banda entre 26 MHz e 72 MHz. A base de transmissão é uma única portadora que permite a modulação de vários canais de vídeo e áudio multiplexados no tempo.



O sistema DVB-S é uma arquitetura em camadas, sendo a camada de nível mais elevado o fluxo de bits correspondente aos dados a ser enviados (vídeo, áudio e dados de sincronização para o decodificador), que para o efeito são agrupados em pacotes de 188 bytes, já depois de a informação ter sido comprimida pelo codificador MPEG-2.

O sistema especifica também as taxas de compressão/transmissão possíveis para o codificador MPEG-2 operar, que variam tipicamente entre 1Mbps e 5Mbps por canal, com possibilidade de serem automaticamente ajustadas aos conteúdos transmitidos e poderem ser alteradas sem interrupção da transmissão.

Na camada seguinte, são adicionados 12% de bits de redundância no primeiro estágio de *forward error correction*, o código de *Reed-Solomon*, após o que é aplicado ao fluxo de dados um processo de reordenação de bits destinado a reduzir o impacto de rajadas de erros causadas por interferências ou fenómenos de *fading*. Este processo é, em inglês, designado de *convolutional interleaving*.

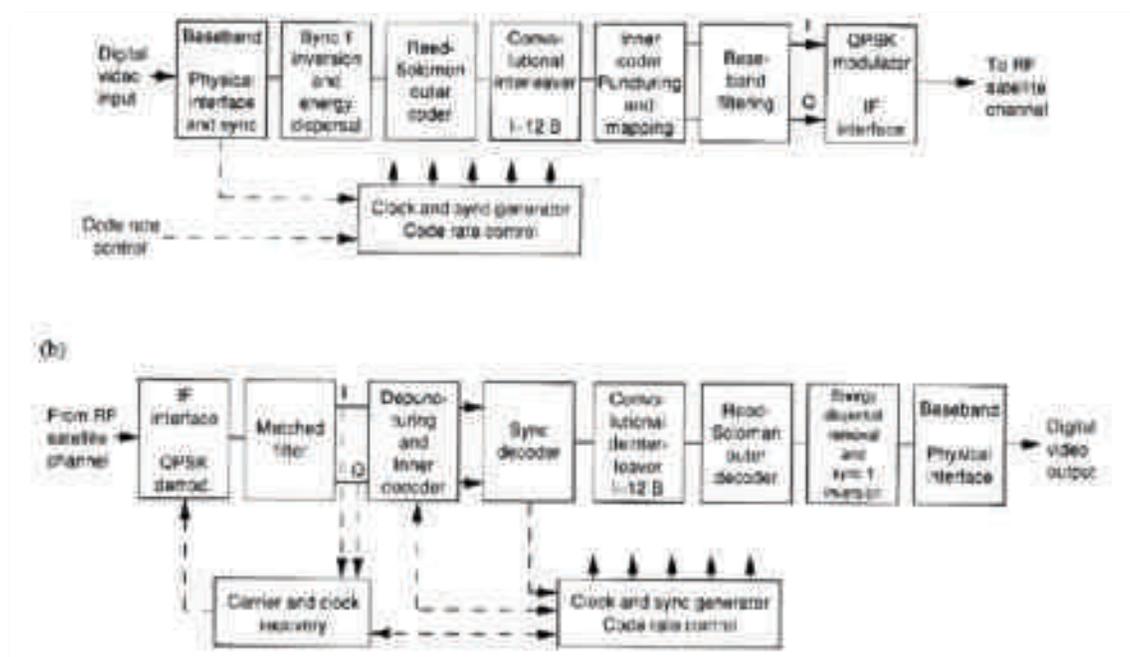


Fig. 12: Esquema ilustrativo do sistema DVB-S.

O passo seguinte é a aplicação de um código convolucional interior que acrescenta bits extra. A quantidade de bits adicionados nesta fase especifica a taxa de codificação do sistema, R , que pode tomar os valores $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, e $7/8$. Esta taxa pode ser dinamicamente ajustada consoante a variação das condições da ligação (chuva, potências de emissão/receção, etc.) para que garanta uma probabilidade de erro de bit



BER = 2×10^{-4} , que possibilite manter o sistema operacional em 99.7%, 99.9% ou 99.99% do tempo (critérios tipicamente utilizados).

A última etapa do sistema corresponde à camada física de modulação. A técnica utilizada é a modulação digital QPSK. Esta técnica possibilita a transmissão de dois bits por símbolo, duplicando a eficiência espectral.

A sequência de dados é dividida em parte real e parte imaginária por meio de desmultiplexagem, conforme ilustra a figura seguinte. Cada uma destas sequências é multiplicada pela portadora respectiva, estando estas desfasadas de 90° entre si. As duas sequências resultantes são somadas, produzindo o sinal modulado. O processo completo é executado pelo modulador de QPSK cujo esquema genérico consta da figura 3.4, bem como os gráficos temporais das formas de onda ilustrativas.

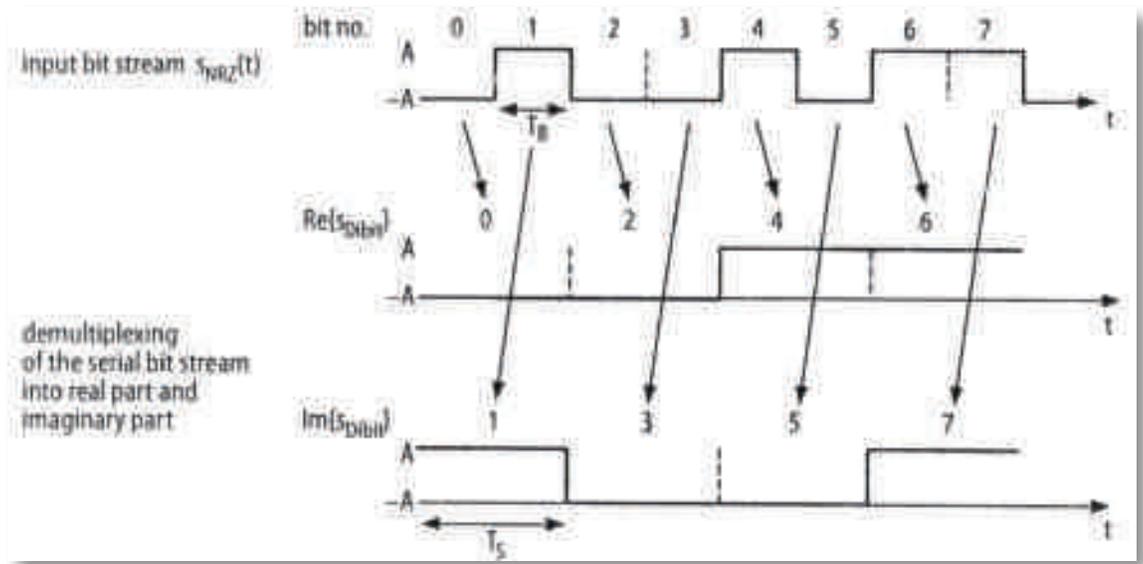


Fig. 13: Desmultiplexagem

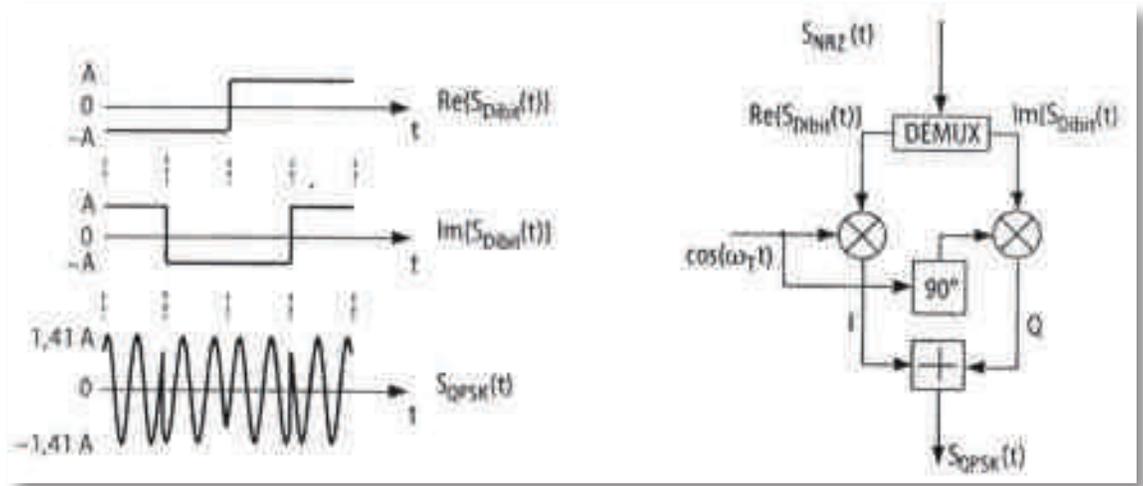


Fig. 14: Modulador de QPSK



A Televisão Via Satélite – Conclusões e previsões futuras

Tal como em todos os restantes ramos das Telecomunicações, bem como da Engenharia Eletrotécnica em geral, a constante evolução tecnológica dos materiais e técnicas de fabrico tem vindo a ditar a possibilidade física de construir equipamentos cada vez mais rápidos, versáteis e diminutos.

Este fator tecnológico é, aliado ao espírito inventivo humano, o grande propulsor do desenvolvimento.

No campo da televisão via satélite têm-se assistido, ao longo das últimas décadas, a inovações tremendas relativamente à técnica e também aos conteúdos e tipos de serviços disponibilizados. Senão, vejamos:

- No início da década de 60, os satélites de comunicações típicos tinham tempos de vida de cerca de ano e meio, pesos da ordem das dezenas de kg, potências de dezenas de Watts e capacidade para cerca de 200 canais telefónicos ou 2 canais de TV.
- No virar do milénio, os satélites lançados estão já com tempos de vida previstos para 10 a 15 anos, pesando duas toneladas, com potências instaladas da casa dos 10kW e capacidade para milhares de canais telefónicos e centenas de canais de televisão.
- Só no período de 1980 a 2000 foram lançados com sucesso cerca de 2490 satélites, estando atualmente em funcionamento aproximadamente 600.
- O sistema de comunicações por satélite evoluiu desde as chamadas telefónicas básicas no início, começando a prestar serviços de observação meteorológica (1959) e de difusão de TV (1962), passando para a receção individual de televisão (satélite ATS 6 – 1974) e estando atualmente a desenvolver serviços de localização (GPS), comunicações telefónicas móveis pessoais, observação terrestre e espionagem militar.

A previsão mais natural é a de que este tipo de evolução tenderá a continuar.

Em termos tecnológicos teremos cada vez satélites mais pesados, mais potentes e com processamento de sinal mais rápido (maiores larguras de banda), já que cada vez mais será comercial e tecnologicamente viável a produção de circuitos com integração de alta densidade (assim a Lei de Moore se continue a verificar).



Sendo um dos componentes fundamentais da norma DVB-S o processo de codificação/compressão de sinal, e estando esta área em crescente de evolução, é também natural a evolução de conteúdos e serviços. A norma atualmente em uso, MPEG-2, foi criada com o propósito de obter forte compressão do sinal e possibilitar o tratamento de um maior número de canais, dentro de uma banda limitada. Na tentativa de aumentar a compressão, na década de 90 foi desenvolvida a norma MPEG-4. No entanto, ao utilizar uma estratégia de compressão por análise semântica dos objetos que constituem a imagem, abriu-se caminho à interatividade do utilizador com os conteúdos visionados. Atualmente, está disponível a norma MPEG-4 AVC, que possibilita a mesma interatividade conseguindo ganhos de compressão significativos relativamente à anterior.

As previsões de serviços apontam para uma estagnação do desenvolvimento de normas codificadoras, dado que as atuais apresentam elevados padrões de funcionalidade.

É, no entanto, previsível um elevado desenvolvimento dos conteúdos disponíveis para estas novas técnicas durante as próximas décadas, dada a maior receptividade das gerações atuais para os conteúdos interativos, serviços estes que permitirão, num futuro não muito distante, a verificação do utópico desejo, *anytime, anywhere*.



Sistemas coletivos de antenas de TV

Introdução

O sistema de antenas coletivas é utilizado atualmente em quase todos os edifícios onde se faz a necessária recepção e distribuição de sinais de TV normais, possibilitando ainda a transmissão de canais adicionais (através do uso de moduladores de vídeo e áudio) tais como circuito interno de TV (segurança), canais especiais recebidos via satélite ou mesmo canais por assinatura. Com o sistema de TV coletiva consegue-se uma melhor e mais estável qualidade de recepção, maior confiabilidade em relação às antenas de televisão internas e um menor custo global do sistema.

Antes de instalar um sistema de antena coletiva, deve observar-se o seguinte:

- Quais os canais recebidos no local e condições dos mesmos;
- Se há canais interferidos;
- Se há canais adjacentes;
- Qual a intensidade de cada canal.

Na maioria das vezes é necessário que se use mais do que um tipo de antena ou mesmo o uso de antenas mono canais (devido à sua diretividade e melhor ganho), já que os transmissores se encontram em locais diferentes, além disso, o uso de várias antenas facilita a equalização dos sinais.

No caso de haver canais em UHF e de o sistema coletivo ser muito grande, recomendamos a utilização de conversores de UHF para VHF, já que as perdas em alta frequência (UHF) são muito grandes e a utilização de muitos amplificadores se torna cara.

Na figura abaixo temos um exemplo do cabeçal de um sistema de antena coletiva. Podemos observar a utilização de um misturador WM - 8C que tem a função de misturar os diversos canais recebidos pelas antenas e os canais gerados pelos moduladores de áudio e vídeo. O misturador, além de somar os canais, pode equalizá-los deixando-os com a mesma intensidade de sinal.

Depois do misturador/equalizador WM - 8C, os canais serão amplificados e divididos de acordo com cada projeto.



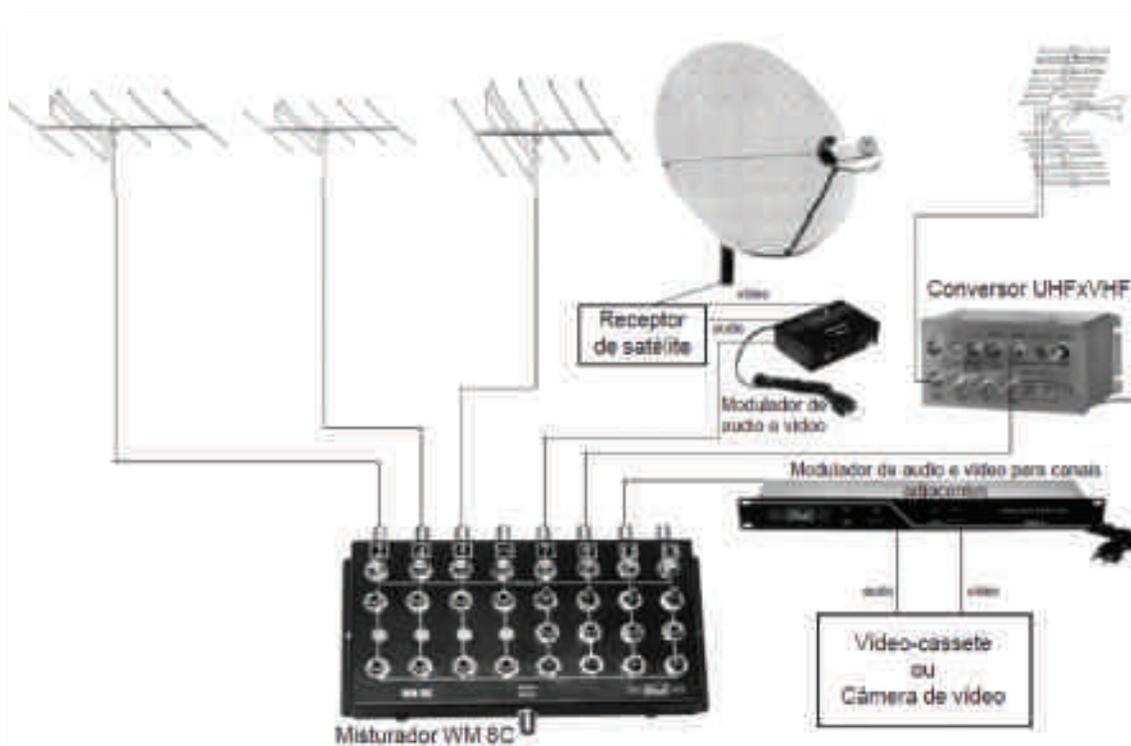


Fig. 15: Exemplo de um misturador

Sinal mínimo standard

Em conformidade com a qualidade e enfraquecimento do sinal devido ao uso dos aparelhos de TV, alguns necessitam de mais sinal para obter imagem e som perfeitos, outros, com sinais menores, funcionam perfeitamente.

Em sistemas de antenas coletivas há um Padrão de Sinal Mínimo Standard de 1000 microvolts (1 milivolt) por canal, referindo-se ao cabo coaxial de 75 Ohms. Em linha com impedância de 300 Ohms e na entrada dos aparelhos de TV esse mesmo sinal será amplificado para 2000 microvolts (2 milivolts).

Em sistema de antenas coletivas são implementados com cabos coaxiais e componentes de 75 ohms, todos os cálculos serão baseados em 1000 microvolts (1 milivolt) como referência. Portanto 1000 microvolts, ou 1 milivolt, em 75 ohms, é o ponto de partida para todos os cálculos e corresponde a 0 (zero) dbmV. Referindo-se ao sinal mínimo para os TV's, recomendamos valores de sinal nas tomadas de TV entre 10 e 20 dBmV, dependendo do local onde estiver o sistema devido ao sinal ambiente ser muito alto.



O decibel (dB)

O decibel não tem valor absoluto, usa-se em inúmeros cálculos que em eletrônica e é baseado em logaritmos.

Em sistemas de antenas coletivas, usa-se de dois modos:

- Para calcular ganhos e perdas de tensão, por exemplo: um sinal de 2000 microvolts com ganho de 6 db corresponde ao dobro de voltagem (4000 microvolts), o mesmo sinal com 6 db de atenuação (perda) ficará com metade (1000 microvolts). Demos como exemplo 2000 microvolts, mas poderá ser qualquer outro valor
- Para tomar como base uma tensão fixa. No nosso caso o valor fixo é 1000 microvolts (1milivolt) em 75 ohms, portanto 1 milivolt é igual a 0 (zero) dbmV, que corresponde ao Padrão-Sinal Mínimo Standard, o qual já citamos.

A grande vantagem no uso do decibel é que podemos adicionar ganhos ou subtrair atenuações (perdas) em conformidade com as especificações técnicas dos amplificadores, componentes, cabos, etc.

Como equalizar os vários canais de TV

No exemplo que demos anteriormente, temos de ter todos os canais com o mesmo nível na saída do misturador WM-8C. Com o auxílio de um medidor de campo colocado na saída do misturador podemos equalizar todos os canais no mesmo nível. Caso falte o medidor de campo, podemos tentar equalizar os canais da seguinte forma:

Ligamos a saída do misturador a um atenuador variável (por exemplo um WAV ou um atenuador descrito a seguir) que será ligado a um televisor comum por meio de cabos coaxiais de 75 Ohms. Sintonizamos a TV no canal mais fraco e através das chaves do atenuador observamos a posição onde a TV aparece com grão (chuviscos). Normalmente, nos aparelhos de TV começam a aparecer chuviscos com um sinal de -10 dBmv ou menos. Temos de ter todos os outros canais no mesmo nível ou seja, devem estar a começar a aparecer chuviscos com o atenuador na mesma posição. Caso esses canais estejam limpos (ainda sem chuviscos), devemos atenuá-los diretamente no misturado através do potenciômetro. Dessa forma, sabemos que todos os canais estão com o mesmo nível de sinal.



Formulário

$$U = R \times I$$

U tensão em Volts

R resistência em Ohms

I corrente em Amperes

$$P = \frac{U^2}{R}$$

P potência em Watts

Conversões Logarítmicas:

Em Potência

Em Tensão

$$\text{dB} = 10 \log P$$

$$\text{dB} = 20 \log U$$

Exemplos:	0 dBm = 1mW	0 dBmV = 1mV
	10 dBm = 10mW	10 dBmV = 3,1623mV
	20 dBm = 100mW	20 dBmV = 10mV
	-10 dBm = 0,1mW	-20 dBmV = 0,1mV

Para conversão de dBm para dBmV temos que saber o valor da carga (R):

para 50 Ohms

para 75 Ohms

$$0 \text{ dBm} = 47 \text{ dBmV}$$

$$0 \text{ dBm} = 48,75 \text{ dBmV}$$

Demonstração:

$$0 \text{ dBm} = 1\text{mW} = 0,001\text{W}$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad 0,001 = \frac{U^2}{50} \quad 0,001 = \frac{U^2}{75}$$

$$U = 0,2236\text{V} = 223,6\text{mV}$$

$$U = 0,2739\text{V} = 273,9\text{mV}$$

$$223,6\text{mV} = 47 \text{ dBmV}$$

$$273,9\text{mV} = 48,75 \text{ dBmV}$$



Para conversão de dBV para dBmV para dB μ V basta somar 60 sucessivamente:

$$0 \text{ dBV} = 60 \text{ dBmV} = 120 \text{ dB}\mu\text{V}$$

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Potência		Tensão em carga de 50 Ohms			Tensão em carga de 75 Ohms		
2	dBm	mW	dB μ V	dBmV	mV	dB μ V	dBmV	mV
3	-70	1E-07	37	-23	0.070795	38.75	-21.25	0.086596
4	-60	0.000001	47	-13	0.223872	48.75	-11.25	0.273842
5	-50	0.00001	57	-3	0.707946	58.75	-1.25	0.865964
6	-48.75	1.33E-05	58.25	-1.75	0.817523	60	0	1
7	-47	2E-05	60	0	1	61.75	1.75	1.223207
8	-40	0.0001	67	7	2.238721	68.75	8.75	2.73842
9	-30	0.001	77	17	7.079458	78.75	18.75	8.659643
10	-20	0.01	87	27	22.38721	88.75	28.75	27.3842
11	-10	0.1	97	37	70.79458	98.75	38.75	86.59643
12	0	1	107	47	223.8721	108.75	48.75	273.842
13	10	10	117	57	707.9458	118.75	58.75	865.9643
14	20	100	127	67	2238.721	128.75	68.75	2738.42
15	30	1000	137	77	7079.458	138.75	78.75	8659.643
16	40	10000	147	87	22387.21	148.75	88.75	27384.2
17	50	100000	157	97	70794.58	158.75	98.75	86596.43
18	60	1000000	167	107	223872.1	168.75	108.75	273842
19	70	10000000	177	117	707945.8	178.75	118.75	865964.3

Tabela 4: Cálculo em decibéis

Colocação dos conectores macho tipo F em cabos coaxiais RG-59-U

Corta-se a capa plástica externa em aproximadamente 15 mm, tendo o cuidado de não danificar a malha.

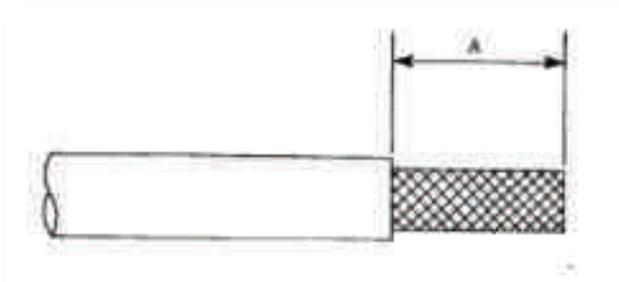


Fig. 16: Demonstração de aplicação de fichas F em Cabo coaxial RG-59-U

Corta-se a malha de cobre deixando um pequeno pedaço ($\pm 1,5\text{mm}$) que será virado para fora. Corta-se o material isolante, deixando $\pm 4\text{mm}$ e o fio de cobre com $\pm 6\text{mm}$.



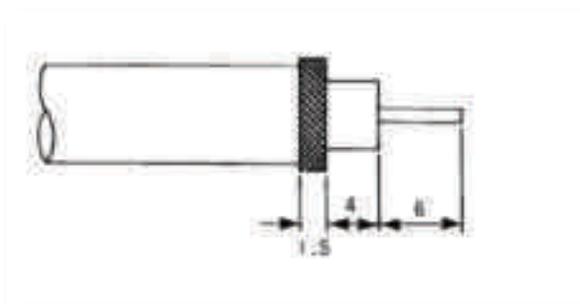


Fig. 17: Demonstração de aplicação de fichas F em Cabo coaxial RG-59-U

Coloca-se, primeiramente, o anel de fixação e depois o conector, fazendo pressão até que a ponta do fio de cobre ultrapasse $\pm 1\text{mm}$ o conector. Empurra-se o anel rente ao conector.

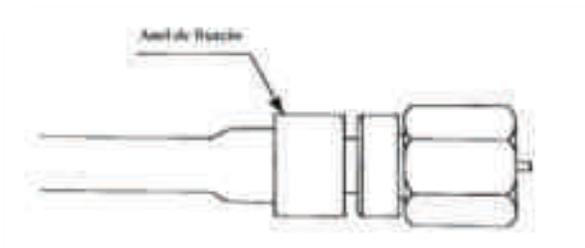


Fig. 18: Demonstração de aplicação de fichas F em Cabo coaxial RG-59-U

Aperta-se o anel de fixação com o auxílio de um alicate, o suficiente para segurar o cabo contra o conector. Se necessário, corta-se o fio de cobre deixando $\pm 1\text{mm}$ para fora do conector.

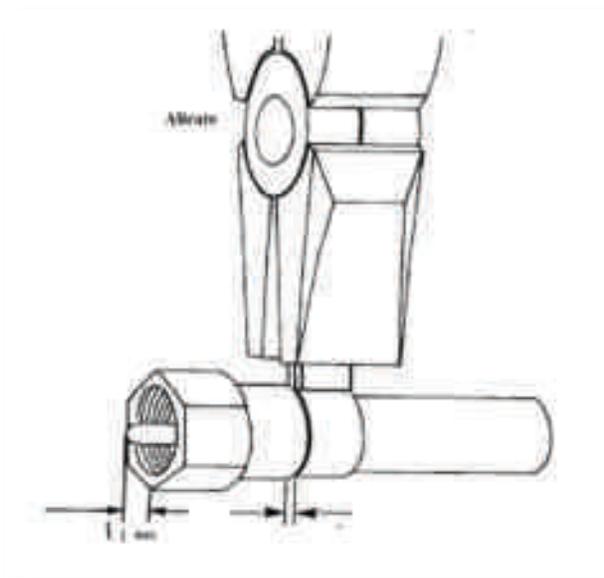


Fig. 19: Demonstração de aplicação de fichas F em Cabo coaxial RG-59-U



Planeamento de um Sistema Coletivo

Para facilitar a explicação, vamos dar um exemplo prático.

Montar um sistema de distribuição de antenas coletivas num prédio de doze andares, com oito apartamentos por andar. Deverá ser feito com oito descidas de cabo coaxial RGC 59. Cada andar tem 3,2 metros de altura.

Essa distribuição pode ser vista na figura seguinte.

Considerando que cada aparelho de TV ou FM necessita de um sinal mínimo de 1 milivolt em 75 Ohms (0 dBmV), devemos calcular a perda entre a saída do amplificador até ao ponto onde deverá ser instalado o aparelho de TV ou FM, referindo-se a prumada de máxima perda.

Devemos fazer os cálculos de perdas em cabos para o canal mais alto (canal 13 - 216 Mhz). Partindo da saída do amplificador até à última tomada (ver a linha em negrito na figura), temos:

COMPONENTE	PERDA
1 Divisor de 2 modelo WDI/2-75	3,5 dB
1 Divisor de 4 modelo WDI/4-75	6,5 dB
2 Tomadas de 20 dB WT-75	2 x 0,5 dB (perda na passagem)
4 Tomadas de 16 dB WT-75	4 x 0,5 dB (perda na passagem)
2 Tomadas de 12 dB WT-75	2 x 1,2 dB (perda na passagem)
3 Tomadas de 9 dB WT-75	3 x 1,8 dB (perda na passagem)
1 Tomada de 6 dB WT-75	6,0 dB (perda da tomada)
43,2 Metros de cabo RGC59	5,0 dB (11,4 dB para cada 100 metros)

PERDA total = 31,8 dB podemos aproximar para 32 dB (por tolerância)

Procurando nas especificações técnicas dos amplificadores, temos que o amplificador de WCATV 34 tem um ganho de 34 dB, podendo fornecer até 60 dBmV para 12 canais.

Com um medidor de campo na saída do misturador WM - 8C podemos equalizar os níveis de cada canal, de modo que todos fiquem com o mesmo nível, por exemplo 10 dBmV. Na saída do amplificador teremos, portanto, 44 dBmV (10 + 34), como a perda



total é de 32 dB, teremos um sinal de 12 dBmV na última tomada, que é um bom nível para a TV.

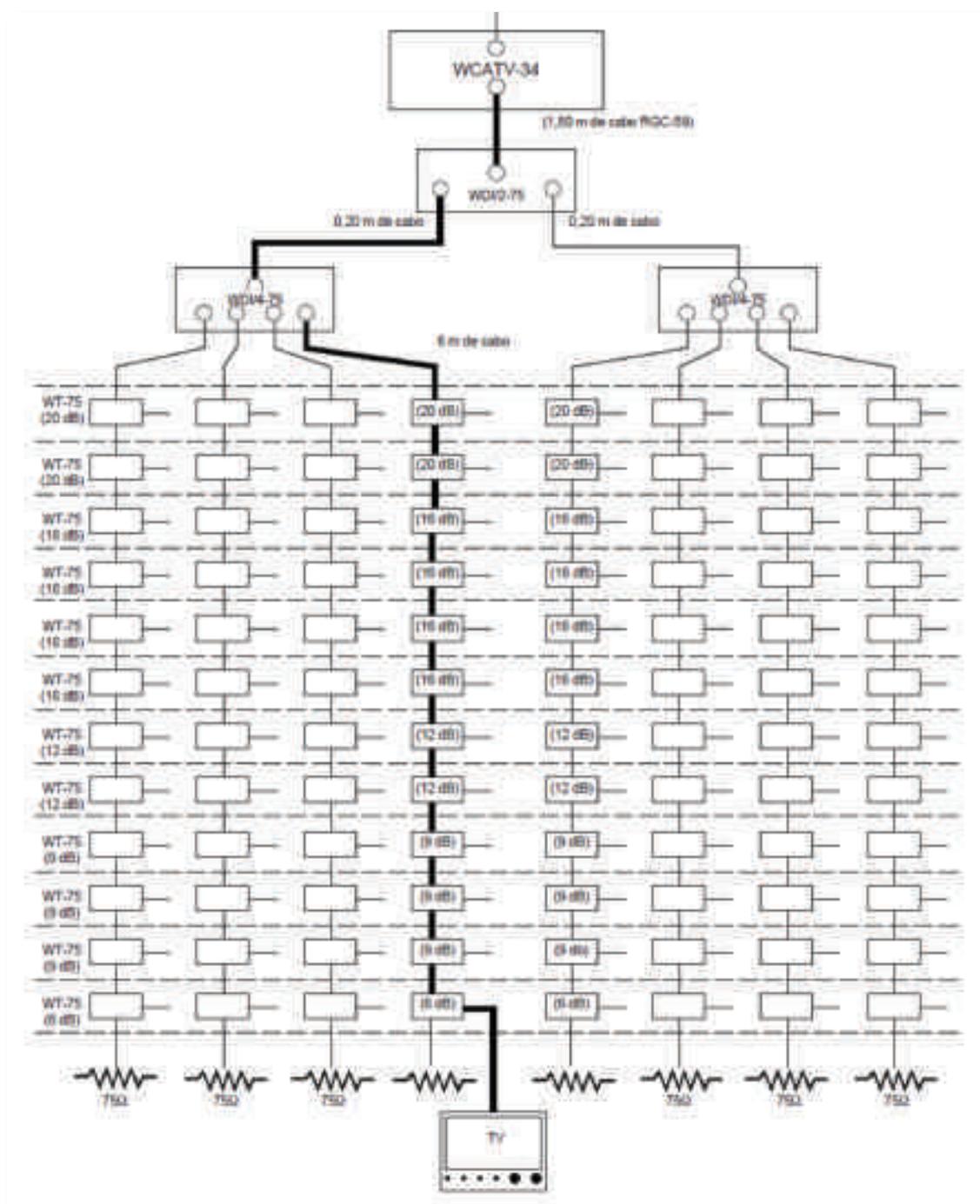


Fig. 20: Exemplo prático de uma instalação coletiva.

Cuidados que deverão ser observados nas instalações de antenas coletivas:

- Todas as antenas ou mastros deverão ser ligados à terra por intermédio de um fio terra, tendo o cuidado de não o ligar a canos isolados que não fazem



bons contados com a terra. Os canos das caixas d'água internas não fazem bons contatos com a terra;

- As antenas deverão estar, no mínimo, a 1,5 m abaixo do para-raios;
- Deve ter-se o máximo cuidado nas instalações dos cabos coaxiais, fitas, fios de força, etc., para que não haja entrada de água nas partes internas, onde estejam instalados os amplificadores, componentes, etc;
- As entradas dos cabos coaxiais não devem ficar expostas às chuvas, pois a entrada de água nos mesmos provoca grandes perdas de sinal. Procurar a melhor maneira para que esses cabos, fitas, fios, etc., não apareçam nas paredes;
- Os amplificadores, componentes, etc, deverão ser colocados numa caixa fechada com boa ventilação, para a máxima proteção dos transístores, transformadores, etc. Nunca se deve colocar um equipamento numa caixa de madeira sem revestimento ou numa caixa de material plástico, pois a eventual queima de um aparelho poderá provocar um princípio de incêndio;
- Procurar aterrar a caixa dos equipamentos, além de usar disjuntores e evitar o uso de extensões;
- As tomadas dos aparelhos de TV - FM, deverão ter um dispositivo de isolação, por intermédio de condensadores de bloqueio, evitando desta maneira o curto-circuito entre aparelhos de TV ou FM e a instalação do sistema coletivo;
- Verifique sempre, antes de ligar os equipamentos, a voltagem de entrada (130 ou 220V), para não os danificar;
- Não permitir que os aparelhos sejam consertados ou calibrados por pessoas não autorizadas, pois neste caso ocorrerá a perda total da garantia.

Amplificadores WCATV-17, WCATV-34 e WCATV-50

Os amplificadores WCATV-17, WCATV-34 e WCATV-50, foram projetados para trabalhar em toda a banda de VHF e CATV, voltados para ampliações prediais (MATV). Os modelos cobrem uma resposta de frequência de 40 a 450 Mhz.

Possuem ajuste de ganho, variando de -3 a 17dB para o modelo WCATV-17, de 14 a 34 dB para o modelo WCATV-34 e de 30 a 50 dB para o modelo WCATV-50, e um controle de *slope*, que proporciona um ajuste do ganho do amplificador de tal forma que as



frequências mais baixas sejam atenuadas em relação às frequências mais altas, em forma de rampa, compensando as atenuações no cabo coaxial.

São construídos com tecnologia de amplificadores híbridos *push-pull*, o qual proporciona maior nível de sinal de saída, com baixa distorção e intermodulação, em sistemas de até 60 canais.

A sua construção em chassi monobloco de alumínio proporciona um excelente desempenho em ambientes com altos índices de calor, devido ao seu desenho com aletas de dissipação de calor em conjunto com o corpo principal, havendo assim eficiente troca de calor.

Possuem também tomada de teste de -30 dB, possibilitando assim uma monitorização do sinal de saída através de um monitor de TV ou de instrumentos de medição, facilitando o seu ajuste final. O *led* indicador de alimentação de força, chave seletora de voltagem (110/220 Volts) e o fusível interno de proteção contra surtos de tensão completam os modelos WCATV-17, WCATV-34 e WCATV-50.

Para uma melhor eficiência, sugerimos a instalação dos amplificadores verticalmente, para uma melhor dissipação do calor.



Fig. 21: Amplificador WCATV-34.

Componentes WDI/275, WDI/375 e WDI/475.

É um divisor interno com 1 entrada de 75 Ohms e duas saídas 75 Ohms. - WDI/275

NOTA: nas saídas sem uso, colocar terminações modelo T/75



	Faixa	54 a 890 MHz
	Impedância de Entrada e Saídas	75 ohms
	Perda por retorno na entrada	20 dB
	Isolação Entre Saídas	16 dB mínimo
	Atenuação entre entrada e qualquer saída	3,5 db
	Conectores	Tipo F
	Dimensões	75 x 60 x 20 cm
	Peso	0,100 Kg

Fig. 22: WDI/2-75

Divisor interno com 1 entrada de 75 Ohms, e quatro saídas de 75 Ohms. - WDI/475

	Faixa	54 a 890 MHz
	Impedância de Entrada e Saídas	75 ohms
	Perda por retorno na entrada	20 dB
	Isolação Entre Saídas	16 dB mínimo
	Atenuação entre entrada e qualquer saída	6,5 db
	Conectores	Tipo F
	Dimensões	75 x 60 x 20 cm
	Peso	0,100 Kg

Fig. 23: WDI/4-75

Tomadas WT/75, WT/275 D e WT275 TV/FM

As tomadas modelo WT/75, WT/275 D e WT275 TV/FM foram projetadas para trabalhar na faixa de frequência de 5 a 750 Mhz, em VHF, UHF, canais de CATV e FM, com uma atenuação extremamente baixa na passagem. Foram idealizadas para uma otimização no sistema de distribuição proporcionando uma equalização do primeiro ao último ponto da instalação. Têm a vantagem de possuir maior isolação entre as tomadas independentes do número de televisores ligados ao sistema e a facilidade de instalação, não necessitando de parafusos ou solda e utilizando conectores padrão tipo F. Os modelos são acompanhados, opcionalmente, por espelhos 4x4 ou 2x4 e parafusos para fixação. A tomada WT/275 D possui as mesmas características, sendo destinada à extensão de



um ponto de TV. O modelo WT/275 TV/FM também possui as mesmas características e possibilita a obtenção de um ponto de FM separado do sinal de TV.



Fig. 24: Tomadas.



Bibliografia

Manual de Áudio – Propagação e Antenas – ESTEL. (s.d.).

Manual de Televisão por Satélite – ESTEL. (s.d.).



