

PREFÁCIO

Decidir se você pega o guarda chuva ou os óculos escuros pela manhã, antes de sair de casa, é uma escolha das mais corriqueiras, mas só se tornou possível graças ao avanço da tecnologia de telecomunicações.

Saber a previsão do tempo depende, primeiro, de um satélite artificial programado para verificar as condições meteorológicas e converter em números as informações recebidas. Depois, entra em acção o homem do tempo, que analisa os dados transmitidos à Terra, transformando-os em notícia e a veicula pelo rádio ou pela TV. Basta esse exemplo para saber que as telecomunicações têm dimensão planetária. O surgimento de novos programas curriculares para os Institutos Médios Técnicos, em 2001, marcou um passo na formação de técnicos médios de Telecomunicações, capazes de enfrentar o mercado bem como a própria evolução tecnológica das Telecomunicações. Esta formação antes era feita apenas no ITTEL.

A implementação destes programas passa por fontes bibliográficas eficazes, que se em inglês são escassas, em português praticamente não existem no mercado.

Com o intuito de ajudar a aliviar essa lacuna, surgiu a ideia de elaborar esta brochura, baseada no Programa da cadeira de Tecnologia das Telecomunicações, que lecciono desde 2001 no Instituto Médio Industrial do Prenda. Esta obra visa atender os requisitos básicos desta disciplina, sem aprofundar o tratamento matemático por ela requerido, visto que na 10ª classe os alunos não aprendem as derivadas nem integrais na disciplina de matemática. O que pode fazer desta obra a principal fonte de consulta para os alunos (e docentes) do Instituto, na cadeira de Tecnologia das Telecomunicações.

A obra merecerá actualização ao longo do tempo, e qualquer crítica construtiva e/ou sugestão por parte dos estimados leitores, será bem-vinda ao autor.

Gostaria de registar os meus melhores agradecimentos aos meus amigos Eng^{os} Adriano Taiengo e Simão Videira, pelo seu grande contributo, sobre tudo no fornecimento da bibliografia; bem como a todas as pessoas que por sua participação directa ou indirecta, colaboraram no desenvolvimento desta obra.

1ª PARTE

Capítulo I CIRCUITOS RESSONANTES

1.1 Componentes Passivos do Circuito

Num circuito eléctrico, podemos identificar três componentes passivos básicos: resistor, indutor e capacitor. Todos eles são elementos passivos, visto que possuem uma **impedância** (símbolo Z), porque cada um deles "impede" (resiste) a corrente em circuitos electrónicos. A impedância é medida ou expressa em ohms (Ω).

Resistor-dissipa a energia na forma de calor. É um componente projectado para ter uma certa resistência eléctrica, cuja função, é limitar (impede ou resiste) a intensidade de corrente eléctrica em determinados trechos do circuito. A sua impedância é $Z=R\angle 0^\circ$, apenas a resistência com o ângulo de fase igual a zero. Assim, sendo o ângulo de fase zero, escreve-se apenas $Z=R$.

Símbolo do resistor



Indutor-armazena a energia eléctrica num campo magnético. É um enrolamento de fio que possui uma indutância (L), capacidade de armazenar energia no campo magnético em torno (à volta) do enrolamento quando passa uma corrente pelo enrolamento. A energia armazenada opõe-se às variações da corrente existente (que flui) no enrolamento. A oposição à variação de corrente no indutor é chamada *reactância indutiva* e denota-se por X_L .

As bobinas (conjunto de espiras condutoras conectadas em série), são indutores e, possuem, portanto, uma indutância (L). A indutância de uma bobina (indutor) é um coeficiente que caracteriza a oposição que a bobina (indutor) oferece à qualquer variação de corrente no circuito e mede-se em Henry [H], (físico norte-americano Joseph Henry-1797/1878).

A impedância de um indutor é composta pela resistência do enrolamento e reactância indutiva (somadas como vectores). Este valor é $Z_L=(R^2 + X_L^2)^{1/2}$, com um ângulo de fase, θ , cuja tangente é igual a X_L/R , ($\tan\theta = X_L/R$). Quando $R=0$, $Z_L=X_L\angle 90^\circ$.

Os indutores com resistência muito pequena ou zero, são um curto circuito (impedância zero) para a corrente contínua, mas aumentam sua reactância indutiva com o aumento da frequência, de acordo com a expressão $X_L=2\pi fL$, onde f é a frequência em Hz (hertz) e L a indutância em H (henry).

Símbolo do indutor



Tecnologia das Telecomunicações

Se uma bobina percorrida por uma corrente variável i , esta corrente variar à razão de 1 A/s , induzindo em consequência uma tensão de 1 V , diremos que a indutância da bobina será de 1 H . Sabendo que quando a corrente em um circuito varia, ou seja, muda de valor no tempo, ela induz neste mesmo circuito, uma tensão. Esta tensão induzida é directamente proporcional à variação de corrente, sendo a indutância L , a constante de proporcionalidade.

Assim, se a corrente i variar à razão $\Delta i/\Delta t$, teremos que a tensão induzida v será igual a : $v=L.(\Delta i/\Delta t)$.

Capacitor- armazena a energia eléctrica num campo eléctrico. Consta essencialmente de duas placas condutoras separadas por uma camada de material isolante, denominado dieléctrico. A energia armazenada no capacitor opõe-se às variações de tensão nos seus terminais.

A oposição às variações de tensão é chamada *reactância capacitiva* e denota-se por X_C . A impedância de um capacitor é composta pela resistência do capacitor e reactância capacitiva (somadas como vectores), cujo valor é $Z_C=(R^2 + X_C^2)^{1/2}$, com um ângulo de fase θ , a tangente do qual é igual a $-X_C/R$, ($\text{tg}\theta = -X_C/R$). O sinal menos em X_C significa que o vector (no plano complexo) orienta-se no sentido oposto ao X_L . R num capacitor é a resistência dos terminais e das placas condutoras (metálicas), a qual é muito pequena. Quando $R=0$, $Z_C=X_C\angle-90^\circ$.

Os capacitores são circuitos abertos (impedância infinita) para corrente contínua, mas a sua reactância diminui com o aumento da frequência, de acordo com a expressão $X_C=1/(2\pi fC)$, onde f é a frequência em Hz e C a capacitância em F (farad).

Aplicando-se uma tensão v entre as placas de um capacitor, estas placas irão adquirir uma carga q ($+q$ numa placa e $-q$ na outra), de forma que $q=Cv$, onde a constante de proporcionalidade C é denominada capacitância.

Se a tensão de 1 V provocar o carregamento do capacitor com a carga eléctrica de 1 coulomb, diremos que a capacitância do capacitor é igual a 1 F (farad- físico inglês Michael Faraday 1791/1867).

Símbolo do capacitor



1.2 - Circuitos Ressonantes Básicos

Os componentes passivos estudados podem ser conectados de acordo com a função específica do circuito onde são inseridos. Deste modo podemos encontrar as seguintes combinações: **RL**; **RC**; **LC** em série ou paralelo; **RLC** em série ou paralelo, ou ainda em ligação mista.

A ressonância ocorre onde haja ligação **LC** ou **RLC**, onde a reactância indutiva e a reactância capacitiva devem ser iguais.

Circuito LC ideal em paralelo

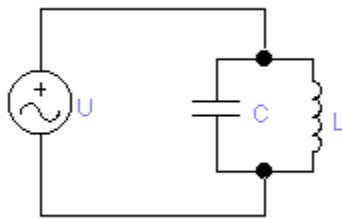
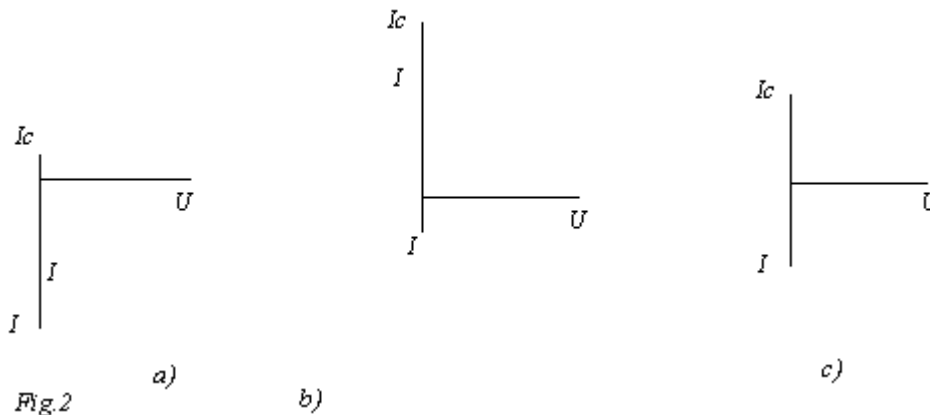


Fig.1

A Fig.1 representa um circuito **LC** ideal em paralelo, alimentado por um gerador de frequência variável.

Se a frequência do gerador for baixa, a reactância capacitiva X_C é grande e a reactância indutiva é pequena. A ligação em paralelo do capacitor e do indutor comporta-se como uma indutância, já que a maior parte da corrente circula através do indutor Fig.2 a).

A frequências elevadas do gerador passa-se o contrário, a ligação em paralelo comporta-se como uma capacitância Fig.2 b).



Entre estes dois casos deve haver uma frequência para a qual a reactância capacitiva e indutiva sejam iguais. Deve verificar-se: $X_C = X_L$.

Quando as duas reactâncias forem iguais, também o serão as correntes parciais Fig.2 c). Por terem sentido oposto, a corrente fornecida pelo gerador será nula. Apresenta-se então o seguinte estado:

*No circuito **LC** em paralelo circula uma corrente relativamente elevada, que no entanto se localiza exclusivamente neste circuito e que não chega ao gerador. O circuito oscila na sua própria frequência.*

Esta conclusão depreende-se da fórmula de Thomson. Ao elevar ao quadrado os dois membros da igualdade obtemos:

$$f_0 = 1/[2\pi(LC)^{1/2}] ; \quad f_0^2 = 1/[(2\pi)^2 LC] , \text{ multiplicando os dois membros por } (2\pi L / f_0), \text{ obtemos } 2\pi f_0 L = 1/2\pi f_0 C , \text{ o que corresponde a } X_L = X_C.$$

Isto confirma a nossa suposição ou ponto de partida que a reactância capacitiva e indutiva sejam iguais $X_C = X_L$.

*Chama-se **ressonância**, o caso em que a frequência do gerador coincide com a frequência própria do circuito oscilante.*

Consequentemente a frequência própria denomina-se frequência de ressonância.

Circuito RLC em paralelo

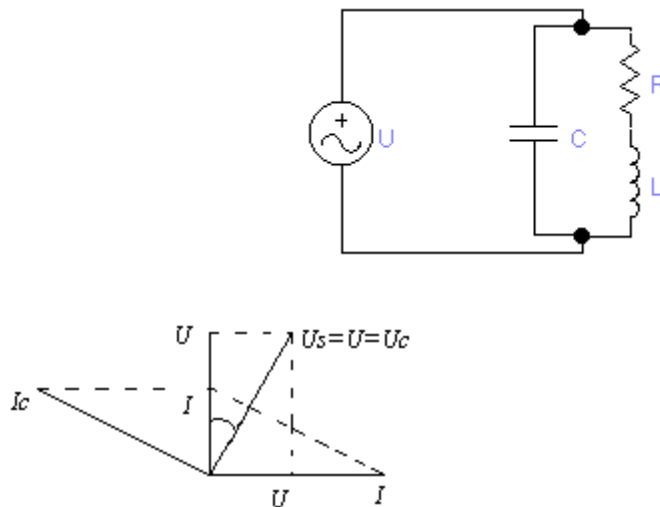


Fig.3 a)

Fig.3

A fig.3 apresenta um circuito **LC** em paralelo com indutor real (ligado ao resistor em série), o que corresponde a um circuito **RLC**.

Para a construção do diagrama vectorial, partimos da corrente do indutor. A tensão em **R** está em fase com I_L , obtendo-se $U_R = I_L \cdot R$. A tensão no indutor $U_L = I_L \cdot X_L$ adianta a I_L em 90° . A tensão total U_S é a soma vectorial de U_R e U_L , sendo também igual à tensão do gerador U e a do capacitor U_C .

A corrente no capacitor $I_C = U_C / X_C$ adianta a U em 90° . A corrente do gerador I é a soma vectorial de I_C e I_L . Se o desenho for feito correctamente, I deve coincidir com U_L .

O ângulo de fase entre I e U é $\Delta\varphi$, e chama-se *ângulo de perdas do indutor*, é o ângulo que diferencia de 90° a diferença de fases entre a corrente do indutor e a tensão do capacitor.

Num circuito real a corrente do gerador não é nula ao verificar-se ressonância, porque a energia consumida no resistor, deve ser forçosamente fornecida pelo gerador.

Conclusões: num circuito **RLC** paralelo em ressonância deve verificar-se o seguinte

- 1 - A reactância indutiva X_L é igual a reactância capacitiva X_C ;
- 2 - A corrente do gerador alcança um valor mínimo, que no caso ideal $I=0$;
- 3 - A impedância do circuito alcança um valor máximo, que no caso ideal $Z=\infty$.

Circuito RLC série

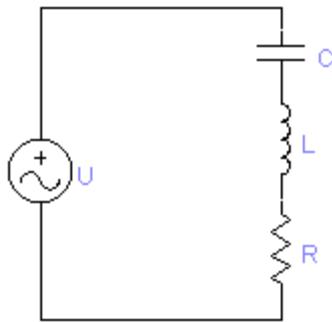


Fig.4

A Fig.4 apresenta um circuito **LC** com indutor real (possui uma resistência), correspondente ao circuito **RLC** série.

As frequências baixas do gerador, a reactância capacitva X_C é elevada, circulando portanto uma corrente muito pequena I do gerador. As frequências elevadas, pelo contrário, é X_L que adquire um valor alto, pelo que circula igualmente uma corrente muito pequena do gerador.

Aqui também há uma frequência na qual resultam iguais as reactâncias X_C e X_L . A esta frequência chama-se *frequência própria* ou *frequência de ressonância* f_0 do circuito *série*.

$$f_0 = 1/[2\pi(LC)^{1/2}]$$

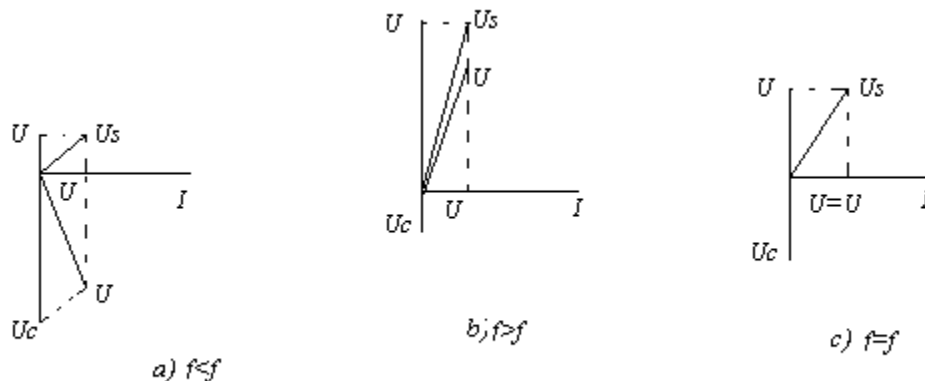


Fig.5

Conclusões: num circuito **RLC** série em ressonância verifica-se o seguinte

- 1 - A reactância indutiva X_L é igual a reactância capacitva X_C ;
- 2 - A corrente do gerador alcança um valor máximo, que no caso ideal $I = \infty$;
- 1 - A impedância do circuito alcança um valor mínimo, que no caso ideal $Z = 0$.

Tecnologia das Telecomunicações

Exercícios

- 1 - A corrente em um circuito série de $R=5\Omega$ e $L=30mH$, se atrasa em relação a tensão em 80° . Determinar a frequência da fonte e a impedância Z .
- 2 - A que frequência a corrente se adiantará da tensão em 30° num circuito série com $R=8\Omega$ e $C=30\mu F$?
- 2 - Um circuito **RC** série , com $R=10\Omega$, tem uma impedância com um ângulo de -45° em $f_1=500Hz$. Achar a frequência para a qual o módulo da impedância é :
 - a) o dobro daquela em f_1
 - b) a metade daquela em f_1 .
- 3 - Um circuito ressonante **RLC** série apresenta os seguintes valores: $U=3V$; $R=500\Omega$; $L=16mH$ e $C=1nF$.
 - a) Calcule a frequência de ressonância.
 - b) Calcule as reactâncias capacitiva X_C e indutiva X_L , se a frequência do gerador é $2kHz$.
 - c) Calcule U_R , U_C e U_L para $I=1mA$.
- 4 - Qual é a impedância do circuito anterior quando ocorre a ressonância? Determine o valor da corrente do gerador para este caso.
- 5 - Quanto vale a impedância Z de um circuito oscilante em série que está ligado a um gerador de frequência igual a $300kHz$? O circuito ressonante apresenta os seguintes dados: $L=350\mu H$; $C=400pF$ e $R=120\Omega$.
 - b) Esboce o diagrama vectorial correspondente.
- 6 - Que capacitor é necessário conectar em paralelo ao indutor de $L=20mH$, para obter uma frequência de ressonância de $20MHz$?
- 7 - Um indutor ideal de $L=5\mu H$ a frequência de $2MHz$ apresenta uma impedância, da mesma forma que um capacitor de $C=0,01\mu F$ a esta frequência tem uma impedância.
 - a) Determinar Z_L e Z_C .
 - b) Se o indutor e capacitor em causa estão ligados em série , calcule a impedância resultante.

1.3 -Análise do Regime Transitório e Estacionário de Circuitos RLC

Toda vez que um circuito é conectado de um estado para outro, seja por uma mudança na fonte de energia aplicada ou por uma alteração nos elementos do circuito, há um período de transição, durante o qual as correntes de suas derivações ou as tensões dos elementos variam de seus valores primitivos para outros novos. Esse período é chamado *transitório*. Após o transitório ter passado, diz-se que o circuito está em regime permanente (ou estado estacionário).

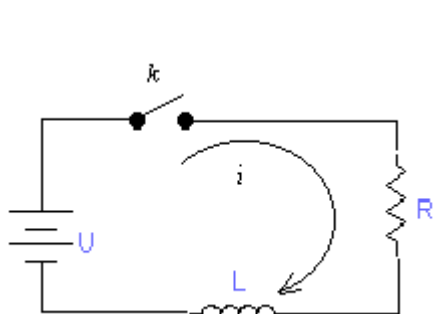


Fig.6

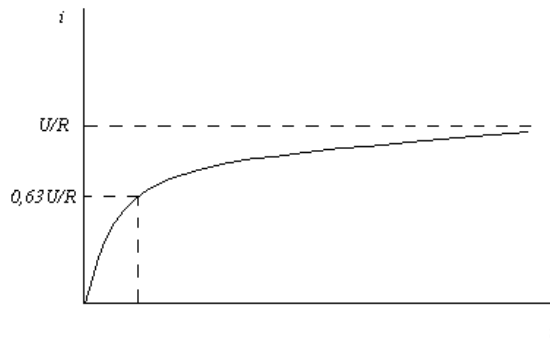


Fig.7

Analisemos o circuito da fig.6, supondo que no instante $t=0$ se fecha o interruptor k , a tensão da fonte será: $U=U_R+U_L=R.i+L(di/dt)$

Integrando esta equação e tendo em conta que para $t=0$, $i=0$ resulta $i=(U/R)(1-e^{-t/\tau})$, onde $\tau=L/R$ é uma característica do circuito denominada *constante de tempo*. Observa-se que quando $t \rightarrow \infty$, a corrente tende ao valor $i=U/R$, que corresponde ao regime permanente estacionário.

A constante de tempo quantifica o tempo necessário para alcançar o regime estacionário. Assim, para $t=\tau$, a corrente toma um valor de 63% da corrente máxima, e para $t=7\tau$ se alcança 99,9% deste valor.

Carga de um capacitor num circuito RLC

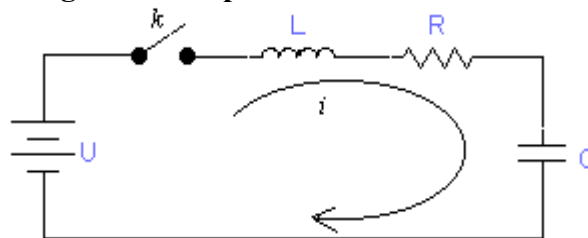


Fig.8

Analisemos o regime transitório correspondente a carga de um capacitor, inicialmente descarregado, que é submetido a uma ddp (diferença de potencial) constante U no circuito RLC série. Suponhamos que o interruptor k se fecha no instante $t=0$. A equação do circuito tendo em conta o sentido da corrente mostrado na Fig.8, é $U=L(di/dt)+Ri+q/C$, e tendo em conta que $i=(dq/dt)$, resulta $U=L(d^2q/dt^2)+R(dq/dt)+q/C$ (*) equação

Tecnologia das Telecomunicações

diferencial de 2ª ordem, não homogénea e coeficiente constante. A solução desta equação é a soma de 2 termos:

— *uma solução geral da equação homogénea* (sem termos independentes), que é da forma $q_g = Ae^{\alpha t} + Be^{\beta t}$, onde α e β são as soluções da equação característica $0 = Lx^2 + Rx + 1/C$, logo $\alpha = [-R + (R^2 - 4L/C)^{1/2}]/2L$ e $\beta = [-R - (R^2 - 4L/C)^{1/2}]/2L$.

— *Uma solução particular da equação completa*. Assim, para $q = \text{const}$, $q_p = UC$. Em definitivo, a integral da equação (*) é da forma $q = q_g + q_p = Ae^{\alpha t} + Be^{\beta t} + UC$. Onde **A** e **B** são 2 constantes de integração que são determinados a partir das condições iniciais.

De acordo com os valores de α e β , podemos verificar 2 casos:

1º caso - $R^2 - 4L/C > 0$

Neste caso as soluções α e β são reais e negativas, podem ser representadas por $-\alpha$ e $-\beta$. Então a carga capacitiva é $q = UC + Ae^{-\alpha t} + Be^{-\beta t}$. Tendo em conta que, para $t = 0$, $q = 0$ e $i = 0$ a expressão anterior se transforma em $q = UC - [UC/(\alpha - \beta)](\beta e^{-\alpha t} - \alpha e^{-\beta t})$. A intensidade da corrente é $i = dq/dt = [UC\alpha\beta/(\beta - \alpha)](e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$.

2º caso - $R^2 - 4L/C < 0$

Neste caso a equação característica $0 = Lx^2 + Rx + 1/C$, tem duas soluções complexas e conjugadas, da forma $-\lambda \pm js$ com $\lambda = R/(2L)$ e $s = [(-R^2 + 4L/C)^{1/2}]/2L$. A solução da equação diferencial é portanto $q = A_1 e^{(-\lambda - js)t} + A_2 e^{(-\lambda + js)t} + UC$, e tendo em conta as condições iniciais $q_0 = 0$, $i_0 = 0$ resulta: $q = UC + Ae^{-\lambda t} \cdot \cos(st - \varphi)$ (**), sendo $A = -UC/\cos\varphi$ e $\tan\varphi = \lambda/s$. Derivando a expressão (**) em função do tempo, obtém-se a corrente $i(t)$ $i = -Ae^{-\lambda t}[\lambda \cos(st - \varphi) + s \cdot \sin(st - \varphi)]$.

Nota !

— *Esta matéria sobre o Regime Transitório não deve constar na avaliação dos alunos da 10ª classe, visto que eles ainda não aprenderam a Derivação na disciplina de Matemática.*

1.4- Aplicação de Circuitos Ressonantes à Electrónica

das Telecomunicações

Os circuitos ressonantes possuem diversas aplicações nos equipamentos (ou em circuitos) electrónicos e de telecomunicações, destacando-se os seguintes:

- Filtros;
- Osciladores;
- Amplificadores sintonizados; - Antenas.

Filtros são circuitos projectados para fornecerem sinais de saída com uma amplitude dependente da frequência do sinal aplicado a entrada.

O seu valor reside no facto de deixar passar determinadas partes de uma mistura de frequências e suprimir as restantes. Sendo por isso classificados em: passa baixa; passa alta; passa banda e rejeita banda.

Os filtros **RLC** são muito utilizados nos equipamentos de rádio, sobretudo nos receptores e transmissores de rádio e TV, devido a elevada selectividade e operação em altos níveis de potência, proporcionados pelos elementos **RLC** (sobretudo **LC**).

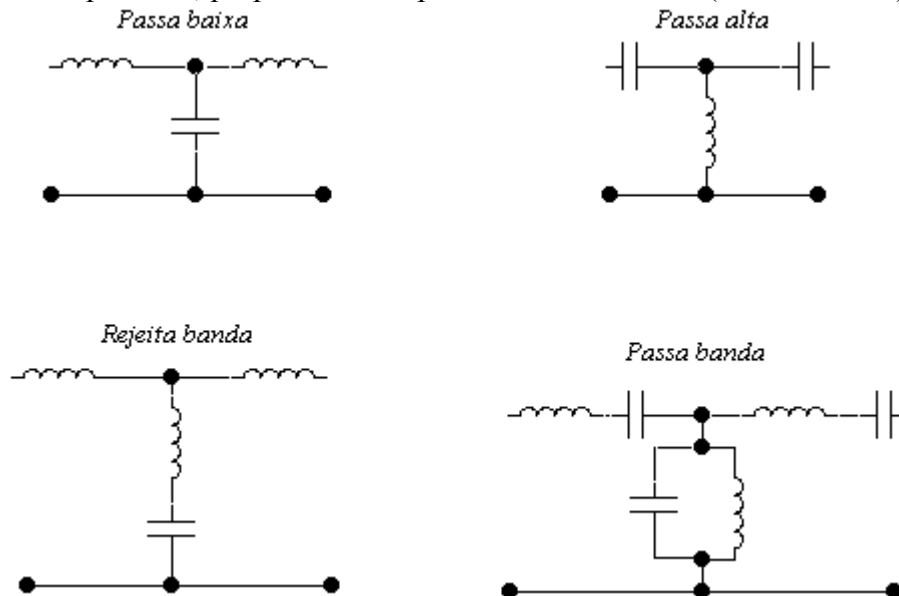


Fig.9 - Exemplos de alguns Filtros LC

Osciladores são circuitos electrónicos que geram sinais de corrente alternada a partir de uma tensão contínua de alimentação, sem a necessidade da aplicação de um sinal externo.

Quanto a frequência de oscilação, classificam-se em: osciladores de audiofrequências- geram sinais na banda de alguns hertz a centenas de quilohertz, utilizam elementos **RC**; osciladores de radiofrequência- geram sinais de frequência superior a algumas dezenas de quilohertz até centenas de gigahertz, utilizam circuitos **LC** e cristais.

Amplificadores sintonizados são amplificadores de frequência intermédia caracterizados pela sua alta sensibilidade, boa selectividade bem como a faixa dinâmica de frequências. São muito usados nos equipamentos de radiocomunicação, receptores de rádio e TV, e outros.

Resumindo, a maior parte de equipamentos electrónicos possui circuitos ressonantes.

Capítulo II TEORIA DAS ANTENAS

2.1 Conceitos introdutórios sobre antenas

A *antena* é um sistema que alimentado em energia de alta frequência, radia esta energia no espaço sob a forma de ondas electromagnéticas (antena de emissão) ou que, colocada num campo de ondas electromagnéticas, permite recolher esta energia de alta frequência (antena de recepção).

Por outras palavras, designam-se por *antenas* os circuitos eléctricos capazes de enviar para o espaço a energia que se lhe aplica, ou inversamente capazes de captar energia das ondas rádio-eléctricas do espaço.

É corrente designar-se por antena toda a estrutura que suporta os elementos que produzem a irradiação nomeadamente as grandes torres metálicas existentes em algumas estações emissoras.

As antenas emissoras das estações de radiodifusão são antenas bem dimensionadas para os fins que se pretendem, entretanto não sucede com as respectivas antenas receptoras que usualmente não passam de simples fios quase sempre de dimensões casuais. O mesmo porém, não sucede com as antenas receptoras de televisão que se apresentam um pouco mais complexas e que correspondem a desenhos previamente estudados. Por conseguinte, por antena tanto podem designar-se circuitos muito simples sem quaisquer dimensões críticas, como o circuito bastante complexo de dimensões perfeitamente definidas.

2.2 Estudo dos vários tipos de antenas

De acordo com a aplicação ou o fim a que se pretende, bem como características, condições de trabalho e o tipo de ondas (estacionárias ou progressivas), são projectados diversos tipos de antenas. Dentre elas podemos destacar: antena dipolo, antena directiva, antena marconi, antenas ressonantes, antena yagi, antena rômica, antena parabólica, antena helicoidal, etc.

2.2.1 Antenas de Rádio

a) Antena Dipolo de Hertz ou de meia onda

Para o estudo das antenas de Rádio, tomamos o Dipolo de Hertz, que é a antena básica, ponto de partida para o estudo de antenas mais complexas. O seu comprimento físico deve ser igual a $\lambda/2$ (na prática é $\lambda/2-5\%$), e pode obter-se pela expressão :

$L_c = k\lambda/2 = kc/2f = k150/f$ (2.1) em que k é o factor de redução e f é expresso em megahertz. Pode tomar-se como base $k=0,95$, valor este que diminui com o aumento da frequência.

A distribuição da corrente ao longo da antena é máxima no centro onde a impedância é mínima e mínima corrente nos extremos onde a impedância é máxima. $Z_{min}=73,3\Omega$ e nos extremos $Z_{máx}=2500\Omega$.

$$Z_{min} \cong R = P_r / (I_{máx})^2 = 73\Omega \quad (2.2)$$

A antena fica sempre colocada a uma maior ou menor altura da terra e essa elevação influencia a resistência de irradiação R .

As ondas irradiadas pela antena no sentido da terra são reflectidas por esta, atingem novamente a antena e aí induzem correntes que consoante a sua fase, poderão reforçar ou atenuar a corrente própria da antena. Esta fase depende da altura a que a antena se encontra do solo.

A intensidade do campo eléctrico produzido pela antena dipolo $\lambda/2$ é : $E=85I/d$ [V/m] (2.3), onde I é a corrente em ampers e d a distância em km.

A potência irradiada pela antena $\lambda/2$ pode também calcular-se por $P_r=80\pi^2 L_e^2 I^2 / \lambda^2$ [w] (2.4), onde L_e - comprimento físico da antena em metros, I - corrente em [A], λ - comprimento de onda em metros.

A altura eficaz da antena dipolo de Hertz é de $h_e=L_e/2$ [m] (2.5).

Eléctricamente o dipolo Hertz é equivalente a uma indutância L no centro, a uma capacitância C concentrada nos extremos e à resistência de irradiação R . Podemos portanto assimilar-lo a um circuito série ressonante ao qual se dá na figura uma disposição simétrica.

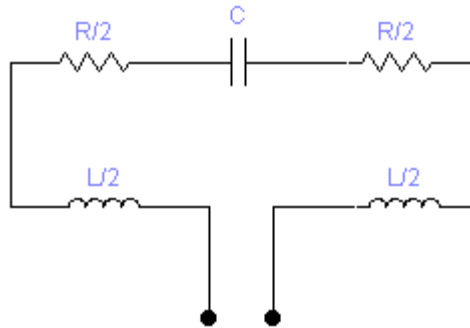


Fig.10 - Circuito eléctrico equivalente do dipolo Hertz

Sendo C e L a capacitância e indutância próprias da antena a sua frequência fundamental de trabalho será: $f=1/[2\pi(LC)^{1/2}]$ (2.6). Por outro lado o factor de qualidade é: $Q=X_L/R=2\pi fL/R$ ou $Q=1/[2\pi fRC]$. (2.7)

A largura de banda para esta antena pode ser expressa $L_B=f_o/Q$. (2.8)

b) Antena Marconi ou de quarto de onda

A antena Marconi básica consiste num fio simples cujo comprimento é sensivelmente igual a um quarto de onda de irradiação. Um extremo da antena é livre e outro é ligado à terra, sendo essa terra o solo propriamente dito ou massa metálica de um veículo (automóvel ou avião). Este extremo pode também ser isolado da terra.

A corrente assume um valor elevado no ponto de ligação à terra e é justamente neste ponto que existe um valor elevado da resistência ohmica. Torna-se pois necessário o uso de um "boa terra" para atenuar as perdas por efeito de Joule.

A antena Marconi é mais prática do que a antena Hertz quando se trata de irradiar frequências baixas visto que o seu comprimento se reduz a metade.

Quando se tornam pouco práticas ou por serem grande demais (frequências baixas) ou por serem pequenas demais (frequências muito altas) as dimensões físicas das antenas Marconi destinadas a irradiar dadas frequências, podem essas dimensões encurtarem-se ou alongarem-se mediante a aplicação de indutores e capacitores. (A antena Marconi entra em ressonância num comprimento de onda igual à 4,2 vezes o seu comprimento físico e não apenas 4 vezes).

Chama-se a esta prática carregar a antena com uma bobina ou com um capacitor. Concretamente: se um emissor de um carro emitir numa frequência a que corresponde um $\lambda/4$ de elevado valor, podemos utilizar uma antena de comprimento físico muito inferior aplicando uma bobina (indutor) na base da antena. A antena passa a ter um comprimento físico inferior a $\lambda/4$. Pela aplicação de um capacitor a antena passa a ter um comprimento físico superior a $\lambda/4$.

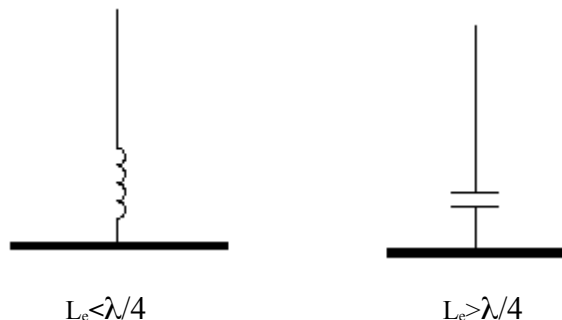


Fig.11-Antena Marconi carregada com uma bobina (indutor) e com um capacitor

Se a antena se destina a trabalhar em várias frequências e bastante afastadas, podem utilizar-se em série com a antena uma bobina com vários contactos e um capacitor de capacitância variável para estabelecer ressonância.

2.2.2 Antenas de TV

Antena Yagi

Utiliza vários elementos "parasitas" com um único dipolo alimentado eléctricamente para obter uma grande directividade.

Elementos "parasitas" ou passivos são condutores que se encontram próximo do dipolo alimentado eléctricamente, nos quais se induz uma forte corrente. Esta corrente se junta a do dipolo e, de acordo com a posição dos condutores em relação ao dipolo, esta posição determina a amplitude e fase da corrente induzida assim como a radiação total.

O elemento passivo que se encontra no lado oposto do lóbulo de radiação principal denomina-se reflector. E o situado no lado do lóbulo denomina-se director.

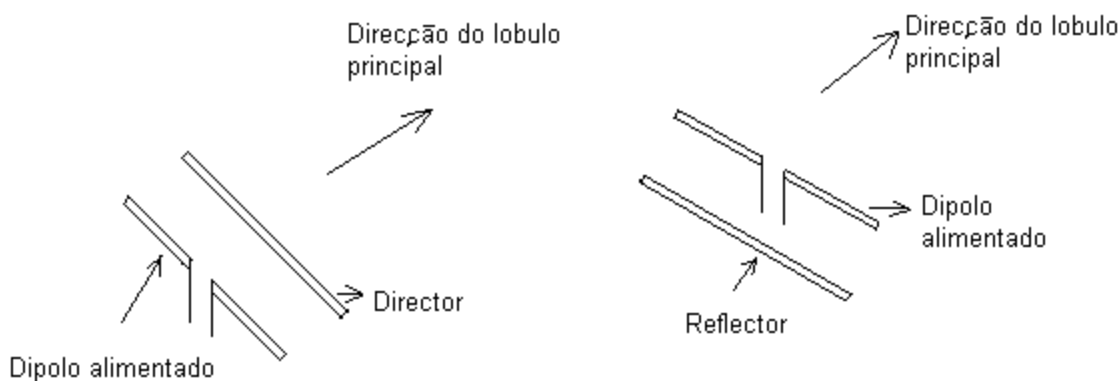


Fig.12

A altura eficaz desta antena é expressa por $h_e = (\lambda/\pi)G$ (2.9), G é o ganho de potência. Uma antena Yagi clássica é a que tem 3 directores, 1 reflector e 1 dipolo (dobrado) ilustrada na figura.

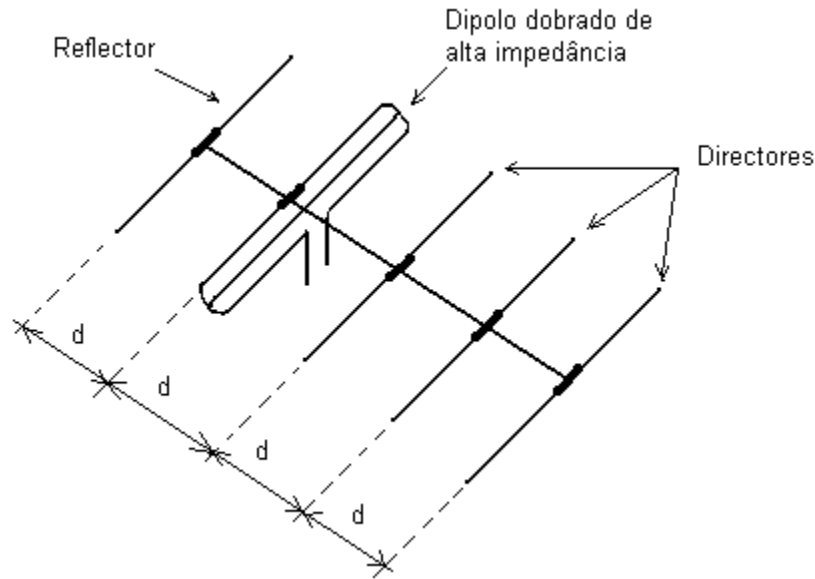


Fig.13 - Antena Yagi de 5 elementos , $d=0,2\lambda$.

2.2.3 Antenas smart (inteligentes)

Antena de espelho parabólico

Conciste num dipolo situado no foco de um espelho de forma parabólico, que recebe sobre si as ondas que incidem sobre o espelho. No caso de emissão , emite para o espelho as radiações que se refletem na mesma direcção. Este é o princípio da antena com um reflector parabólico: o espelho permite obter um ângulo de abertura muito débil e um ganho de potência considerável.

O ângulo de abertura deste tipo de antena é dado por $\varphi=70\lambda/d$ (2.10), onde d é o diâmetro de abertura da antena.

O ganho de potência máxima em relação a um dipolo de meia onda é: $G=6(d/\lambda)^2$ (2.11).

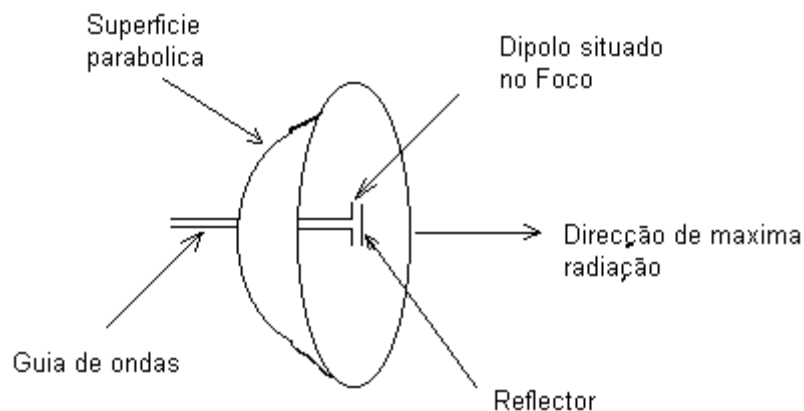


Fig.14 - Antena de espelho (reflector) parabólico

Antena helicoidal (ou de hélice)

Esta antena é constituída por um condutor grosso enrolado em hélice; assemelha-se às bobinas de um grande emissor e as suas dimensões dependem da frequência na qual vai funcionar a antena. É utilizada em VHF e UHF para comunicação via satélite.

Devido a sua constituição, a antena de hélice emite uma onda polarizada circularmente. Esta onda pode ser captada por uma antena vertical ou horizontal. É normalmente colocada perante um reflector plano, de forma a dar-lhe uma radiação unidireccional.

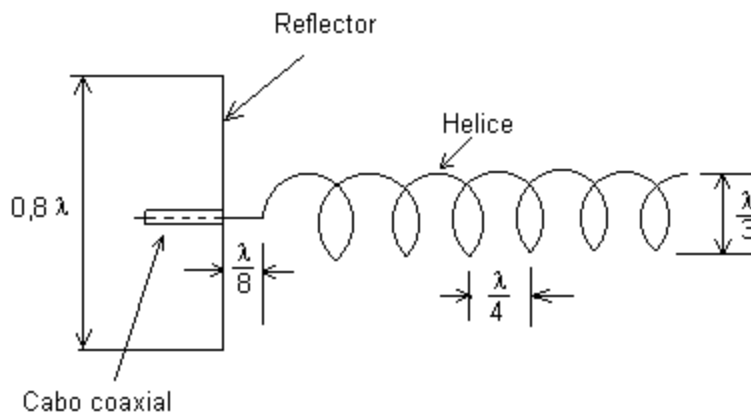


Fig.15 - Antena em hélice com reflector

Utilização de antenas segundo as frequências

Em frequências baixas **VLF** e **LF** (3-30kHz e 30-300kHz) utilizam-se os monopolos e antenas Marconi colocadas sobre uma terra artificial .

Em frequências médias **MF** (0,3-3MHz) que correspondem as empregues em radio com modulação de amplitude, são muito usadas antenas Marconi.

Em frequências altas **HF** (3-30MHz) se utilizam antenas rômbricas, logarítmica-periódicas e dipolos (dobrados).

Em frequências muito altas **VHF** (30-300MHz) e **UHF** (0,3-3GHz) utilizam-se agregados de dipolos simples ou dobrados, antenas Yagi, de hélice, espelho parabólico, logarítmica-periódica e tubulares.

Em frequências super-altas **SHF** (3-30GHz), utilizam-se antenas parabólicas, de corneta (ou buzina) e lenticulares.

Parâmetros de uma antena

Uma antena se caracteriza por diversos parâmetros, tais como: a resistência, impedância, largura de banda, rendimento, directividade, ganho, altura eficaz, comprimento, diagrama de radiação, ângulo de abertura e polarização.

A resistência total da antena é formada por 2 resistências em série: **R**(de radiação) e **r** (de perdas). $R = P_r / I^2$ (2.12)

O rendimento duma antena é definido pela relação $\eta = R / (R + r)$ (2.13) .

A impedância é $Z = R + jX$.

A largura de banda duma antena é o domínio (intervalo) de frequências dentro do qual opera satisfatoriamente. $L_B = f_2 - f_1$ (2.14)

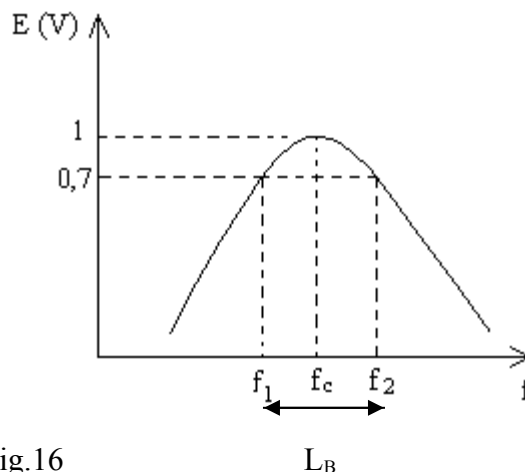


Fig.16

L_B

f_c é a frequência central.

Directividade é um parâmetro referente as antenas directivas; é a razão entre a intensidade de radiação máxima U_M e a intensidade de radiação média $\langle U \rangle$. $D = U_M / \langle U \rangle = 4\pi U_M / P_r$ (2.15), para uma antena Yagi $D = h_e \pi / \lambda$ (2.15_a).

O ganho de potência define a razão da potência recebida pela antena receptora, e potência emitida pela antena emissora. $G = \eta D$ (2.16) ou $G_{dB} = 10 \log_{10} (P_r / P_e)$ (2.16_a)

O comprimento eficaz é: $L_e = 150(n - 0,05) / f$ (2.17) onde n ($=1, 2, \dots$) é o número de meia ondas $\lambda/2$ e f a frequência em MHz.

A altura eficaz $h_e = \lambda / \pi$ (2.18) ou $h_e = L_e / 2$ para o dipolo de meia onda.

A altura eficaz determina a tensão induzida numa antena $V = E \cdot h_e$ [V] (2.19) onde E é a intensidade do campo eléctrico [V/m].

A polarização de uma antena é dada pela orientação que ela toma relativamente o solo. Antenas verticais originam ondas polarizadas verticalmente, antenas horizontais originam ondas polarizadas horizontalmente. Antenas inclinadas têm componentes de polarização horizontais e verticais.

Exercícios

1. Um emissor de **1000W** de potência, emite mediante uma antena de rendimento **0,95** e directividade **3**. Calcular o ganho da antena.
2. Calcular o comprimento de uma antena de meia onda destinada a funcionar em **38,7MHz**.
3. Uma antena de emissão tem uma capacitância própria de **0,002μF** e destina-se a irradiar ondas com um $\lambda = 600m$. Qual deve ser a indutância própria da antena?
4. Uma antena tem uma resistência óhmica (de perdas) de **8Ω** e uma de radiação de **72Ω**. Calcular o seu rendimento.
5. Uma antena de Hertz ressonante em **15MHz** está situada a uma altura de **15m** por cima

Tecnologia das Telecomunicações

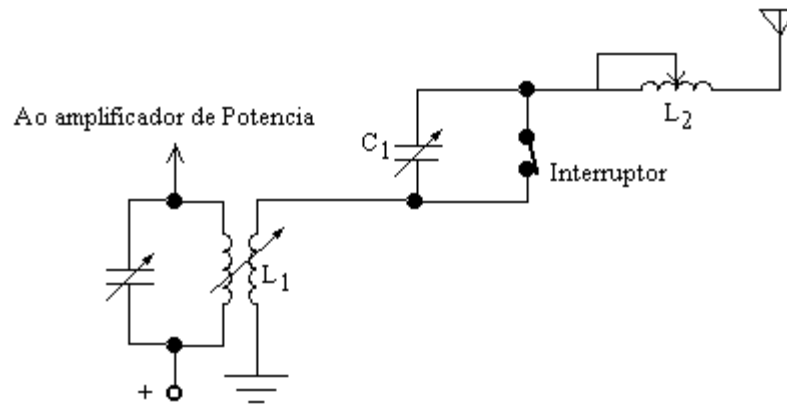
- do solo; sabendo que o seu diâmetro é de **5mm**, achar a resistência de radiação. (usar tabela)
6. Calcular a altura eficaz de um dipolo de meia onda sabendo que nele se induzem **10mV** quando está situado num campo eléctrico de **12mV/m**. Qual é a frequência de ressonância da antena?
 7. Se pretende construir uma antena Yagi para **250MHz**, com um reflector e três directores. Calcular as suas dimensões. (usar tabela)
 8. Se a intensidade do campo produzida por um emissor de onda média que transmite em **0,88MHz**, na proximidade de uma antena de meia onda é de **1mV/m**. Qual será a tensão induzida na antena? Se a potência emitida é de **1000W**, quanto se deveria aumentar esta para obter na antena uma tensão induzida duplicada?
 9. Uma antena de Hertz vertical, situada a **9m** por cima do solo, tem um diâmetro de **15mm**, um rendimento de **0,9**, e está alimentada eléctricamente por uma potência de **10000W**, seu comprimento será tal que permite a exposição óptima da antena emitindo uma frequência de **100MHz**.
 - a) Qual será o comprimento adequado da antena?
 - b) Calcular a intensidade do campo eléctrico a uma distância de **80km** em direcção da máxima radiação.
 - c) Que tensão induzirá sobre uma antena idêntica a emissora e situada a **200km** de distância em direcção da máxima radiação?
 10. Calcular o ângulo de abertura e o ganho de uma antena cujo diâmetro de abertura é de **183cm** e que se destina a emitir **6GHz**.
 11. Uma antena parabólica emite **10GHz** com uma potência de **100kW**, e diâmetro de **2m**. Uma segunda antena parabólica de igual diâmetro se encontra orientada para a anterior e a uma distância de **300km**. Que potência captará esta antena?

2.3 - Estudo dos circuitos tipo de alimentação/recepção de sinais de antenas

Uma antena se pode alimentar eléctricamente de diferentes formas e em diversos pontos: se pode conectar directamente um amplificador de potência a antena mediante linhas de transmissão paralelas, cabos coaxiais ou guias de onda. Estes elementos são conhecidos por feeders (alimentadores).

A principal consideração em jogo é a existência da adaptação de impedâncias, entre a impedância da antena, a impedância da linha de transmissão e a disponível nos bornes do emissor ou receptor. Todas estas devem ser o mais iguais possível, para que toda (quase toda) potência eléctrica seja transferida à antena para sua radiação, em emissão, ou à entrada do receptor para sua amplificação, no caso de recepção.

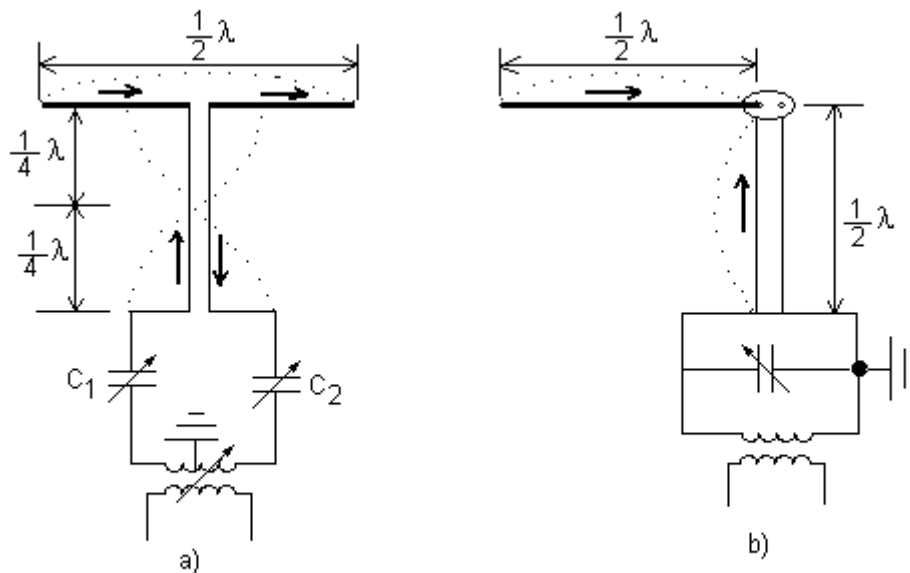
- a) A alimentação directa é feita por acoplamento de um circuito ressonante à frequência de emissão ou recepção.



Exemplo de acoplamento de uma antena

Fig.17

- b) As linhas de transmissão paralelas e próximas permitem conduzir a potência eléctrica sem perdas. O campo eléctrico criado por uma linha, anula o criado por outra; o sentido de circulação da corrente nas linhas é oposto. Utilizam-se linhas ressonantes conectadas no centro ou no extremo de um dipolo de meia onda, segundo a impedância da antena nestes pontos.

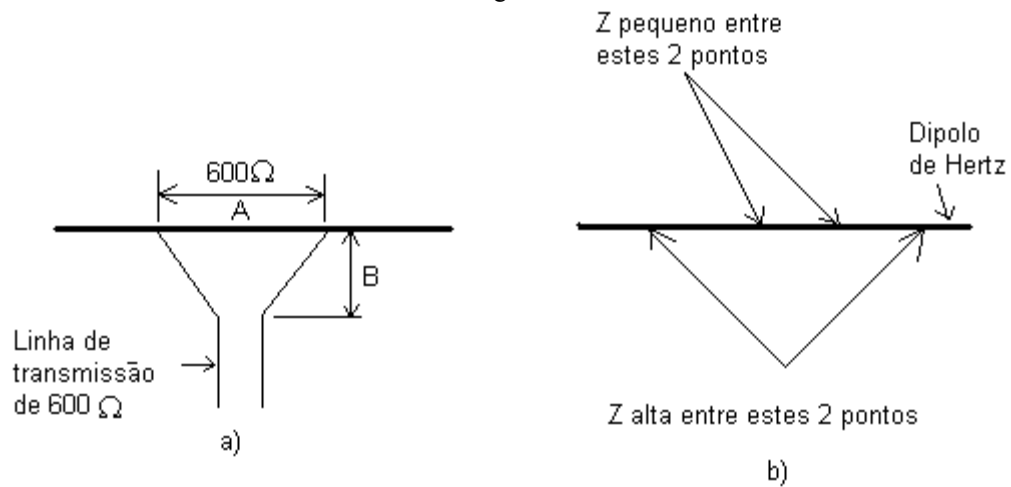


Alimentação de uma antena mediante linhas paralelas ressonantes

Fig.18

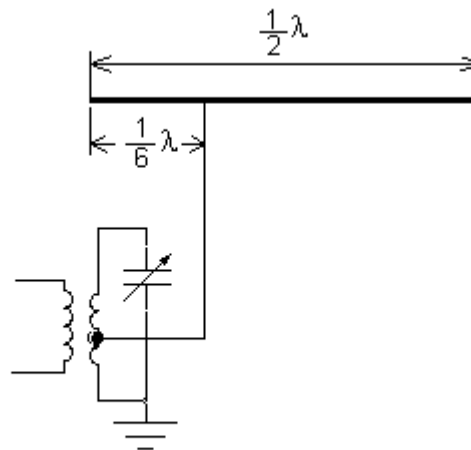
- c) Também se utilizam linhas não ressonantes, que podem adaptar-se mediante linhas em delta. No caso de usar o acoplamento em delta, opta-se por linhas de transmissão de 600Ω de impedância. A impedância da antena aumenta com a separação existente entre os bornes de conexão. A separação vem dada pela fórmula : $A=0,25L$; $B=0,32L$ onde L é o comprimento da antena.

Fig.19



Acoplamento de uma antena mediante uma linha de transmissão não ressonante

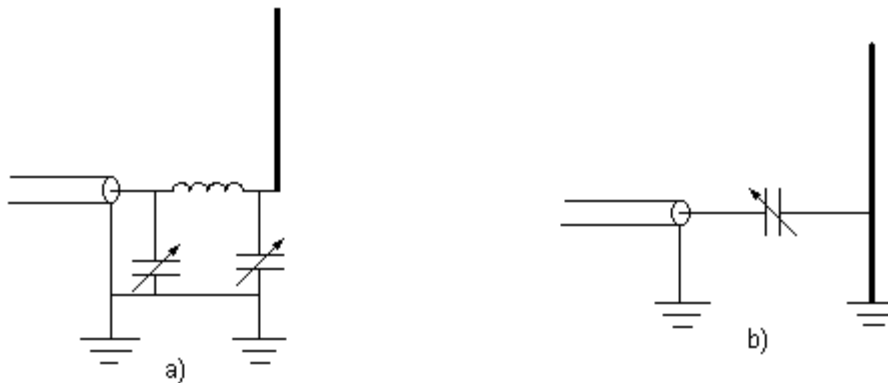
- d) Também se pode alimentar uma antena mediante um simples condutor conectado a uma distância aproximada de $\lambda/6$ do extremo da antena.



Acoplamento de uma antena mediante um fio eléctrico

Fig.20

- e) Os cabos coaxiais são dois condutores concêntricos, o exterior se conecta directamente a terra, o interior à antena.



Alimentação de uma antena com um cabo coaxial

Fig.21

- f) Os guias de ondas são cavidades metálicas pelas quais se propagam as ondas electromagnéticas mediante reflexões, antes de chegarem ao exterior do guia. São usados como feeders(alimentadores) para as antenas de espelho parabólico.

2.4- Introdução à teoria das linhas de transmissão

As antenas das estações emissoras de rádio situam-se a uma distância considerável do edifício onde se encontram instaladas as diferentes unidades do emissor. É necessário nestas condições adoptar qualquer sistema que transfira a energia de RF do emissor para a antena. Isso faz-se por meio das linhas de transmissão.

As linhas de transmissão cujo comprimento físico é muito menor que $\lambda/4$ são consideradas eléctricamente curtas. Enquanto que as de comprimento maior $\lambda/4$ são eléctricamente longas.

Tipos de Linhas

1- *Linha aérea de fio único* - é o tipo mais simples de linha de transmissão constituído por um único condutor.

Deve ser utilizada em locais em que a terra seja altamente condutiva ou então com massas metálicas fazendo retorno como a fuselagem dos aviões. É de difícil adaptação à antena mas a sua simplicidade pode indicá-la quando se trata de emissores a bordo de aviões e trabalhando com frequências baixas.

2- *Linha aérea de dois fios paralelos* - é constituída por dois condutores paralelos mantidos a uma distância fixa por intermédio de suportes isoladores, ou podem os dois condutores serem embebidos numa substância isolante que os mantém sempre a igual distância. Por vezes irradiam energia à semelhança de antenas devido ao campo magnético não se anular a sua volta.

3- *Linha coaxial* - é constituída por dois condutores, um interno de pequena secção e outro externo, tubular, concêntrico com o primeiro. A principal vantagem desta linha é que não há nela perdas de energia por irradiação, tanto o campo magnético como o campo eléctrico são nulos no exterior dos condutores.

4- *Par entrançado* - é constituído por dois condutores isolados e enrolados. O enrolamento permite que os condutores se conservem fixos entre si, formando-se assim

uma linha flexível. Esta linha aparece por vezes a acoplar andares de um mesmo emissor. Acima de **15MHz** o isolamento provoca perdas dieléctricas fortes pelo que não devem ser usadas.

5- *Par blindado* - é formado por dois condutores paralelos embebidos num dieléctrico contínuo que lhe confere o devido isolamento. Em volta do dieléctrico há "um entrançado de fios de cobre que actua como uma blindagem evitando que a linha irradie energia. A blindagem de cobre confere boa flexibilidade e evita também que campos magnéticos estranhos induzam tensões na linha.

6- *Guias de onda* - são cavidades metálicas pelas quais se propagam as ondas electromagnéticas mediante reflexões, antes de chegarem ao exterior do guia.

A maior vantagem do guia de onda sobre o cabo coaxial é de apresentar perdas muito baixas. Nas frequências de microondas a interacção entre a onda guiada e os condutores do sistema de transmissão causa, nesses, fluxos de corrente que tendem a ficar confinados numa pequena região próxima à superfície.

7- *Fibra óptica* - é um capilar formado por materiais cristalinos e homogêneos, transparentes o bastante para guiar um feixe de luz (visível ou infravermelho) através de um trajecto qualquer. A estrutura básica desses capilares são cilindros concêntricos com determinadas espessuras e com índices de refração tais que permitam o fenómeno da reflexão interna total.

2.4.1 - Impedância característica

Uma linha de transmissão qualquer é composta por impedâncias em série Z_s e impedâncias em paralelo Z_p .

Isto permite-nos definir uma noção muito importante: a impedância característica de uma linha de transmissão, que designaremos por Z_c :

$Z_c = \sqrt{Z_s \times Z_p}$ (2.20) onde Z_s é a impedância série por unidade de comprimento, é função de R e de L ; enquanto que Z_p é a impedância paralela, função de C e de R_p .

$$Z_s = R + j\omega L \text{ e } \frac{1}{Z_p} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{1/j\omega C} = \frac{1}{R_p} + j\omega C \text{ ou } Z_p = \frac{1}{1/R_p + j\omega C}$$

Sendo ω igual a $2\pi f$, f é a frequência da corrente que percorre a linha e j é a unidade imaginária igual a $\sqrt{-1}$.

Para simplificar a fórmula 2.20 consideramos que R é sempre muito pequeno (desprezável em Z_s) quando os capacitores são largamente dimensionados, o que é o caso, e que sendo R_p muito grande quando o isolamento é bom, a condutância $g = 1/R_p$ é negligenciável relativamente a $j\omega C$ e Z_p é pouco diferente de $1/j\omega C$. Tem-se então:

$$Z_c = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.20^a)$$

Sendo L e C constantes da linha, Z_c será constante dependendo apenas de L e de C , valores que por sua vez dependem da constituição geométrica da linha. Por vezes utiliza-se a seguinte expressão (para casos especiais) de $Z_c = 120\pi$ (2.20b).

2.4.2 Propagação dos sinais em linhas de transmissão

As ondas utilizadas em rádio propagam-se à velocidade da luz, ou seja a **$3 \cdot 10^8$ m/s**, criando num dado local uma energia que varia constantemente, diminuindo ou crescendo para cada frequência.

Tecnologia das Telecomunicações

Estas ondas , tal como as ondas luminosas, podem-se reflectir ou refractar. A reflexão pode produzir-se nas camadas ionizadas da atmosfera, ou na superfície dos objectos que apresentam uma diferença de constante dielétrica em relação ao meio que os rodeia.

Numa linha de transmissão isolada do ar, a velocidade de propagação da corrente é igual à da luz; mas se se interpõe um isolador entre os dois condutores da linha, a capacidade (capacitância) aumenta e trava a propagação, que é assim diminuída na relação $1/\sqrt{\epsilon}$, sendo ϵ a constante dielétrica do isolador. Sendo c a velocidade da luz (igual a 3.10^8 m/s), a velocidade v de propagação numa linha isolada de poliestireno de constante dielétrica igual a **2,5** será $v = c/\sqrt{2,5} = 0,63c = 189.10^6 \text{ m/s}$.

O comprimento de onda da corrente de alta frequência, que é igual a $\lambda = c/f$, sendo f a frequência da corrente em **Hz**, será nesta linha $\lambda_i = 0,63c/f$; com o polieteno de $\epsilon = 2,3$ o comprimento de onda será $\lambda_i = 0,66c/f$.

2.4.3 Ondas estacionárias

Denomina-se onda ao movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio. As ondas podem ser classificadas :

_ quanto à natureza: em Mecânica- que precisa um meio natural para propagar-se; e Electromagnética- não necessita de um meio natural para propagar-se.

_quanto à direcção de vibração: em ondas transversais- que possuem vibrações perpendiculares à direcção da propagação; e ondas Longitudinais- as vibrações coincidem com a direcção da propagação.

_quanto à direcção da propagação: em Unidimensionais- propagam-se numa só direcção; Bidimensionais- propagam-se num plano; e Tridimensionais- propagam-se em todas as direcções.

Ondas Estacionárias são as ondas resultantes da superposição de duas ondas com : mesma frequência, mesma amplitude, mesmo comprimento de onda, mesma direcção e sentidos opostos.

Ao atingirem a extremidade fixa, elas se reflectem, voltando com sentido contrário ao anterior. Dessa forma , as perturbações se superpõem às outras que estão chegando à parede ,originando o fenómeno das ondas estacionárias.

As principais propriedades das ondas estacionárias são:

- Possuem energia mas não propagam essa energia ($V=0$).
- Os nós não vibram.
- Os ventres vibram com amplitude máxima **2A**.
- Nos nós ocorre interferência destrutiva.
- Nos ventres ocorre interferência construtiva.
- A distância que separa 2 nós consecutivos vale $\lambda/2$.
- A distância que separa 2 ventres consecutivos vale $\lambda/2$.

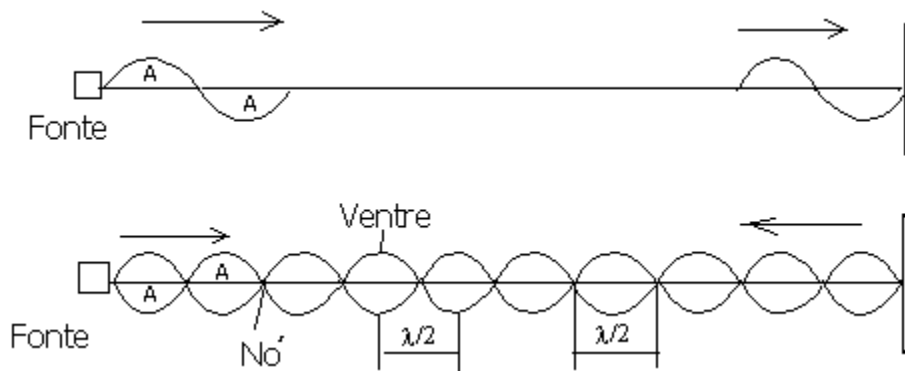


Fig.22

2.5 Síntese do projecto de sistema de antenas em Telecomunicações

O interesse desta parte centrar-se-à na instalação de antenas receptoras de rádio e TV.

Para a modulação de amplitude (AM), usamos como antena uma barra de ferrite de pequenas dimensões e poucas perdas dieléctricas que permitam concentrar as linhas do campo. Este ferrite, de alguns centímetros de longitude, se instala no próprio receptor; uma bobina enrolada sobre o ferrite permite a sua adaptação.

Instalar uma antena para a modulação de frequência FM, ou para a TV, exige ter em conta os efeitos mecânicos tais como : peso, resistência ao vento e a corrosão, e efeitos técnicos tais como os diversos meios de encaminhar a energia eléctrica induzida na antena aos bornes do receptor.

Considerações Técnicas

a) Exemplo da escolha de uma antena

Para a recepção de um emissor no canal de TV ($202 \div 209 \text{ MHz}$) se deve colocar uma antena de modo que a tensão de entrada ao receptor supere os $180 \mu\text{V}$ para obter uma boa imagem. A intensidade do campo nesse lugar é de $200 \mu\text{V/m}$. A frequência média utilizada será: $\frac{202 + 209}{2} = 205,5 \text{ MHz}$, a que corresponde um comprimento de onda : $\lambda =$

$$\frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{205,5 \cdot 10^6} = 1,46 \text{ m}$$

Para que a tensão induzida não seja mascarada pelo ruído e que as perdas na linha de transmissão sejam tidas em conta, exigiremos o dobro da tensão induzida isto é, $2 \times 180 \mu\text{V} = 360 \mu\text{V}$.

A altura eficaz da antena se pode obter a partir de $V = E \cdot h_e$, portanto

$$h_e = \frac{V}{E} = \frac{360 \cdot 10^{-6}}{200 \cdot 10^{-6}} = 1,8 \text{ m}$$

Se escolhemos uma antena yagi, seu ganho deverá ser: $h_e = \frac{\lambda}{\pi} G$, de onde

$$G = h_e \frac{\pi}{\lambda} = \frac{1,8 \cdot 3,14}{1,46} = 3,85$$

b) Seleccção da linha de transmissão

Tecnologia das Telecomunicações

A linha por escolher deve ter uma impedância característica perfeitamente definida para a sua adaptação em transmitir a máxima energia eléctrica. Sua radiação no espaço circundante deverá ser a menor possível.

São utilizados dois tipos de linhas: o cabo bifilar e o cabo coaxial.

O cabo bifilar plano é um sistema de dois condutores paralelos e de igual diâmetro. Estão suportados por um molde de polietileno de excelentes características dieléctricas. Sua

impedância é aproximadamente **300Ω**; seu valor exacto vem dado por $Z=276\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}\log$

$\frac{B}{2A}$ (2.21), onde μ é a permeabilidade do condutor, ϵ é a constante dieléctrica do material (isolador), **B** a distância entre os eixos dos dois condutores, **2A** é o diâmetro dos dois condutores.

A fórmula anterior é válida quando a relação **B/2A** é muito grande; no caso contrário a resistência diminui.

O cabo bifilar tem os inconvenientes de ser muito sensível aos parasitas e é pouco resistente aos factores atmosféricos. Estes inconvenientes são menores quando o cabo se instala dentro de uma vivenda. As perdas de energia para um cabo de **100m** de comprimento têm uma atenuação média de **4dB** a **50MHz**, **7,5dB** a **200MHz** e **14,4dB** a **500MHz**.

O cabo coaxial se compõe de um condutor central rodeado de uma malha metálica que constitui o segundo condutor, e que está conectado a terra. O espaço entre eles está preenchido de polietileno como dieléctrico.

A impedância de um cabo coaxial vem dada por: $Z=138\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}\log\frac{B}{2A}$ (2.21^a), onde **B** é o diâmetro do condutor externo, **2A** o diâmetro do condutor interior.

O valor médio desta impedância é de **72Ω**; a atenuação é maior que a do cabo bifilar: **6,2dB** a **50MHz**, **11dB** a **100MHz**, **15dB** a **200MHz** e **30,5dB** a **800MHz**, com **100m** de comprimento.

Este cabo oferece a vantagem de ser mais flexível, entretanto é mais caro e se emprega sobre tudo quando existe a possibilidade de receber sinais parasitas.

A adaptação de impedâncias deve ser perfeita, sobre tudo em **UHF**. Uma desadaptação provoca numerosos problemas: imagens duplas em televisão, perda de sinal, alteração das características da antena e sobre tudo uma deformação do diagrama de radiação. Se for preciso devemos utilizar um sistema de adaptação de impedâncias como por exemplo um transformador.

Considerações Mecânicas

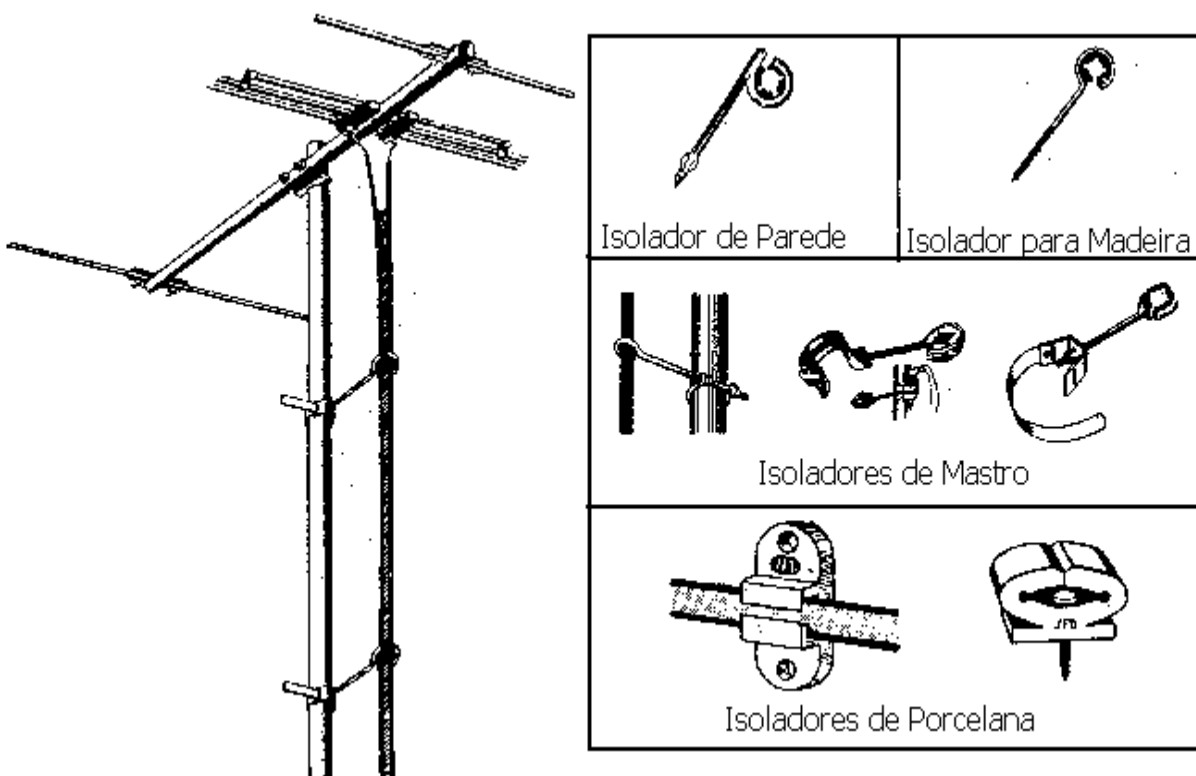
Referem-se a resistência ao vento e a corrosão, a natureza dos cabos utilizados (cabos metálicos que suportam o mastro), a fixação da antena ao mastro e a sua posição de orientação. A antena deve ser colocada de modo mais seguro sobre um mastro que deverá suportar o peso da antena e resistir as pressões laterais do vento.

Para não sofrer perturbações devido as reflexões, recomenda-se utilizar uma antena directiva orientando-a na direcção de máxima recepção. Para evitar as perturbações provocadas por ruídos electromagnéticos, gerados por automóveis e outras máquinas, se fixará a antena o mais alto possível.

O mastro poderá fixar-se sobre a parede de um chaminé , um muro, ou sobre uma torre. Como cabo de suporte podemos usar fio de ferro galvanizado de **2 a 3 mm** de espessura , pelo que se oxida rapidamente. Também serve um fio de cobre de **2 a 3mm** de espessura, ou mesmo um par trançado forrado de PVC (cloreto de polivinil).

A fixação da antena ao mastro se realiza mediante um suporte de ferro galvanizado ou cadmiado (coberto de cádmio), com parafusos; esta recobertura destina-se a impedir a oxidação; recomenda-se vernizar os parafusos uma vez finalizada a montagem. A linha de transmissão deverá permanecer isolada do mastro. Se a antena se encontra próxima a fábricas de produtos químicos ou ao mar, recomenda-se pintar o mastro com uma pintura a base de cromato de zinco.

Fig.23 Sujeição da Linha de Transmissão ao Mastro mediante Isoladores de Mastro



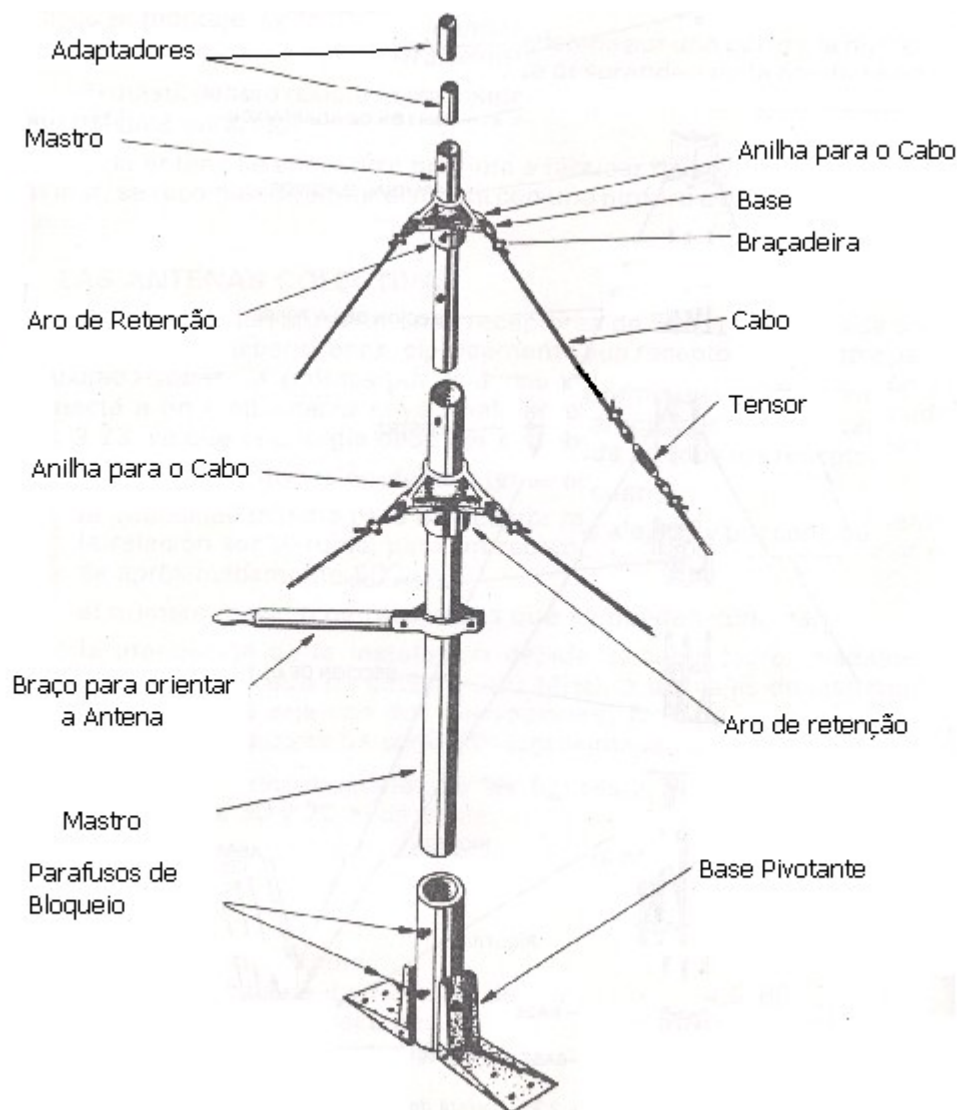


Fig.24 - Montagem dos Cabos sobre o Mastro de uma Antena

Antenas Colectivas

Uma separação entre antenas receptoras de 5 a 6 comprimentos de onda, é suficiente para perturbar recíprocamente seus receptores. Também as considerações de ordem estética têm motivado que vários receptores próximos sejam alimentados por uma única antena. A antena comum conecta-se a um amplificador cuja finalidade é amplificar o sinal captado, já que a energia deve ser distribuída a todos os receptores.

Uma rede de distribuição deverá ter em conta:

- _ a tensão mínima para o receptor mais afastado (para um receptor de TV este valor é aproximadamente **500 μ V**), e por conseguinte a relação sinal/ruído;
- _ o número máximo de receptores que se podem conectar;

Tecnologia das Telecomunicações

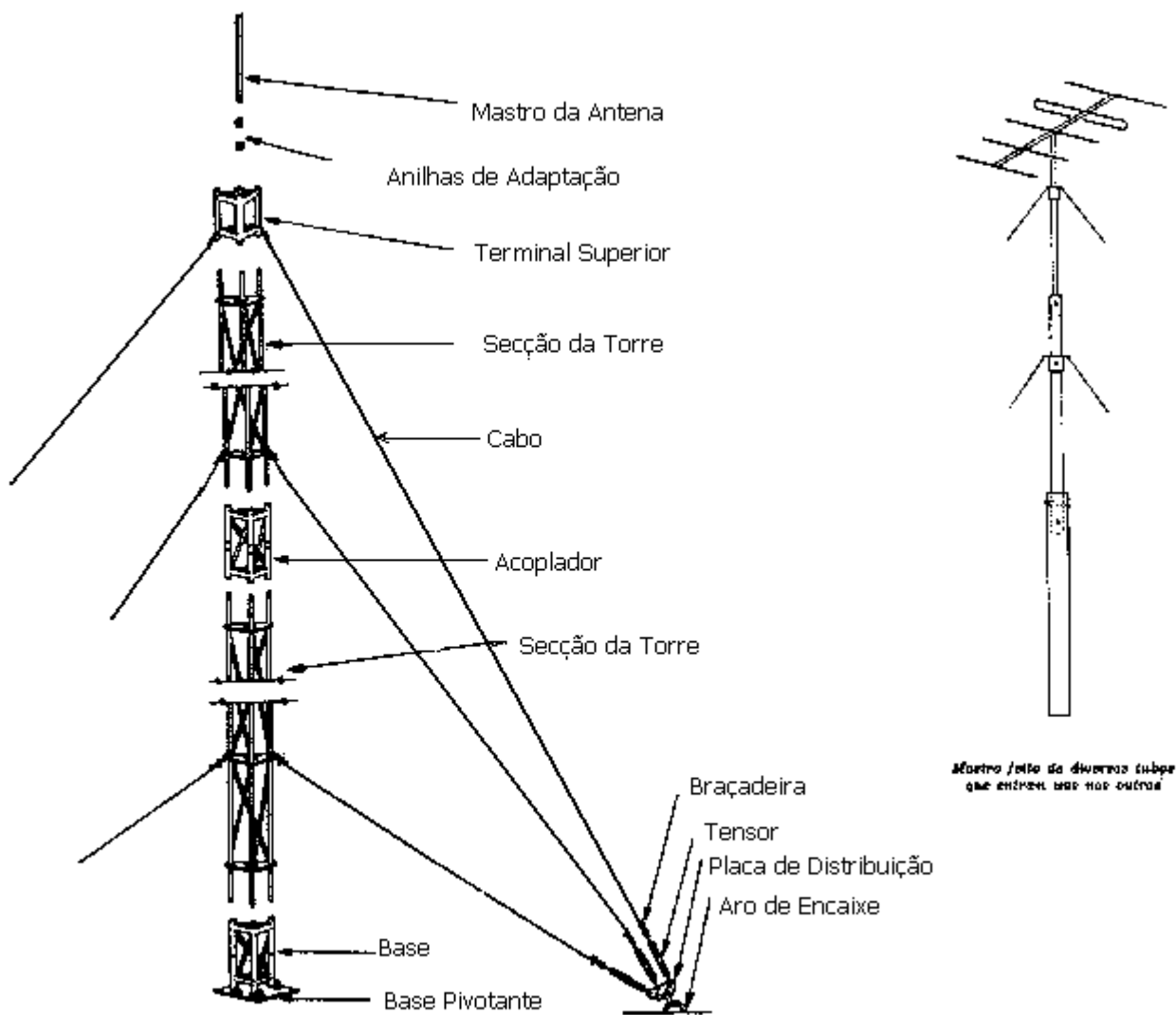


Fig.25 - Torre de Antena

a atenuação da instalação devida a linha de transmissão ($\sim 0,15\text{dB}$ por metro a **200MHz**), as caixas de distribuição (4dB por uma caixa com duas derivações, **7dB** para três, **9dB** para quatro) e as caixas de conexão ou tomadas ($\sim 1\text{dB}$).

Por exemplo:

a) para 30m linha de transmissão, as perdas para a última derivação serão:

30m de cabo	4,5dB
uma caixa de distribuição de 3 derivações	7 dB
<u>cinco tomadas</u>	<u>5 dB</u>
Total	16,5dB

A tensão na antena se for de **1500 μV** e se exigem **500 μV** nos bornes de cada receptor, significa que o sinal da antena é três vezes superior ao necessário, isto é: **$20\log 3 = 9,5\text{dB}$** . O amplificador que precisamos terá que amplificar o sinal da antena **$16,5 - 9,5 = 7\text{dB}$** , e ter portanto um ganho em tensão de **2,24**.

b) Para uma linha de 20m, a atenuação será :

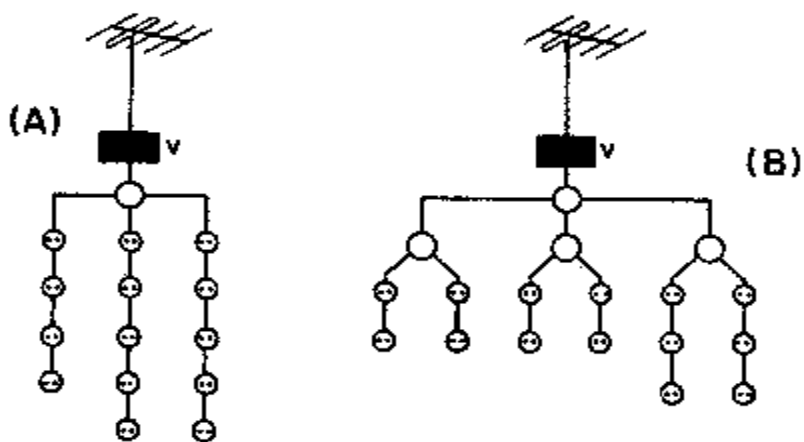
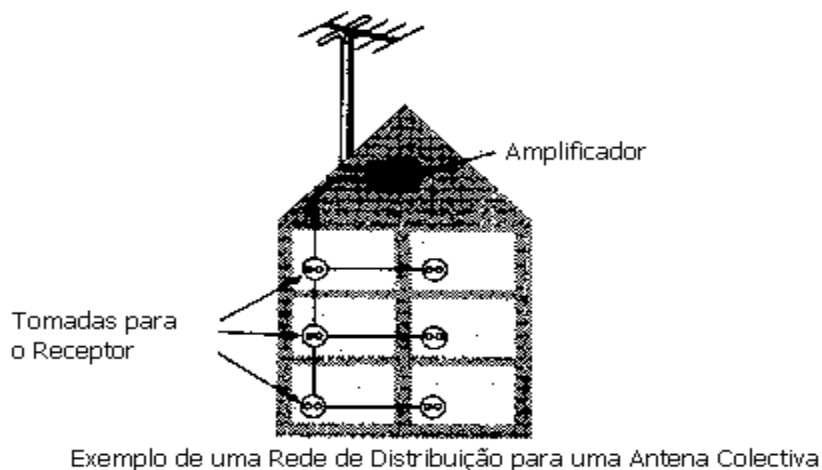
Uma caixa de 3 derivações 7dB

Tecnologia das Telecomunicações

Uma caixa de 2 derivações	4dB
Três tomadas	3dB
20m de cabo	3dB
Total	17dB

Portanto o amplificador deverá amplificar o sinal de duas a três vezes.

Fig.26



Esquema da Rede de Distribuição

As Antenas Interiores

As antenas interiores permitem excelentes recepções em lugares privilegiados (campo muito forte, ausência de interferências), mas apresentam vários inconvenientes:

- _débil sinal recebido , por conseguinte uma relação sinal/ruído pequena;
- _grandes influências de ruído (veículos circulando pelos arredores, electrodomésticos);
- _recepção simultânea de ondas que seguem trajectórias diferentes, originando interferências.

A antena interior constitui uma solução aceitável, pelo que do seu emprego se deriva uma diminuição da qualidade de imagem de TV.

Capítulo III. FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS À PROPAGAÇÃO DE SINAIS DE TELECOMUNICAÇÕES

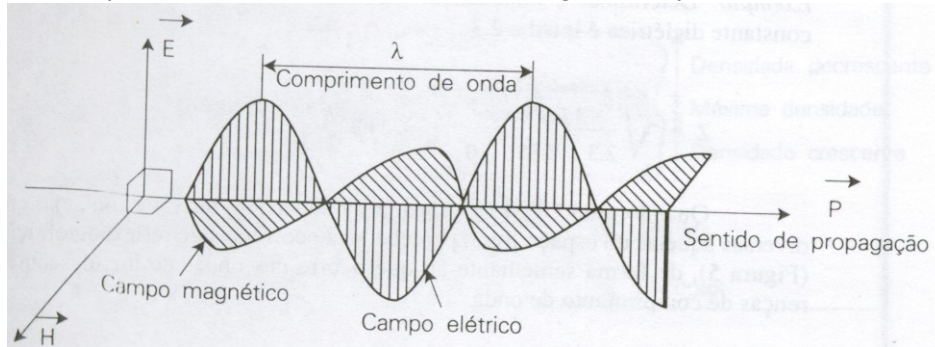
3.1 Introdução à propagação de sinais na atmosfera

Uma carga eléctrica em movimento devido a uma diferença de potencial provoca um campo eléctrico variável nas suas vizinhanças. Se nas proximidades dessa carga causadora do campo eléctrico existir uma outra carga eléctrica, esta sentirá os efeitos do campo e movimentar-se-á segundo ele. Chamamos a isso de "propagação" de um campo eléctrico variável.

Não podemos, porém, esquecer que cargas eléctricas em movimento provocam uma corrente eléctrica e a Física afirma que todo o condutor percorrido por corrente eléctrica cria ao seu redor um campo magnético. As linhas de força do campo magnético podem induzir a circulação de corrente eléctrica em um condutor separado fisicamente daquele causador do campo. Chamamos a isso de "propagação" de um campo magnético variável. Como é praticamente impossível separar a existência dos campos eléctrico e magnético, pois ambos são causados por cargas em movimento, devemos tratar da propagação de ondas, chamando-as "electromagnéticas", pois o campo eléctrico e o magnético caminham em conjunto no espaço.

Uma onda electromagnética (OEM) é composta por um campo eléctrico \vec{E} e um campo magnético \vec{H} perpendiculares entre si e ao sentido de propagação \vec{P} .

Fig.27 - Componentes de uma onda electromagnética (polarizada verticalmente)



A OEM propaga-se no vácuo (vazio) à velocidade da luz. Duas cristas consecutivas do campo eléctrico estarão separadas por uma distância igual ao comprimento de onda, dado por: $\lambda = \frac{c}{f}$ (3.1), onde λ (lambda) é o comprimento de onda, em metros; c é a velocidade da luz no vácuo, igual a 3.10^8 m/s; e f a frequência da OEM, em Hz.

Tipos de Propagação

Em função da faixa de frequências a ser transmitida podemos dividir os tipos de propagação em três grandes grupos, a saber:

__Ondas Terrestres: onde a superfície da terra se comporta como um condutor para a onda electromagnética. Propagam-se à frequências inferiores a 3MHz (VLF, LF e MF).

Tecnologia das Telecomunicações

Ondas Espaciais(ionosféricas ou indirectas): onde o princípio da propagação encontra-se na reflexão da onda nas camadas ionosféricas. Propagam-se à frequências que variam de **3MHz a 30MHz (HF)**.

Ondas Directas (troposféricas ou em visada directa): onde a propagação se dá como um feixe de luz , apenas em linha recta, sujeita aos fenómenos de reflexão, difracção e absorção em obstáculos. Propagam-se à frequências superiores a **30MHz (VHF, UHF e SHF)**.

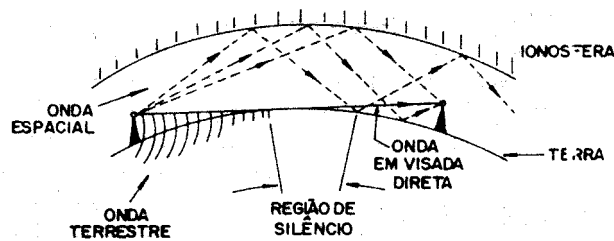


Fig.28 - Propagação de ondas

A onda espacial aproveita a constituição da atmosfera terrestre para efetuar a propagação, principalmente na ionosfera. Para frequências na faixa de **VLF(3kHz a 30kHz)**, a constituição da ionosfera comporta-se como um espelho para a incidência de OEM, reflectindo-as de forma praticamente perfeita.

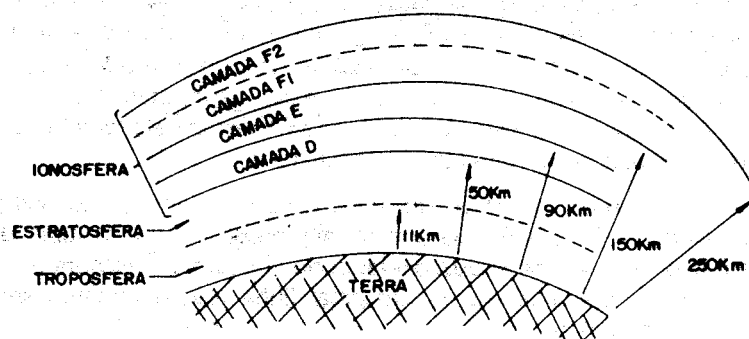


Fig.29 - Composição da atmosfera

No espaço , as OEM espalham-se uniformemente em todas as direcções a partir do ponto de origem, fazendo com que a densidade de potência seja inversamente proporcional ao quadrado da distância.

$$p = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (3.2)$$
, onde **p** é a densidade de potência à distância **r** de uma fonte isotrópica, em **W/m²**; **r** é a distância entre a origem e a frente de onda em **m**; **P_t** a potência transmitida em **W**.

Exemplo: calcular a densidade de potência a **10km** de uma fonte isotrópica de **10W**.

Solução:
$$p = \frac{10}{4\pi \cdot (10^4)^2} = 7,96 \text{ nW/m}^2$$

Obs. Uma fonte isotrópica é aquela que irradia uniformemente em todas as direcções.

Outra quantidade bastante relacionada com as OEM é a intensidade do campo eléctrico,

dada por
$$\vec{E} = \frac{\sqrt{30P_t}}{r} \quad (3.3)$$
, em **V/m**.

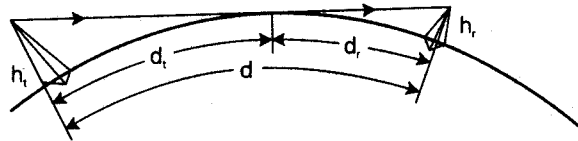
Para o exemplo anterior, a intensidade do campo será: $\vec{E} = \frac{\sqrt{30 \cdot 10}}{10^4} = 1,73 \text{ mV/m}$.

Da mesma maneira que no circuito eléctrico, a impedância é dada por E^2/P , pode-se obter a impedância característica de um meio de propagação através de:

$$Z = \frac{E^2}{P} = 30 \frac{P_t}{r^2} \div \frac{P_t}{4\pi r^2} = \frac{120 \cdot P_t \pi r^2}{P_t \cdot r^2} = 120\pi \Omega, \text{ portanto } Z = 120 \cdot 3,14 = 377 \Omega.$$

A impedância característica do meio de propagação pode também ser achada por $Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$ (3.4), onde μ é a permeabilidade do meio ($\mu = \mu_r \cdot \mu_0 = \mu_r \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$, μ_r permeabilidade relativa do material condutor, μ_0 permeabilidade no vácuo) e ϵ é a permissividade ou constante dieléctrica do meio ($\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 = \epsilon_r \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$, ϵ_r é constante dieléctrica relativa, ϵ_0 constante dieléctrica no vácuo).

As ondas directas propagam-se em linha recta e seu alcance é limitado ao horizonte óptico. Na verdade o horizonte de radio é 4/3 mais distante que o horizonte óptico.



Horizonte de rádio para ondas directas.

Fig.30

A máxima distância de transmissão de uma antena, ou seja, seu horizonte de radio é dado pela fórmula: $d_t = 4(h_t)^{1/2}$ (3.5), onde d_t é a distância em **km**, h_t é a altura da antena transmissora em metros.

A mesma fórmula aplica-se também à antena receptora. A distância entre as antenas transmissora e receptora é dada por: $d = 4(h_t)^{1/2} + 4(h_r)^{1/2} \text{ [km]}$ (3.6), onde h_r é a altura da antena receptora em metros.

Exemplo: Qual a distância máxima entre a antena transmissora e a receptora para $h_t = 50\text{m}$ e $h_r = 20\text{m}$?

Solução: $d = 4(50)^{1/2} + 4(20)^{1/2} = 28,3 + 17,9 = 46,2 \text{ km}$, portanto $d = 46,2 \text{ km}$.

3.2- Estudo da relação sinal / ruído

A relação sinal/ruído, **S/N** (em inglês, Signal/Noise), é o parâmetro que mostra a qualidade do equipamento usado nas telecomunicações.

O que nos interessa é o sinal, por isso, quanto menor for o ruído, maior será a relação **S/N** e por conseguinte, melhor será a comunicação.

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Sinal}}{\text{Ruido}} \Rightarrow \begin{array}{l} \text{maior S/N} \rightarrow \text{Melhor} \\ \text{menor S/N} \rightarrow \text{Pior} \end{array}$$

Tecnologia das Telecomunicações

A relação sinal/ruído (**dB**) corresponde à diferença entre o nível de sinal recebido e o nível de ruído inerente ao meio de transmissão. Em unidades lineares, **S/N** corresponde a razão entre a potência do sinal e a potência do ruído.

Para **S** e **N** dados em Watt, em **dB** será: $\frac{S}{N} [dB] = 10 \log \frac{S}{N}$ (3.7)

Para **S** e **N** dados em Volt, em **dB** será: $\frac{S}{N} [dB] = 20 \log \frac{S}{N}$ (3.7a).

O dB (deciBel)

O **dB** é uma unidade logarítmica muito usada em telecomunicações, por pelo menos dois motivos :

- O ouvido humano tem resposta logarítmica (sensação auditiva versus potência acústica)
- Em telecomunicações, se usam números extremamente grandes ou pequenos. O uso de logaritmos torna estes números pequenos e fáceis de manipular, e transforma produtos em somas e divisões em subtrações.

O **dB** é "um número" relativo e permite representar relações entre duas grandezas de mesmo tipo, como relações de potências, tensões, correntes ou qualquer outra relação adimensional.

Portanto, permite definir ganhos e atenuações, relação sinal/ruído, dinâmica, etc...

Por definição, uma quantidade **q** em **dB** é igual a 10 vezes o logaritmo decimal da relação de duas potências, ou seja : **q(dB) = 10 log (P₁ / P₂)** (3.8) .

Como a potência é proporcional ao quadrado da tensão dividida pela resistência do circuito, temos, aplicando as propriedades dos logaritmos (o **log.** do quadrado de **n** é duas vezes o log. de **n**) :

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 R \Rightarrow$$

$$q(dB) = 10 \log [(V_1^2 / R_1) / (V_2^2 / R_2)] = 10 \log [(V_1^2 / V_2^2) * (R_2 / R_1)] \\ = 10 \log [(V_1 / V_2)^2 * (R_2 / R_1)]$$

$$q (dB) = 20 \log (V_1 / V_2) + 10 \log (R_2 / R_1) \quad (3.8^a)$$

Quando **R₁=R₂** ,ou seja, na mesma resistência : **q(dB) = 20 log (V₁ / V₂)** (3.8b), porque **10 log 1=0**

Para ganhos por ex., **P₂** é a potência de entrada e **P₁** a potência de saída do circuito.

Para atenuações, **P₁** é a potência de entrada e **P₂** a potência de saída.

Atenuação é o inverso do ganho (em unidades lineares) e é igual ao ganho em **dB** com sinal trocado.

A tabela seguinte fornece alguns valores típicos :

q (dB)	P₁ / P₂	V₁ / V₂
120	1 000 000 000 000	1 000 000
90	1 000 000 000	31 600
60	1 000 000	1 000

Tecnologia das Telecomunicações

30	1 000	31,6
20	100	10
10	10	3,16
6	4	2
3	2	1,414
0	1	1
-3	0,5	0,707
-6	0,25	0,5
-10	0,1	0,316
-20	0,01	0,1
-30	0,001	0,0316
-60	0,000 001	0,001
-120	0,000 000 000 001	0,000 001

Observe que 0 **dB** (zero **dB**) equivale a uma relação de 1. E 3 **dB** equivale a uma relação de 2 (em potência), e 10 **dB** por acaso equivale a uma relação de 10.

Resumindo : 3 **dB** equivale a multiplicar por 2

10 **dB** equivale a multiplicar por 10

-3 **dB** equivale a dividir por 2

-10 **dB** equivale a dividir por 10

É fácil converter qualquer valor inteiro de **dB** na relação correspondente, usando apenas 3 e 10 dB. Por ex., 17 **dB**:

17 = 10 + 10 - 3 **dB** ou em unidades lineares $10 \times 10 / 2 = 50$.

Portanto 17 **dB** equivale a uma relação de 50.

3.3 - Figura de Mérito e ruído em Telecomunicações

3.3.1 Figura de Mérito

Quando trabalhamos com formas de onda senoidais ou de qualquer outra forma , o termo **Q** é frequentemente encontrado. O seu significado pode ser expresso de várias maneiras, mas a sua interpretação mais conhecida é que ele é a medida de capacidade de armazenamento de energia de um circuito ou componente. Por exemplo, um indutor ou capacitor puro pode apenas armazenar energia e assim dissipa potência nula. Qualquer resistência de circuito, todavia, dissipa energia em forma de calor. Então **Q** é a figura de mérito que compara a possibilidade de armazenamento de energia de um circuito ou componente com aquela dissipada em forma de calor .

Por outras palavras, **Q** é designado por factor de qualidade, associado ao circuito ressonante, e que descreve a habilidade do circuito em produzir um amplo (grande) sinal de saída na frequência de ressonância.

A expressão geral de **Q** é: $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ (3.9), onde **R** é a resistência do circuito, **L**- a indutância e **C** - a capacitância.

Para um simples circuito ressonante série à frequência de ressonância $\omega_0 L = 1/(\omega_0 C)$,

então $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$ ou $Q = \frac{1}{\omega_0 CR}$ (3.9ª)

Esta é a razão entre a reactância total indutiva ou capacitiva e a resistência série total na ressonância.

Também pode expressar-se por $Q=|V_C/V_{ap}|$ (3.9b), onde V_C é a tensão no capacitor e V_{ap} a tensão aplicada ao circuito.

Para o caso de um circuito ressonante paralelo, o valor da frequência ressonante é dado

por $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{Q^2}}$ (3.10). Esta é ligeiramente diferente do caso série onde $\omega_0 =$

$\sqrt{\frac{1}{LC}}$ (3.10^a). Entretanto, se Q for grande, a diferença é desprezível. Isto pode ser mostrado que na ressonância, se Q for grande, $|I_C/I| = Q$ (3.11), onde I_C é a corrente no capacitor e I a corrente da fonte.

O circuito ressonante paralelo pode se usar como um transformador de corrente. A resistência paralela R_p dum circuito ressonante é definida como $1/Y$, onde Y é a admitância na ressonância e é real. $R_p = Q^2 R_s$ (3.12), onde R_s é a resistência série dos mesmos componentes dispostos como um circuito ressonante série.

3.3.2 Ruído nas Comunicações

Em qualquer transmissão, o sinal recebido consiste no sinal transmitido modificado por várias perturbações impostas pelas características do meio físico adicionadas a outras perturbações inseridas durante a transmissão devido à interferência de sinais indesejáveis denominados ruídos. O ruído é um dos maiores limitantes do desempenho de sistemas de comunicação.

Por outras palavras, se pode definir *o ruído como uma perturbação introduzida por uma fonte qualquer, podendo ser interna ou externa ao circuito.*

Os ruídos electromagnéticos são ondas cuja frequência e o momento do seu surgimento são imprevisíveis. Misturam-se com as emissões electromagnéticas limitando consideravelmente seu alcance, devido a que, embora sua potência é geralmente débil, quando o sinal transmitido se atenua até alcançar níveis de ordem similar ao da potência de ruído, este (o ruído) mascara o sinal dificultando sua detecção.

A origem dos ruídos electromagnéticos é diversa: cósmico, atmosférico, industrial. Existem ainda outros tipos de ruídos presentes em todo tipo de circuito eléctrico, cujas frequências e amplitudes podem ser muito variáveis.

Os *ruídos cósmicos* são radiações provenientes de diferentes astros. O sol é um emissor de ruídos não desprezíveis, sobre tudo durante as "tempestades solares", cuja duração pode variar entre alguns segundos e alguns dias.

Os *ruídos atmosféricos* são produzidos pelas descargas eléctricas (relâmpagos), trovoadas, pelas tempestades, precipitações (chuva, neve, nevoeiro); em função da estação do ano e do lugar geográfico. Estes ruídos produzem perturbações especialmente em ondas curtas e médias; sua influência é insignificante a cima dos **50 MHz**.

Os *ruídos industriais* são devidos principalmente ao funcionamento de motores eléctricos, automóveis, lâmpadas fluorescentes, interruptores e contactores de corrente, etc.

Os ruídos num receptor são *ruídos eléctricos*; devido que a distribuição de corrente num condutor nunca é linear. Em um condutor sempre existem nuvens de electrões que se deslocam esporadicamente por ele.

3.4- Estudo dos fenómenos atmosféricos e o seu efeito na propagação de sinais de Telecomunicações

Entre os vários fenómenos que perturbam as comunicações, destacam-se os seguintes: o desvanecimento, a absorção atmosférica, as tempestades magnéticas, o ruído atmosférico e o ruído artificial.

Desvanecimento (Fading) é uma flutuação que ocorre na intensidade de uma OEM devido, principalmente, à interferência entre duas ondas (uma espacial e outra terrestre) que incidem sobre a antena receptora. É um fenómeno muito comum na recepção de ondas curtas. Pode ser evitado pelo uso de duas ou mais antenas separadas de um comprimento de onda, pelo menos; ou ainda pela introdução de um circuito no receptor conhecido por "Controle Automático de Volume", este circuito tende a manter a saída do receptor independente, dentro de certos limites da variação do sinal da antena.

Absorção atmosférica (Fade-out): as ondas espaciais, por vezes, desaparecem como resultado de um grande aumento na absorção da ionosfera. Este aumento é devido à emissão irregular, em grande quantidade, de partículas ionizadas pelo sol que por sua vez provocam um aumento rápido e anormal da ionização de certas partes da ionosfera.

A cima de **10 GHz** a atmosfera absorve certas frequências (**60 e 120 GHz** na transmissão a longas distâncias; **23 e 180 GHz** quando o ar está bastante húmido), porque a energia electromagnética se transfere aos átomos e moléculas da atmosfera em forma de vibrações e ligeiro aquecimento.

Tempestades magnéticas: as alterações no campo magnético terrestre podem alterar o arranjo normal das camadas e dar origem à ionização de certas núvens na ionosfera que se movem de maneira irregular.

O efeito perturbador das tempestades magnéticas nas comunicações em que prevalece a onda espacial, é grande nas regiões próximas do polo, e de pequena importância nas regiões equatoriais.

Ruído atmosférico: o já visto no tema anterior, mais a "precipitação estática" (gotas de chuva carregadas de electricidade, flocos de neve, granizo, cristais de gelo, partículas de poeira), podem ser tão intensos, abafando os sinais de rádio mesmo quando a sua intensidade é grande.

Ruído artificial: tem origem nas faíscas ou pequenos arcos eléctricos que se formam durante o funcionamento dos equipamentos eléctricos e que por um processo idêntico ao da formação das ondas de rádio, produzem OEM.

Capítulo IV- FIBRA ÓPTICA

4.1- Introdução

Definição:

Tecnologia das Telecomunicações

Uma fibra óptica é constituída de material dielétrico, em geral, sílica ou plástico, em forma cilíndrica, transparente e flexível, de dimensões microscópicas comparáveis às de um fio de cabelo. Esta forma cilíndrica é composta por um núcleo envolto por uma camada de material também dielétrico, chamada casca. Cada um desses elementos possuem índices de refração diferentes, fazendo com que a luz percorra o núcleo reflectindo na fronteira com a casca.



Fig.31 - Fibra Óptica

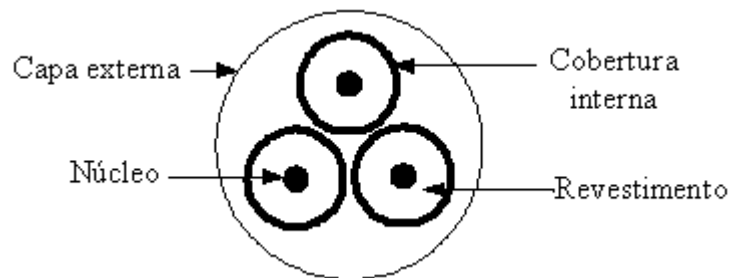


Fig.31a - Extremidade de um cabo com três fibras

A fibra óptica utiliza sinais de luz codificados para transmitir os dados, necessitando de um conversor de sinais eléctricos para sinais ópticos, um transmissor, um receptor e um conversor de sinais ópticos para sinais eléctricos.

A atenuação das transmissões não depende da frequência utilizada, portanto a taxa de transmissão é muito mais alta. É totalmente imune a interferências electromagnéticas, não precisa de aterramento e mantém os pontos que liga electricamente isolados um do outro. Entretanto, pode ocorrer dispersão modal se a fibra for multimodo. A transmissão óptica está também sujeita à dispersão espectral ou cromática. A luz que passa na fibra é feita de diferentes frequências e comprimentos de onda. O índice de refração difere para cada comprimento de onda e permite às ondas viajarem a diferentes velocidades. Os LEDs, que possuem um grande espalhamento de comprimento de onda, estão sujeitos a uma dispersão de espectro considerável. Os lasers exibem uma luz quase monocromática (número limitado de comprimentos de onda) e não sofre qualquer dispersão cromática significativa.

Vantagens:

- perdas de transmissão baixa e banda passante grande: mais dados podem ser enviados sobre distâncias mais longas, desse modo se diminui o número de fios e se reduz o número de repetidores necessários nesta extensão, reduzindo o custo do sistema e complexidade.
- pequeno tamanho e peso: vem resolver o problema de espaço e descongestionamento de dutos no subsolo das grandes cidades e em grandes edifícios comerciais. É o meio de transmissão ideal em aviões, navios, satélites, etc.

Tecnologia das Telecomunicações

- imunidade a interferências: não sofrem interferências electromagnéticas, pois são compostas de material dielétrico, e asseguram imunidade a pulsos eletromagnéticos.
- isolação eléctrica: não há necessidade de se preocupar com aterramento e problemas de interface de equipamento, uma vez que é constituída de vidro ou plástico, que são isolantes eléctricos.
- segurança do sinal: possui um alto grau de segurança, pois não irradiam significativamente a luz propagada.
- matéria-prima abundante: é constituída por sílica, material abundante e não muito caro. Sua despesa aumenta no processo requerido para fazer vidros ultra-puros desse material.

Desvantagens:

- fragilidade das fibras ópticas sem encapsulamento: deve-se tomar cuidado ao se lidar com as fibras, pois elas quebram com facilidade.
- dificuldade de conexões das fibras ópticas: por ser de pequeníssima dimensão, exigem procedimentos e dispositivos de alta precisão na realização de conexões e junções.
- acopladores tipo T com perdas muito grandes: essas perdas dificultam a utilização da fibra óptica em sistemas multiponto.
- impossibilidade de alimentação remota de repetidores: requer alimentação eléctrica independente para cada repetidor, não sendo possível a alimentação remota através do próprio meio de transmissão.
- falta de padronização dos componentes ópticos: o contínuo avanço tecnológico e a relativa imaturidade não tem facilitado o estabelecimento de padrões.
- alto custo de instalação e manutenção.

Aplicações:

- **sistemas de comunicação**
 - Rede Telefónica: serviços de tronco de telefonia, interligando centrais de tráfego interurbano e interligação de centrais telefónicas urbanas.
 - Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI): rede local de assinantes, isto é, a rede física interligando os assinantes à central telefónica local.
 - Cabos Submarinos: sistemas de transmissão em cabos submarinos.
 - Televisão por Cabo (CATV): transmissão de sinais de vídeo através de fibras ópticas.

Tecnologia das Telecomunicações

- Sistema de Energia e Transporte: distribuição de energia eléctrica e sistema de transmissão ferroviário.
- Redes Locais de Computadores: aplicações em sistemas de longa distância e locais. Na busca de padrões a fim de facilitar a conectividade e minimizar os custos de aquisição e implantação com fibras ópticas, foi desenvolvido o FDDI(fiber distributed data interface).
- **sistemas sensores**
 - Aplicações industriais: sistemas de telemetria e supervisão em controle de processos.
 - Aplicações médicas: sistemas de monitoração interna ao corpo humano e instrumentação cirúrgica.
 - Automóveis: monitoração do funcionamento do motor e acessórios.
- **aplicações militares**

Funcionamento:

O sinal luminoso é transmitido para a fibra óptica sob a forma de pulso '0'/1' representando uma sequência de símbolos binários. As ondas passam através do núcleo do cabo, que é coberto por uma camada chamada casca (ou revestimento). A refração do sinal é cuidadosamente controlada pelo desenho do cabo, os receptores e os transmissores. O sinal luminoso não pode escapar do cabo óptico porque o índice de refração no núcleo é superior ao índice de refração do cladding. Deste modo, a luz viaja através do cabo num caminho todo espelhado.

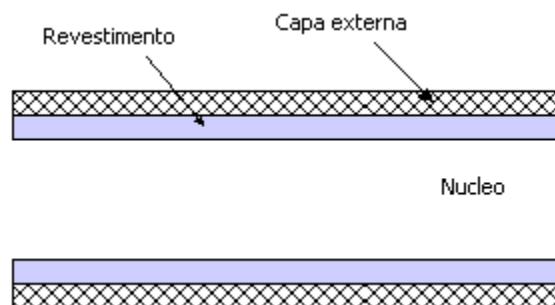


Fig.32 - Visão longitudinal de uma fibra óptica

A fonte emissora da luz é usualmente um laser ou um LED. Os lasers proporcionam para uma grande largura de banda um rendimento da capacidade que é significativamente maior do que outros métodos. Por exemplo, um cabo de dois fios tem um parâmetro de distância de largura de banda de **1Mhz/Km**, um cabo coaxial tem **20 Mhz/Km**, e a fibra óptica tem **400 Mhz/Km**. O sinal é emitido a partir de microchips compostos por materiais semicondutores que transmitem sinais com comprimentos de onda perto dos infra-vermelhos. Os detectores de luz de sílica são usados para receber os sinais e

converter os raios luminosos nos pulsos eléctricos '0'/'1' originais que são usados no terminal, computador ou modem.

Há vários métodos para transmitir os raios luminosos através da fibra: multimodo com índice degrau, multimodo com índice gradual e monomodo.

4.2-Fibra Óptica Multimodo com Índice Degráu

Foi o primeiro tipo a surgir e é também o mais simples. Na fibra multimodo com índice degrau, o núcleo e o cladding estão claramente definidos. O núcleo é constituído de um único tipo de material (plástico, vidro), ou seja, tem índice de refacção constante, e tem diâmetro variável, entre **50 e 400 μm** . Os raios de luz reflectem no revestimento em vários ângulos, resultando em comprimentos de caminhos diferentes para o sinal. Isto causa o espalhamento do sinal ao longo da fibra e limita a largura de banda do cabo para aproximadamente **35 Mhz.km**. Este fenómeno é chamado dispersão modal. A atenuação é elevada (maior que **5 dB/km**), fazendo com que essas fibras sejam utilizadas em transmissão de dados em curtas distâncias e iluminação.

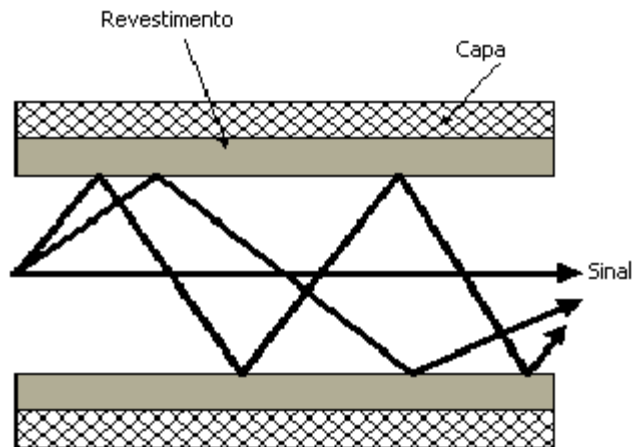
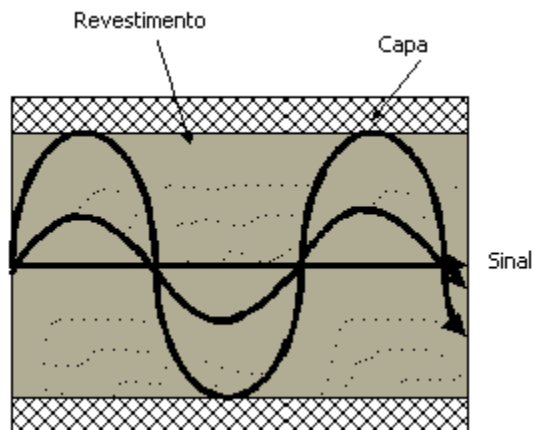


Fig.33 - fibra óptica multimodo com índice degrau

4.3-Fibra Óptica Multimodo com Índice Gradual

Tecnologia das Telecomunicações

Num desenvolvimento melhor, chamado multimodo com índice gradual, a interface núcleo/revestimento é alterada para proporcionar índices de refração diferentes



dentro do núcleo e do revestimento. Os raios de luz viajam no eixo do cabo encontrando uma grande refração, tornando baixa sua velocidade de transmissão. Os raios que viajam na direção do cabo tem um índice de refração menor e são propagados mais rapidamente. O objectivo é ter todos os modos do sinal à mesma velocidade no cabo, de maneira a reduzir a dispersão modal. Essa fibra pode ter larguras de banda de até **500 Mhz.km**. O núcleo tem, tipicamente, entre **125 e 50 μm** e a atenuação é baixa (**3 dB/km**), sendo por esse motivo empregada em telecomunicações.

Fig.34 - fibra óptica multimodo com índice gradual

4.4- Fibra Óptica Monomodo

A fibra monomodo vai um passo à frente. O tamanho do núcleo, **8 micrómetros** (**3 a 10 μm**) de diâmetro, e o índice núcleo/revestimento permite que apenas um modo seja propagado através da fibra., consequentemente diminuindo a dispersão do pulso luminoso. A emissão de sinais monomodo só é possível com laser, podendo atingir taxas de transmissão na ordem de **100 GHz.km**, com atenuação entre **0,2 dB/km** e **0,7 dB/km**. Contudo, o equipamento como um todo é mais caro que o dos sistemas multimodo. Essa fibra possui grande expressão em sistemas telefônicos.

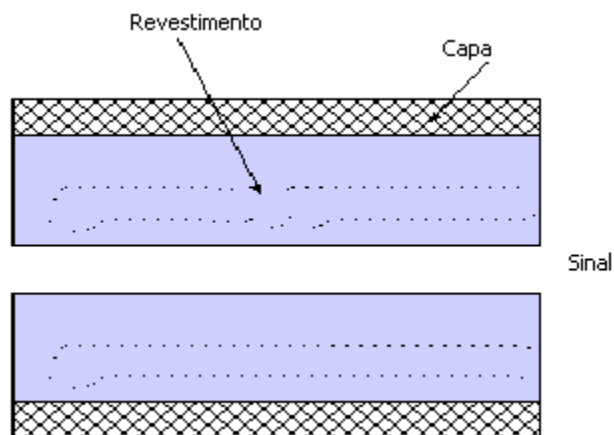


Fig.35 - fibra óptica monomodo

4.5- Transmissores e Receptores ópticos

4.5.1 -Transmissores Ópticos

São responsáveis por converter sinais eléctricos em sinais ópticos que irão trafegar na fibra. A fonte óptica é modulada pela sua intensidade, através da variação da corrente eléctrica injectada no gerador óptico. A fonte óptica é um semiconductor, e pode ser de dois tipos:

- LED (Light-Emitting Diode) utiliza o processo de fotogeração por recombinação espontânea. São utilizados em sistemas de comunicação que exijam taxas de transferência menores do que **100 a 200 Mbits/s**.
- Diodo LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) utiliza o processo de geração estimulada de luz.

Diferenças Funcionais entre LEDs e LASERs

Características	Laser	LED
Potência Ótica	alta	Baixa
Custo	alto	Baixo
Utilização	complexa	simples
Largura do Espectro	estreita	Larga
Tempo de Vida	menor	Maior
Velocidade	rápido	Lento
Divergência na Emissão	menor	Maior
Acoplamento na Fibra Monomodal	melhor	Pior
Sensibilidade a Temperatura	substancial	Insignificante
Taxa de Dados	alta	Baixa
Modo	multimodo ou monomodo	Multimodo
Distância	longa	Pequena

4.5.2 -Receptores Ópticos

Também chamados de fotodetectores, são responsáveis pela conversão dos sinais óticos recebidos da fibra em sinais eléctricos. Devem operar com sucesso nos menores níveis de potência ópticas possíveis, convertendo o sinal com um mínimo de distorção e ruído, a fim de garantir o maior alcance possível.

Os fotodetectores mais utilizados são os fotodiodos, e os mais comuns são PIN (junção PN com Impurezas) e APD (Avalanche PhotoDiode).

Diferenças Funcionais entre Fotodiodos PIN e APD

Características	PIN	APD
Sensibilidade	menor	muito maior

Tecnologia das Telecomunicações

Linearidade	maior	Menor
Relação Sinal/Ruído	pior	melhor
Custo	baixo	Alto
Vida Útil	maior	Menor
Tempo de Resposta	maior	Menor
Variação das Características conforme a Variação	menor	Maior
Circuito de polarização	simples	complexo

4.6 - Comparação das Fibras Ópticas e dos Fios de Cobre

É instrutivo comparar a fibra com o cobre. A fibra tem muitas vantagens. Para começo de conversa, ela pode gerenciar larguras de banda muito mais largas do que o cobre. Apenas essa característica justificaria seu uso nas redes de última geração. Devido à baixa atenuação, os repetidores só são necessários a cada **30Km** de distância, o que em comparação com o cobre, representa uma economia significativa. A fibra também tem a vantagem de não ser afetada por picos de voltagem, interferência magnética ou quedas no fornecimento de energia. Ela também está imune à ação corrosiva de alguns elementos químicos que pairam no ar e, conseqüentemente, adapta-se muito bem a regiões industriais.

Além disso, a fibra é mais leve que o cobre. Mil pares trançados com **1 Km** de comprimento pesam **8t**. Duas fibras têm mais capacidade e pesam apenas **100Kg**, reduzindo de maneira significativa a necessidade de sistemas mecânicos de suporte, cuja manutenção é extremamente cara. Apesar do cabo de fibra óptica custar **10** vezes mais que o cabo de cobre, ele transporta **39** mil vezes mais informações. A capacidade de uma fibra óptica corresponde a cerca de **400** fios metálicos duplos. Desta forma, um cabo com **400** fios de cobre permite a realização de 3000 conversas telefônicas, enquanto um cabo de **12** fibras ópticas, permite **9600** conversas.

Por fim, as fibras não desperdiçam luz e dificilmente são interceptadas. Por essas razões, trata-se de uma alternativa muito mais segura contra possíveis escutas telefônicas.

A razão para que a fibra seja melhor do que o cobre é inerente às questões físicas subjacentes a esses dois materiais. Quando os elétrons se movem dentro de um fio, eles afetam um ao outro e, além do mais, são afetados pelos elétrons existentes fora do fio. Os fótons de uma fibra não afetam um ao outro (não têm carga elétrica) e não são afetados pelos fótons dispersos existentes do lado de fora da fibra.

Vale lembrar, no entanto, que a fibra é uma tecnologia nova, que requer conhecimentos de que a maioria dos engenheiros não dispõem. Como a transmissão é basicamente unidirecional, a comunicação bidireccional exige duas fibras e duas bandas de frequência em uma fibra. Finalmente, as interfaces de fibra são mais caras do que as interfaces elétricas.

APÊNDICE

NÚMEROS COMPLEXOS

A introdução dos números complexos decorre da impossibilidade de encontrar um número real que satisfaça a equação $x^2 + 1 = 0$ ou equações semelhantes.

Um número complexo z é um número $x + jy$, onde x e y são números reais e $j = (-1)^{1/2}$.
 $x = \text{Re}z$ é a parte real de z , $y = \text{Im}z$ é a parte imaginária de z , $j = (-1)^{1/2}$ é a unidade imaginária.

NOTAÇÃO DOS NÚMEROS COMPLEXOS

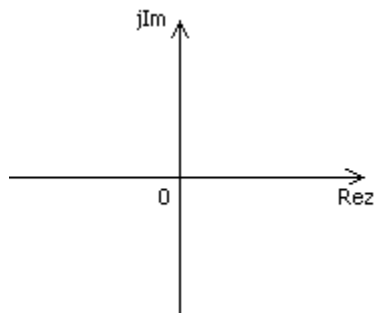
Um número complexo z pode ser escrito de quatro formas distintas:

$z = x + jy$ forma rectangular; $z = re^{j\theta}$ - forma exponencial; $z = r \angle \theta$ - forma polar (ou de Steinmetz) e $z = r(\cos\theta + j\sin\theta)$ - forma trigonométrica.

$|z| = r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ é o módulo (ou valor absoluto) de z ; ao passo que o ângulo $\theta = \arctg(y/x)$ é o argumento (ou fase) de z e expressa-se em graus.

PLANO COMPLEXO

Um par de eixos ortogonais (perpendiculares), com o eixo horizontal representando $\text{Re}z$ e o eixo vertical $j\text{Im}$, determinam um plano complexo, no qual cada número complexo é um ponto.



SOMA E SUBTRAÇÃO DE NÚMEROS COMPLEXOS

Para somar dois números complexos, some as partes reais e as partes imaginárias em separado.

Para subtrair dois números complexos, subtraia as partes reais e as partes imaginárias em separado.

A soma e subtração de números complexos pode ser realizada de modo conveniente somente quando ambos os números estão na forma rectangular.

Tecnologia das Telecomunicações

Exemplo: dados dois números $z_1=5-j2$ e $z_2=-3-j8$

$$z_1 + z_2 = (5-3) + j(-2-8) = 2-j10 \quad ; \quad z_1 - z_2 = (5+3) + j(-2+8) = 8+j6 \quad ;$$

$$z_2 - z_1 = (-3-5) + j(-8+2) = -8-j6$$

MULTIPLICAÇÃO

O produto de dois números complexos quando ambos estão na forma exponencial, segue-se directamente das leis dos expoentes .

$$z_1 z_2 = (r_1 e^{j\theta_1})(r_2 e^{j\theta_2}) = r_1 r_2 e^{j(\theta_1 + \theta_2)}$$

Na forma polar

$$z_1 z_2 = (r_1 \angle \theta_1)(r_2 \angle \theta_2) = r_1 r_2 \angle (\theta_1 + \theta_2)$$

Na forma rectangular pode ser achado tratando-se os dois números complexos como se fossem binómios.

$$z_1 z_2 = (x_1 + jy_1)(x_2 + jy_2) = x_1 x_2 + jx_1 y_2 + jy_1 x_2 + j^2 y_1 y_2 = (x_1 x_2 - y_1 y_2) + j(x_1 y_2 + y_1 x_2)$$

Exemplos:

$$z_1 = 5e^{j\pi/3} \quad \text{e} \quad z_2 = 2e^{-j\pi/6}, \text{ então } z_1 z_2 = 10e^{j\pi/6}$$

$$z_1 = 2 \angle 30^\circ \quad \text{e} \quad z_2 = 5 \angle -45^\circ, \text{ então } z_1 z_2 = 10 \angle -15^\circ$$

$$z_1 = 2 + j3 \quad \text{e} \quad z_2 = -1 - j3, \text{ então } z_1 z_2 = 7 - j9.$$

DIVISÃO DE NÚMEROS COMPLEXOS

Para dividir dois números complexos na forma exponencial , o quociente segue directamente a lei dos expoentes.

$$z_1 / z_2 = (r_1 e^{j\theta_1}) / (r_2 e^{j\theta_2}) = (r_1 / r_2) e^{j(\theta_1 - \theta_2)}$$

Na forma polar $z_1 / z_2 = (r_1 \angle \theta_1) / (r_2 \angle \theta_2) = (r_1 / r_2) \angle (\theta_1 - \theta_2)$

Na forma rectangular é realizada multiplicando-se o numerador e o denominador pelo conjugado do denominador.

$$z_1 / z_2 = [(x_1 + jy_1) / (x_2 + jy_2)] [(x_2 - jy_2) / (x_2 - jy_2)] =$$

$$= [(x_1 x_2 + y_1 y_2) + j(y_1 x_2 - y_2 x_1)] / (x_2^2 + y_2^2) =$$

$$= (x_1 x_2 + y_1 y_2) / (x_2^2 + y_2^2) + j(y_1 x_2 - y_2 x_1) / (x_2^2 + y_2^2)$$

Exemplos:

$$z_1 = 4e^{j\pi/3} \quad \text{e} \quad z_2 = 2e^{j\pi/6}, \text{ então } z_1 / z_2 = 2e^{j\pi/6}$$

$$z_1 = 8 \angle -30^\circ \quad \text{e} \quad z_2 = 2 \angle -60^\circ, \text{ então } z_1 / z_2 = 4 \angle 30^\circ$$

$$z_1 = 4 - j5 \quad \text{e} \quad z_2 = 1 + j2, \text{ então } z_1 / z_2 = [(4-j5)/(1+j2)][(1-j2)/(1-j2)]$$

$$= -6/5 - j13/5.$$

Resistência de radiação em função do factor $\lambda/(2d)$

$\lambda/(2d)$	50	60	70	100	200	400	1000	3000	10000	100000	∞
R [Ω]	56	58	59	60	61	62	62,8	64	65	67	73

d - é o diâmetro da antena.

Exemplos: $\lambda/(2d) = 10000$, a resistência R = 65 Ω

Tecnologia das Telecomunicações

$\lambda/(2d)=50$, a resistência $R=56\Omega$.

Quando o comprimento da antena é muito menor que $\lambda/4$, a resistência de radiação pode obter-se pela fórmula $R=80\pi^2(L/\lambda)^2$

Dimensões de uma antena Yagi com um reflector e três directores para VHF

Frequência [MHz]	50	144	220	432
Elemento alimentado*[cm]	281,9	98	64,6	33
Câmbio por MHz	5	0,63	0,31	0,08
Reflector [cm]	295,9	102,8	67,9	34,29
1º Director [cm]	267,9	93	61,2	31,2
2º Director [cm]	262,9	92,6	60,9	31,1
3º Director [cm]	257,8	91,7	60,6	31
$\lambda/2$ [cm]	300	104,1	68,1	34,7
$0,2\lambda$ [cm]	120	41,6	27,3	13,8

* O elemento alimentado mais usado para as antenas Yagi é o dipolo dobrado.

Exemplos: Se a frequência de trabalho for de **146MHz**, devemos reduzir todas as dimensões em $2 \times 0,63 = 1,26$ cm (visto que na tabela para **144MHz** o factor de câmbio por MHz é de 0,63, então $146-144=2$);

Para a frequência de **60MHz**, reduzimos todas as dimensões em $10 \times 5 = 50$ cm.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Las Antenas: D. Bensoussan, Instituto Oficial de Rádio y Television.
- 2- Fundamentos de Antenas: Belotserkovski, Boixareu Editores- 1983.
- 3- Manual das Antenas: R. Brault e R. Piat, Editora Presença, 2ª edição - 1981.
- 4- Telecomunicações -AM, FM- sistemas pulsados: Eng. Alcides T. Gomes, 10ª tiragem .
- 5- Telecomunicações: Juarez do Nascimento, Makron Books - 1992.
- 6- Análise de Circuitos CA: Adalton P. de Toledo, McGraw-Hill - 1976.
- 7- Redes Telefónicas: Adalton P. de Toledo, McGraw-Hill - 1976.
- 8- Manual de Instrução do Centro de Instrução "14 de Abril" da TAAG.
- 9- Dictionary of Electronics: E. C. Young, Penguin Books - 1988.
- 10- Tecnologia de Electrónica: , Plátano Editora.
- 11- Basic Communications Electronics: Jack Hudson, Master Publishing - 1999.
- 12- Theory and Problems of Analog and Digital Communication: Hwei P. Hsu, McGraw-Hill - 1993.
- 13- Cálculo Avançado : Murray R. Spiegel, McGraw-Hill - 1978.
- 14- Internet