

PROF.: PAULO GOMES

MATÉRIA: STRS1 – MOURA LACERDA

GERADOR DE SINAIS

No trabalho de manutenção, o técnico enfrenta situações em que é preciso usar equipamentos que o ajudem a descobrir e a corrigir defeitos em circuitos eletrônicos. O gerador de sinais é um destes equipamentos. O presente roteiro vai tratar do gerador de SINAIS e mostrar o modo correto de operar esse equipamento. Na área médica os geradores de sinais elétricos, como o Ultra-som terapêutico, TENS, FES e o Laser são usados normalmente para tratamentos, um dos recursos mais modernos é o laser, capaz de diminuir a dor, a inflamação, o edema e acelerar a cicatrização.

Para desenvolver os conteúdos e atividades desse roteiro, é necessário que você relembre os conteúdos de corrente alternada e resistência elétrica ministrada nas aulas teóricas.

O gerador de sinais é utilizado para calibrar e reparar circuitos eletrônicos, ou gerador de sinais da área médica. É um equipamento que fornece tensões elétricas com diversas formas de onda chamadas de sinais elétricos, com amplitudes e frequências variáveis. As características fundamentais dos geradores de funções são:

- Tipos de sinais fornecidos;
- Faixa de frequência;
- Tensão máxima de pico-a-pico na saída;
- Impedância de saída (ou resistência de saída).

Tipos de sinais fornecidos

Os sinais variam de modelo para modelo. Dentre os tipos de sinais mais comuns, fornecidos pelo gerador, temos os que se apresentam as formas de ondas: senoidal, quadrada e triangular.

Faixa de frequência

O gerador de sinais fornece sinais em uma frequência que vai de 1 Hz a vários MHz. Os manuais dos fabricantes informam a faixa de frequência que o equipamento pode fornecer. Por exemplo, de 1Hz a 20 kHz.

Tensão máxima de pico-a-pico na saída

A tensão máxima de pico-a-pico é o valor máximo de amplitude do sinal que o gerador pode fornecer.

Impedância de saída (ou Resistência de saída)

A impedância de saída é a impedância que o gerador apresenta entre os terminais de saída. Os geradores podem ser de:

- Alta impedância de saída, para circuitos a válvula;
- Média impedância de saída, para circuitos transistorizados. Geralmente, sua impedância é de 600 Ω ;

- Baixa impedância de saída, para trabalhos em circuitos digitais. Em geral, sua impedância de saída fica em torno de 50Ω .

É importante conhecer as características do gerador de funções, porque isso permite obter a máxima transferência de potência entre gerador e carga.

Dispositivos de controle

O painel do gerador de sinal tem uma série de dispositivos de controle que servem para ajustar o equipamento de acordo com o trabalho a realizar. Observe na figura a seguir um modelo de gerador de funções, com o painel de controles em destaque.

No gerador de funções são comuns os seguintes dispositivos de controle:

1. Chave liga-desliga que serve para ligar e desligar o equipamento;
2. Chave seletora de sinal ou função que seleciona a forma de onda do sinal de saída;
3. Chave seletora de faixa de frequência ou multiplicador, presente em geradores que fornecem valores de frequência em ampla faixa como, por exemplo, de 10Hz a 100kHz. Esse seletor possui diversas posições, permitindo escolher a faixa de frequência desejada como, por exemplo, de 100 Hz a 1000 Hz;
4. Controle de frequência fornecida ou DIAL: é um controle acoplado a uma escala que permite estabelecer o ajuste da frequência do sinal fornecido pelo gerador dentro dos limites definidos pelo seletor da faixa de operação. O valor indicado no dial deve ser multiplicado pela faixa de frequência previamente ajustada pela chave seletora de faixa de frequência;
5. Controle de nível de saída ou amplitude: serve para ajustar a amplitude (pico-apico) do sinal de saída.

Existem geradores de sinais mais sofisticados que dispõem de outros controles.

Para uma correta compreensão dos controles adicionais, é preciso consultar o manual do Fabricante.

Influência da carga na amplitude do sinal

O gerador de sinais apresenta uma impedância interna. Esta impedância interna produz um efeito semelhante ao de uma resistência elétrica colocada no interior do aparelho, em série com a saída.

Assim como em pilhas e baterias, essa impedância de saída do gerador pode ser representada com um resistor em série com os bornes de saída.

Devido a essa resistência, a amplitude do sinal sofre uma redução quando a carga é ligada. Tal redução se deve ao fato de que a impedância interna provoca uma queda de tensão, quando o gerador fornece corrente ao circuito. O efeito é semelhante à queda de tensão que ocorre em pilhas e baterias devido a suas resistências internas.

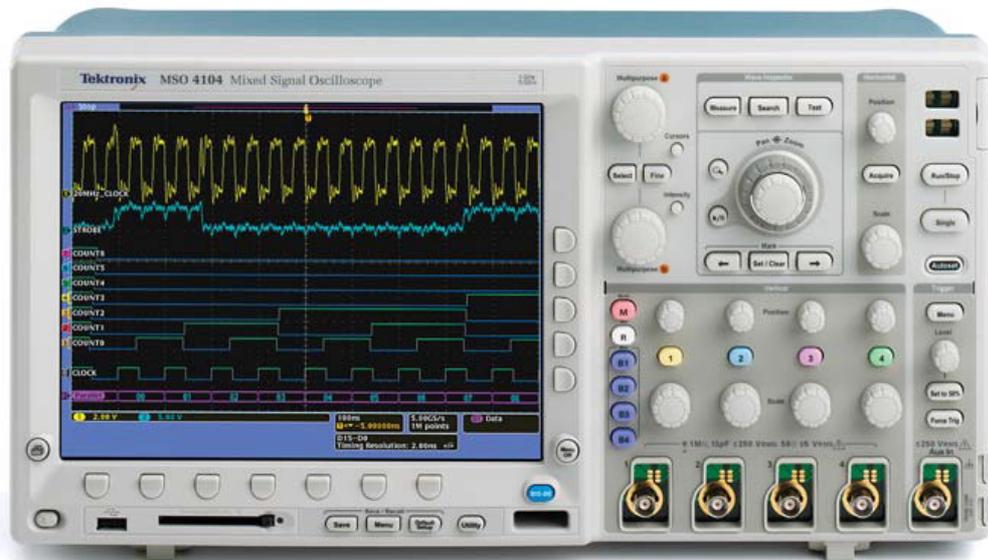
Quanto maior for a carga a ser alimentada, maior será a corrente fornecida pelo gerador e maior será também a queda de tensão interna no gerador. Portanto, haverá

uma maior redução na amplitude do sinal de saída. Por essa razão, sempre que se utilizar o gerador de funções, o nível de saída deve ser ajustado com a carga conectada.

Casamento de impedância

Para obter a máxima transferência de potência entre gerador-carga, a impedância de saída do gerador deve ser a mais próxima possível da impedância da carga.

Osciloscópios com os sinais



Sinal Gerado

Pode-se entender a expressão **sinal (elétrico)** de duas maneiras:

- Tomando-se dois pontos carregados eletricamente, chama-se **sinal elétrico** a variação na diferença de potencial (ou tensão) entre estes pontos no decorrer do tempo;
- Analisando a corrente que passa por um condutor, chamamos de **sinal elétrico** a variação da corrente no decorrer do tempo.

O sinal pode ser gerado artificialmente por um circuito eletrônico – através do gerador de sinais. Entretanto, na maioria das aplicações práticas, o sinal elétrico representa a variação de outra grandeza física no decorrer do tempo, convertida em eletricidade por um transdutor.

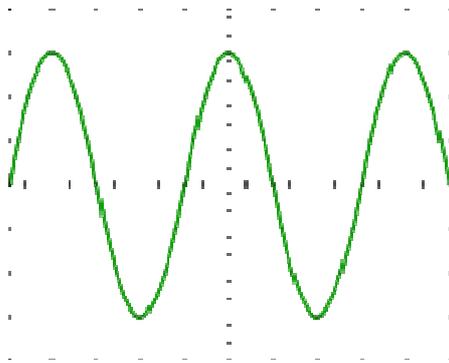
Características do sinal elétrico

O sinal elétrico é determinado pelas seguintes características:

- Amplitude: é a intensidade da grandeza medida (a corrente ou, muito mais comum, a tensão);
- Frequência: é a repetição da oscilação por unidade de tempo.
- Fase: diz respeito ao ângulo inicial de oscilação de uma senóide. Aparece em circuitos reativos e capacitivos.

Os equipamentos mais usados para se medir as características do sinal são o osciloscópio e o analisador de espectro.

Representação gráfica

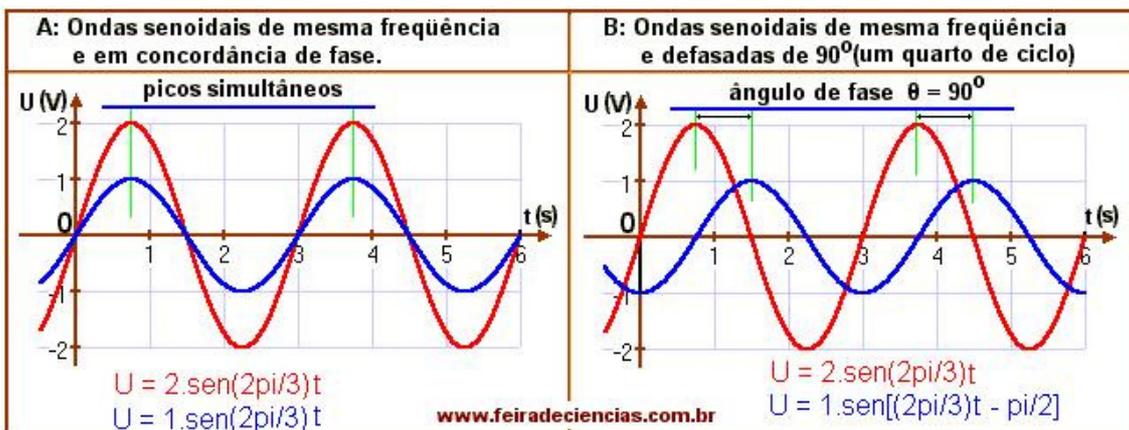
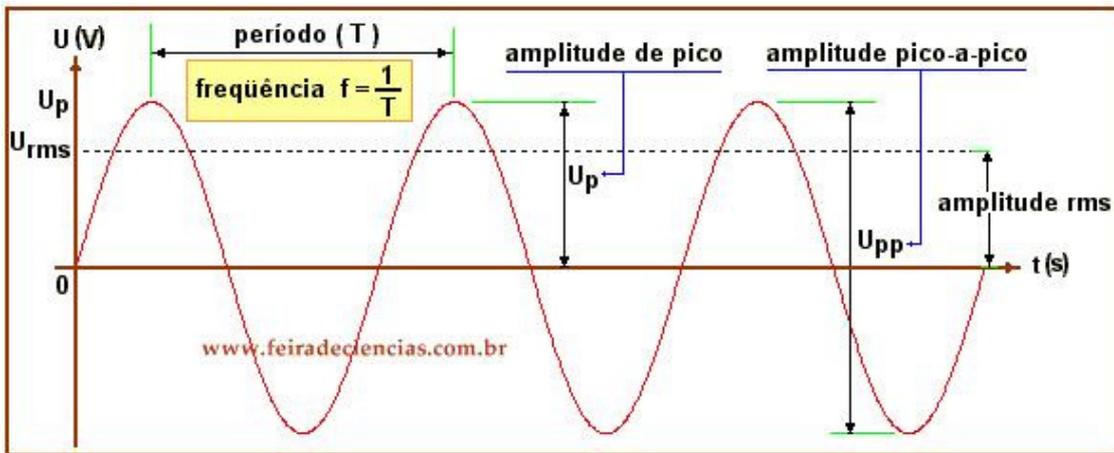
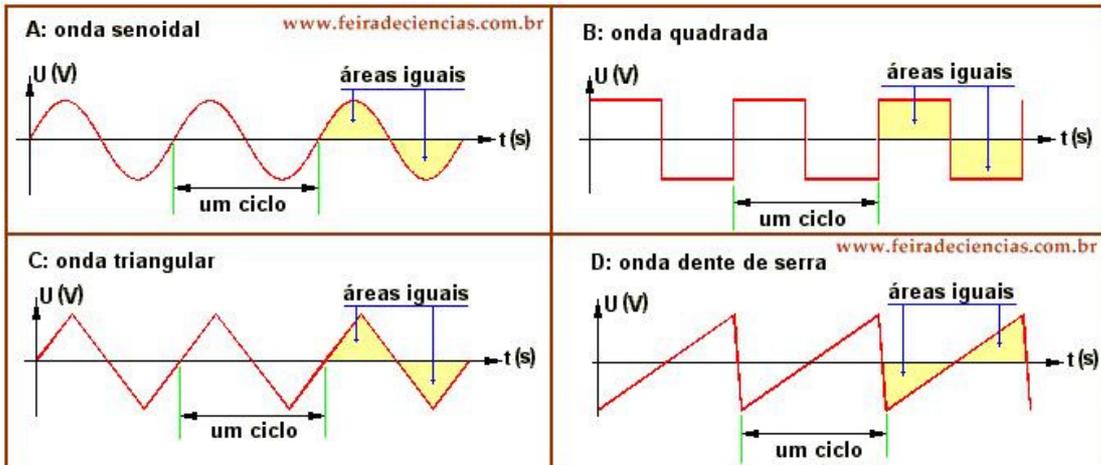


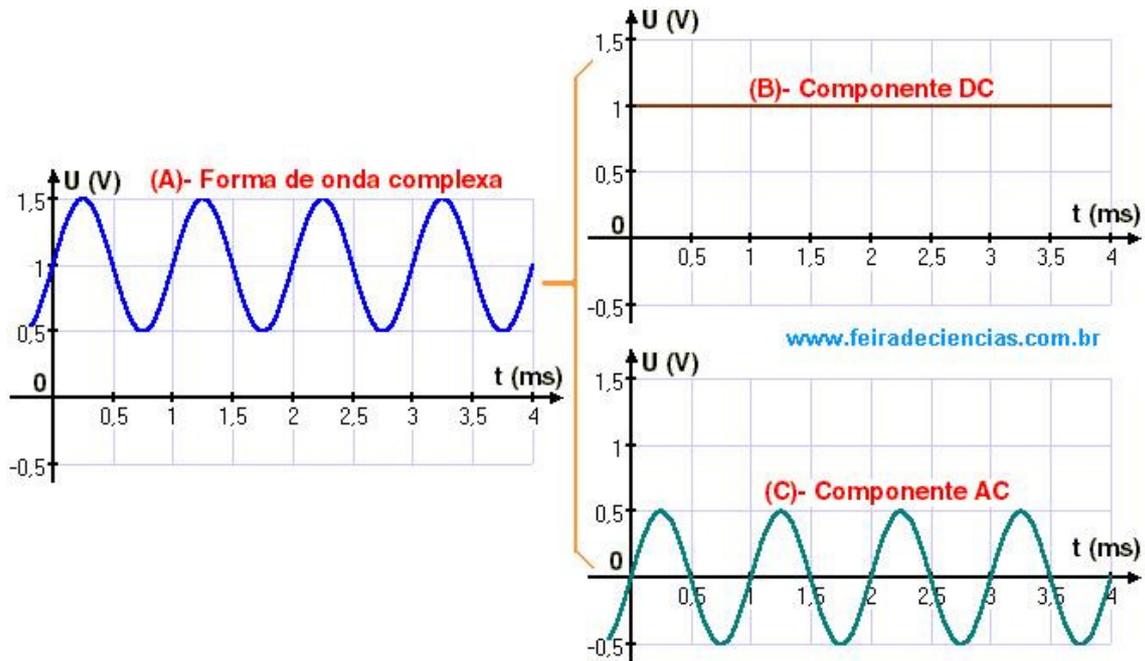
Onda de forma senoidal, como vista na tela de um osciloscópio.

Um sinal elétrico aleatório é estudado a partir de sua representação matemática no gráfico cartesiano. Para um mesmo sinal, há duas representações possíveis:

- No tempo: o eixo das abcissas representa o tempo decorrido, e o das ordenadas representa a amplitude do sinal. Este gráfico é chamado de **forma de onda**.
- Na frequência: o eixo das abcissas representa as frequências que compõem o sinal, e o das ordenadas representa a amplitude do sinal. Este gráfico é chamado de **espectro de frequência**.

Sinais e Exemplos

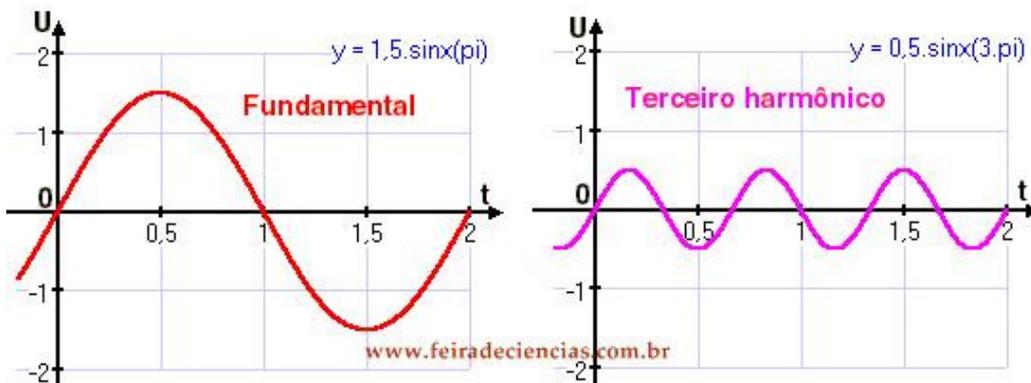




O complexo aqui destacado não significa difícil de compreender, denota apenas que não é um sinal 'puro' e sim superposição de vários sinais. Uma forma de onda como a acima ilustrada pode ser pensada como a superposição de dois sinais distintos, um componente C.C. e um componente C.A. Na prática, é bastante fácil separar estes dois componentes; basta usar um capacitor, ele 'deixa passar' a componente C.A. e bloqueia a componente C.C.

Algumas formas de onda, ainda complexas, podem ser obtidas superpondo uma onda senoidal, de uma dada frequência, com outras ondas cujas frequências são múltiplos inteiros dessa dada frequência, ou seja, superpondo ondas harmônicas com a onda fundamental.

Os gráficos abaixo ilustram, de início, a onda fundamental ($f_0 = 0,5 \text{ Hz}$; $T_0 = 2\text{s}$) e seus três primeiros harmônicos de ordem ímpar ($f_3 = 3.f_0 = 1,5 \text{ Hz}$; $T_3 = 0,67\text{s}$), ($f_5 = 5.f_0 = 2,5 \text{ Hz}$; $T_5 = 0,40\text{s}$), ($f_7 = 7.f_0 = 3,5 \text{ Hz}$; $T_7 = 0,28\text{s}$), de amplitudes cada vez mais reduzidas e, a seguir, as superposições desses harmônicos com o fundamental:



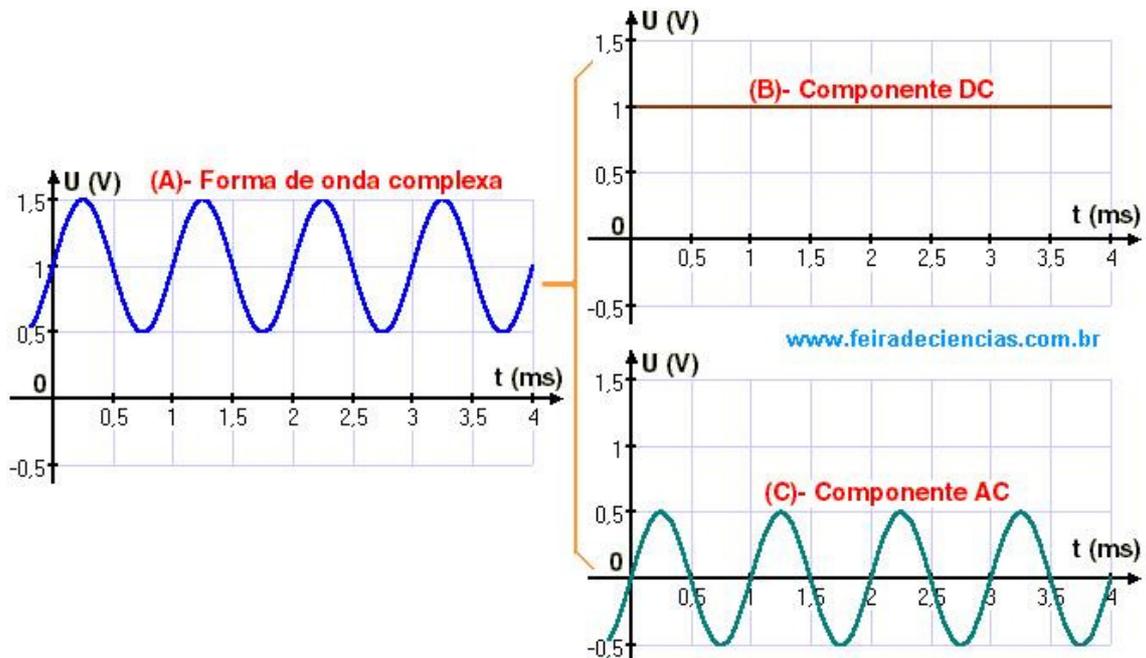
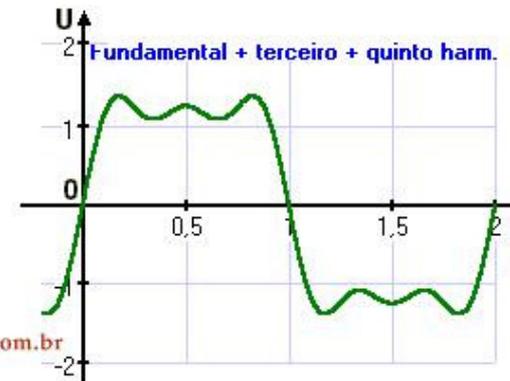
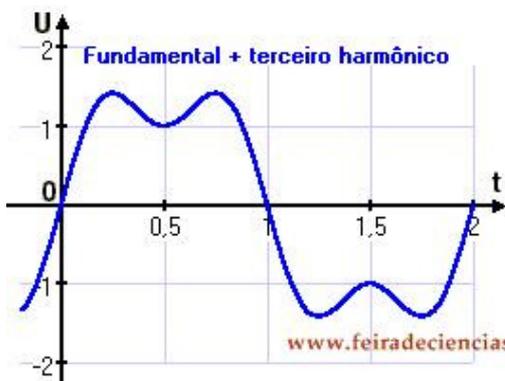
$f_0 = 0,5 \text{ Hz}; T_0 = 2\text{s}$

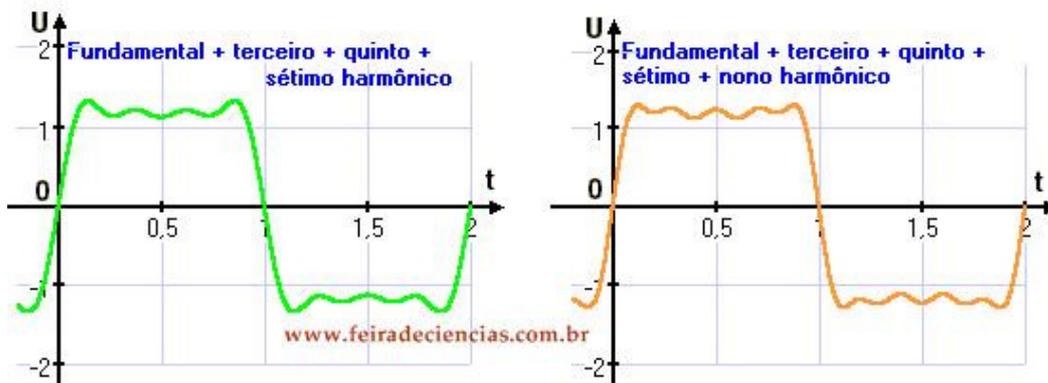
$f_3 = 3.f_0 = 1,5 \text{ Hz}; T_3 = 0,67\text{s}$



$f_5 = 5.f_0 = 2,5 \text{ Hz}; T_5 = 0,40\text{s}$

$f_7 = 7.f_0 = 3,5 \text{ Hz}; T_7 = 0,28\text{s}$



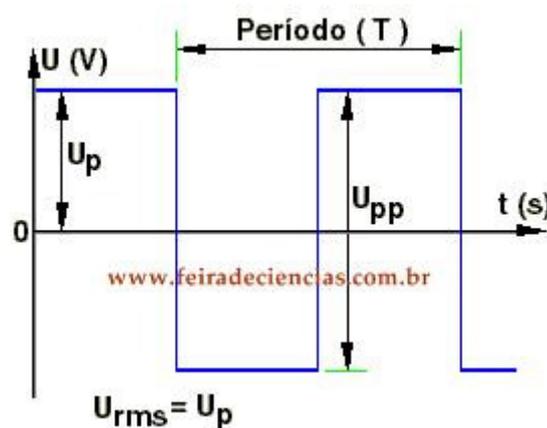


Como podemos observar, quanto mais harmônicos ímpares são superpostos à onda fundamental mais ela nos lembra da onda quadrada. Este resultado notável, de aplicação bastante ampla, ilustra um princípio formulado pelo matemático francês **Joseph Fourier**, que diz:

Qualquer forma de onda complexa pode ser construída pela superposição de ondas senoidais puras, harmônicas particulares da onda fundamental.

A onda quadrada, como vimos, as ondas triangulares e as ondas dente-de-serra podem ser produzidas da mesma maneira.

Ondas quadradas - como o são as ondas senoidais, essas também são descritas em termos do período, da frequência e da amplitude:



A amplitude de pico, U_p , e a amplitude pico-a-pico, U_{pp} , são medidos como você já esperava, seguindo a mesma linha das ondas senoidais. Entretanto, a amplitude rms, U_{rms} , é maior que aquela da onda senoidal (as áreas

abrangidas pelas meias-ondas são maiores na quadrada que na senoidal). Para ver isso sob outro ângulo, lembramos que a amplitude rms corresponde aquela da tensão C.C. que entrega a mesma potência que a onda senoidal. Se uma onda quadrada for aplicada a uma lâmpada incandescente, a corrente fluirá durante meio período num sentido e inverterá seu sentido no meio período seguinte; a corrente comuta seu sentido, mas sua amplitude efetiva continua a mesma! A "dose" de energia elétrica fornecida a cada meia período é maior que aquela fornecida pela onda senoidal de mesma amplitude de pico. Assim, a onda quadrada entrega a potência máxima durante todo seu ciclo, de modo que a U_{rms} é igual à U_p .

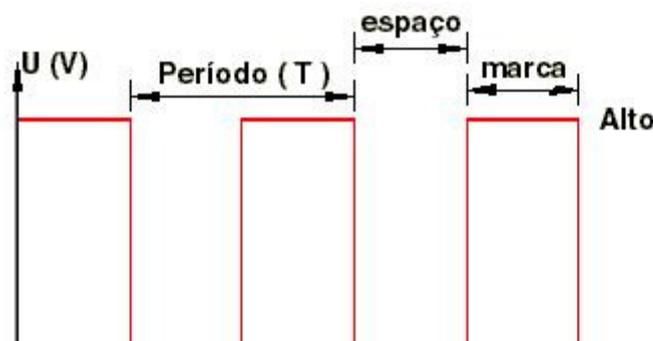
Nota: Se isso lhe soar um tanto desconcertante, não se preocupe, a amplitude rms de uma onda quadrada não é algo de uso tão freqüente como aquela da onda senoidal.

Embora uma onda quadrada possa comutar muito rapidamente de seu mínimo até seu máximo valor de tensão, essa mudança nunca poderá ser instantânea, do mesmo modo que nenhum móvel pode passar instantaneamente de uma velocidade para outra (sempre haverá uma fase de aceleração, por mais exíguo que seja o tempo de transferência).

O **tempo de subida** do sinal é definido como o intervalo de tempo necessário para a tensão mudar de 10% a 90% de seu valor máximo. Esses 'tempos de subida' são geralmente muito curtos, com durações medidas em nanosegundos ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$) ou microsegundos ($1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$), conforme vemos na ilustração a seguir:



Ondas de pulso - o aspecto geral é o de uma onda quadrada, exceto que as formas de ondas de pulsos têm toda sua ação se desenvolvendo acima do eixo dos tempos (apenas valores positivos de tensão). No início de um pulso, a tensão muda repentinamente de um "nível baixo" (perto do eixo dos tempos) para um "nível alto" (em geral perto da tensão da fonte de alimentação).



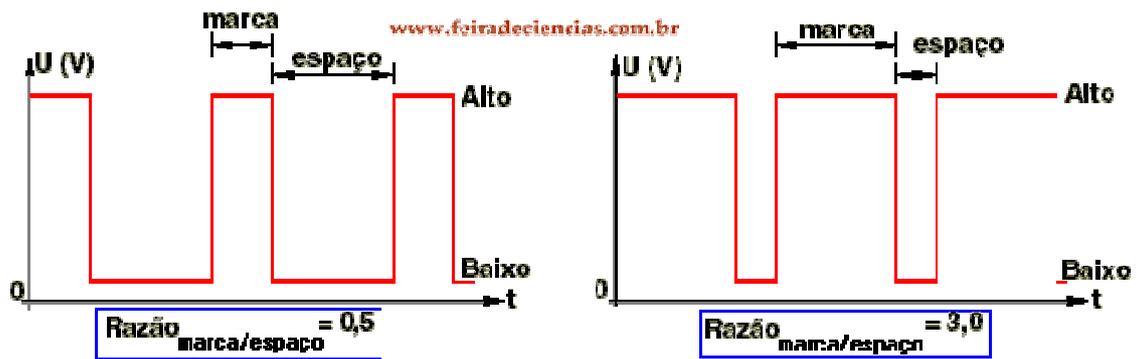
Esse sinal também é reconhecido pela denominação **trem de pulsos**, caracterizado pela alternância entre um estado (nível) de amplitude nula (ou quase nula) e outro de amplitude máxima, com durações iguais. Quando o tempo de duração em um dos estados é maior/menor que no outro, recebe o nome de **trem de pulsos retangulares**. Esse tipo de sinal é utilizado sobretudo para a "modulação por largura de pulso" (PWM); também pode ser usado como elemento básico de 'síntese subtrativa' em sintetizadores analógicos. Em Informática, tais sinais são utilizados na transmissão serial de dados em redes de computadores.

Algumas vezes a 'frequência' de uma forma de onda de pulso (quadrado) é indicada como sua "taxa de repetição"; nada para estranhar, é o seu número de ciclos por segundo, medido em hertz (Hz) ou seus múltiplos.

A fase ALTA do pulso retangular é denominada **marca** (ou ainda, **largura de pulso**), enquanto que a fase BAIXA é denominada **espaço**. Como salientamos, nos pulsos retangulares, marca e espaço não têm duração iguais; a **razão** (grandeza adimensional) entre os tempos_em_alta (marca) e os tempos_em_baixa (espaço) fica assim definida:

$$\text{Razão}_{\text{marca/espaco}} = \frac{\text{tempo_em_Alta}}{\text{tempo_em_Baixa}}$$

Uma $\text{razão}_{\text{marca/espaco}} = 1,0$ (como na ilustração acima) significa que os tempos da fase ALTA e os da fase BAIXA são iguais; quando a $\text{razão}_{\text{marca/espaco}} = 0,5$ (como na ilustração abaixo, esquerda)) teremos a indicação de que o tempo em ALTA é metade daquele em BAIXA.



Uma $\text{razão}_{\text{marca/espaço}} = 3,0$ (como na ilustração acima, direita) indica uma fase em ALTA de maior duração, neste caso, três vezes maior que o tempo em BAIXA.

Outro modo de descrever esses variados tipos de forma de onda através da comparação dos tempos das fases em ALTA e em Baixa é através do **ciclo ativo** ("duty cycle"), assim definido:

$$\text{ciclo ativo} = \frac{\text{tempo em alta}}{\text{período}} \cdot 100\%$$

Quando o 'ciclo ativo' é menor que 50%, teremos a indicação de que o tempo em alta é de menor duração que aquele em baixa.

Um circuito que produza uma série contínua de pulsos é denominado **astável**, isto é, ele não é 'estável' pois sua saída fica continuamente 'pulando' de nível alto para nível baixo. Esses 'geradores de pulsos' têm larga aplicação em eletrônica (o fabuloso NE555 é um exemplo disso).

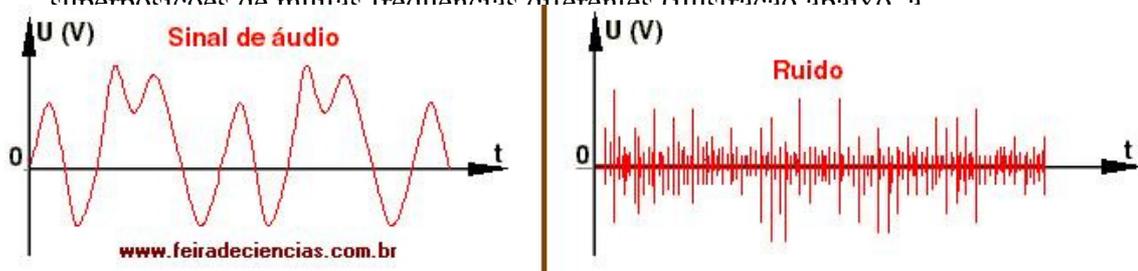
Rampas - indicam uma fase da forma de onda onde a tensão é linearmente crescente ou decrescente, como se ilustra:



'subidas' ou 'descidas' de tensão, obviamente não podem continuar indefinidamente; elas cessam quando se atinge o **nível de saturação**, geralmente um valor perto da tensão de alimentação do circuito. Os 'geradores de rampa', assim como os 'geradores de pulso' encontram inúmeras aplicações na eletrônica.

Ondas triangulares e dentes-de-serra - consistem em formas de onda que são essencialmente 'rampas' de subida e de descida em determinada cadência. Melhor explicando: (a) na onda triangular a amplitude cresce linearmente até um valor máximo da onda e em seguida decresce linearmente até uma amplitude mínima; esses tempos de subida e descida podem ser iguais ou diferentes e (b) na onda dente-de-serra, um caso extremo de onda triangular, temos tempo de subida ou de descida igual a ZERO, caracterizando a onda dente-de-serra descendente e a onda dente-de-serra ascendente. As ondas dente-de-serra têm aplicação decisiva nos circuitos de varredura de osciloscópios e TVs.

Sinais de áudio - Como sabemos, as frequências das ondas sonoras que podem ser detetadas por nosso sistema auditivo íntegro, pertencem a uma gama cujos limites são função de vários fatores (a idade, por exemplo). A gama, tradicionalmente citada, tem como limites os valores 20 Hz e 20 kHz. Uma onda senoidal dessa gama, amplificada e capaz de excitar um alto falante, nos dará a impressão de um tom de áudio puro, sem muita 'beleza' musical. Os reais sinais de áudio como os discursos e a música consistem de superposições de muitas frequências diferentes (ilustração abaixo):



Ruído - Um sinal de ruído (ilustração acima, à direita) consiste em uma mistura de frequências com amplitudes aleatórias. O ruído pode ter várias origens; um importante, é o ruído térmico (efeito Johnson). Outras fontes de ruído incluem os sinais de rádio (que são detetados e amplificados por muitos circuitos e não apenas pelos receptores de rádio), as interferências por 'chaveamento' de dispositivos (SCR e TRIACs, por exemplo), as trovoadas etc. Os projetistas de sistemas elétricos tentam, no geral, eliminar ou mesmo minimizar tais ruídos porém, outros projetistas, cuidam especialmente de sua produção (geradores de ruídos usados em sintetizadores eletrônicos de música e outros efeitos especiais).

PRINCÍPIOS DE TRANSMISSÃO

I – Onda electromagnética

Como o próprio nome sugere, a onda electromagnética nada mais é que um campo elétrico e magnético que se propaga no espaço. Sabemos que a corrente elétrica, ao

percorrer um condutor, forma ao redor dele um campo magnético, cujas linhas de força são concêntricas com o eixo do condutor. Se a corrente for variável, o campo também será e, se colocarmos um outro condutor na região ativa do campo, nele se induzirá uma corrente com as mesmas variações que a corrente produtora do campo. À região onde ocorrem fenômenos elétricos e magnéticos chamamos campo electromagnético. Se tivéssemos exclusivamente carga elétrica, em volta dela existiria só campo elétrico. Se tivéssemos somente carga magnética (ímã), ao redor dela existiria só campo magnético. Como temos um campo elétrico variável, devido ao movimento das cargas elétricas no interior do condutor, surge um campo magnético também variável. Há, portanto, duas relações fundamentais entre campo elétrico e magnético, que são:

1º A variação do campo elétrico corresponde à existência do campo magnético.

2º A variação do campo magnético corresponde à existência do campo elétrico.

Essas duas relações vinculam (prendem) um campo ao outro, ou seja, a existência de um campo elétrico variável implica na existência de um campo magnético, e vice-versa.

a) Formação da onda electromagnética

A formação da onda electromagnética, ou seja, da propagação do campo electromagnético, é um fenômeno bastante complicado. Entretanto, vamos descrevê-lo de maneira breve, simplificando ao máximo as explicações, apenas para que se tenha qualitativa do fenômeno. Para isso, suponhamos um condutor retilíneo percorrido por uma corrente variável de alta frequência. Sabemos que, num plano perpendicular cortando esse condutor, aparecerá um campo magnético, cujas linhas de força são concêntricas com o condutor, como mostramos na figura 1, em tracejado. A existência desse campo magnético num ponto muito próximo do condutor faz aparecer agora, um campo elétrico, situado num plano perpendicular ao magnético, como indicamos na figura 1, em traços cheios. O campo elétrico em O1, sendo igual ao de O e de sinal contrário, anula-o, aparecendo outro em O2, que depois será anulado pelo de O3, e assim por diante. Deste modo, os campos elétricos e magnéticos produzidos em O propagam-se no espaço, mutuamente entrelaçados. A esse fenômeno dá-se o nome de onda electromagnética. A velocidade de propagação da onda electromagnética é igual à da luz ou seja, cerca de 300.000 quilômetros por segundo, em todas as direções.

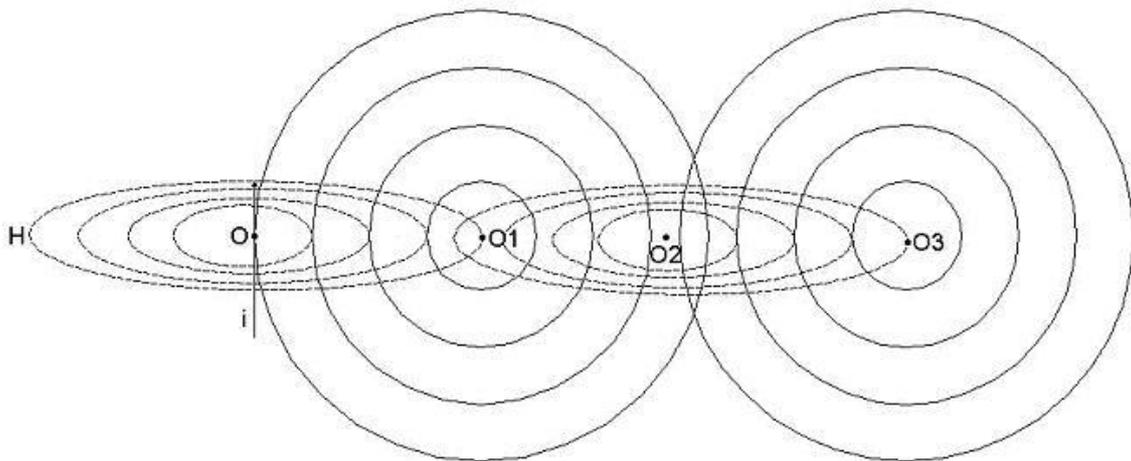


Figura 1

b) Intensidade do campo electromagnético

Há medida que a onda electromagnética se distancia do ponto de origem, vai se enfraquecendo em virtude das perdas que sofre devido à densidade do meio de propagação. Geralmente, os corpos bons condutores de electricidade refletem a onda sem absorvê-la e os maus condutores a absorvem, refletindo-a muito pouco. Isso tem grande influencia na propagação das ondas de radia, que são electromagnéticas, como mostraremos logo mais. A intensidade do campo magnético em um ponto do espaço é medida em **volts por metro de altura**. Adota-se como referencia de medida a superfície da terra. Assim, pode-se medir a intensidade do campo electromagnético, colocando-se uma placa metálica à distancia de um metro do solo e lendo-se a tensão (diferença de potencial) entre essa placa e o solo. Como essas tensões são geralmente pequenas, costumam ser dadas em microvolts ($\mu\text{V/m}$) por metro.

II – Ondas de radio

A energia que um transmissor de rádio aplica ao elemento irradiador, que é a antena, estabelece, em volta da mesma, um campo electromagnético variável. Este se desloca no espaço (antigamente chamado de éter) com velocidade muito grande, ou seja, aproximadamente 300.000 Km/s, que corresponde à velocidade da luz. Essa velocidade é tão grande que uma onda de rádio daria sete voltas e meia à terra, em 1 segundo. Sendo constantes a velocidade de propagação da onda, podemos deduzir as duas características fundamentais, que são: **frequência** e o **comprimento da onda**. Para calcular a velocidade de uma onda, dividimos o espaço que ela percorre, pelo tempo empregado em percorrê-lo. . particularmente, podem-se considerar o espaço como comprimento de onda. Sabe-se que, neste caso, o tempo corresponderá a um período; portanto, $v = \lambda / T$, onde v representa a velocidade, λ (lâmbda) o comprimento de onda e T , o período. É o inverso da freqüência, podemos escrever: $v = \lambda \cdot f$, que é a igualdade

que relaciona velocidade, comprimento de onda e frequência. Mas, no caso das ondas electromagnéticas, v é a velocidade da luz. Logo, podemos escrever: $\lambda \cdot f = 300.000.000$ m/s. Desta expressão, resulta: que dará o comprimento de onda em metros, se f for contado em Hertz e que dará f em Hertz, se o λ for considerado em metros. Por exemplo, vamos calcular o comprimento de onda de uma emissora que opera na frequência de 1 MHz. Teremos: $= 300$ m. Outro exemplo, vamos determinar a frequência de uma emissora de onda curta, que opera em 25 metros. Teremos: $= 12.000.000$ Hz ou 12 MHz. Certamente, você já está muito acostumado a ouvir o locutor do rádio a falar na frequência e o comprimento de onda de sua estação de rádio. Essas características identificam a estação, e facilitam ao usuário a sua localização sobre uma escala graduada, que chamamos de “dial”. As frequências das estações de rádio e, conseqüentemente, os comprimentos de onda, se estendem por uma escala bem ampla, indo desde 3 KHz até 30 GHz, divididas em 7 faixas denominadas da forma como indicamos na lição “Operador de rádio amador - arte 1” na página 2, e que passamos a exhibir aqui novamente e em língua portuguesa.

Frequência	Designação quanto a frequência	Sigla	Comprimento de onda	Designação quanto ao comprimento de onda
3 a 30 kHz	Muito baixas	VLF	100 Km a 10 Km	Muito longas
30 a 300 kHz	Baixas	LF	10 Km a 1 Km	Longas
300 a 3000 kHz	Médias	MF	1000 m a 100 m	Médias
3 a 30 MHz	Altas	HF	100 m a 10 m	Curtas
30 a 300 MHz	Muito altas	VHF	10 m a 1 m	Muito curtas
300 a 3000 MHz	Ultra-altas	UHF	100 cm a 10 cm	Ultracurtas
3 a 30 GHz	Super-altas	SHF	10 cm a 1 cm	supercurtas

Tabela 1

a) Propagação das ondas de rádio

1) A atmosfera terrestre

Para entender a maneira como se propagam as ondas de rádio, precisamos ter uma idéia clara da forma da atmosfera, ou seja, da massa gasosa que envolve nosso planeta. O ar é composto de oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e os chamados gases nobres, como argônio, criptônio, xenônio, etc., sendo que os três inicialmente citados se encontram em muito maior proporção que os demais. Além disso, a distribuição do ar não é uniforme, pois na superfície da Terra o ar é mais denso que nas grandes altitudes, onde há uma distribuição dos gases em camadas. As camadas mais leves se distribuem em maiores altitudes. O aluno pode assemelhar a Terra a uma bola rodeada de várias “casas”, cada qual desempenhando papel diferente na propagação das ondas, como mostraremos logo mais. O limite da atmosfera está fixado em cerca de 1000 Km. Na prática, chama-se de **troposfera** a camada mais baixa, ou seja, compreendida entre a superfície da Terra e até cerca de 15 Km de altitude e **ionosfera**, a camada que vai do limite da superfície da troposfera até cerca de 1000 Km. A partir daí não há mais ar. A ionosfera está subdividida em 3 camadas, por nós denominadas D, E, e F, cujos limites aproximados podem ser vistas na figura 2. o nome de ionosfera que se dá à camada que

sucedem na troposfera é devido ao fato de que nele o ar sofre influência de vários fatores, principalmente dos raios cósmicos e raios solares, **ionizando-se**, isto é, certos átomos dos gases perdem elétrons, que se transformam em elétrons livres, tornando-se **íons positivos**. É importante observar que essas camadas não são fixas. A camada D, por exemplo, só existe durante o dia. A camada F se subdivide em duas, durante o dia. Não existe, portanto, um limite bem estabelecido para as camadas. Além disso, a espessura das camadas e sua condutividade variam durante as 24 horas do dia, e também durante o ano, devido à atividade ionizadora dos raios solares, à tempestade magnética, causada por erupção de elétrons do Sol, à presença de meteoros que entram na atmosfera, etc., influenciando a propagação das ondas de rádio.



Figura 2

2) Perda das energias das ondas de rádio

Quando uma onda de rádio sai da antena do transmissor, ela tem a máxima energia. Essa onda se propaga em todas as direções e a sua energia vai diminuindo à medida que se afasta do transmissor. Além disso, a energia é também absorvida pelos obstáculos que se encontram no caminho da onda. As ondas que propagam na superfície terrestre são absorvidas pelas montanhas, florestas, linhas de transmissão de energia elétrica, etc. É interessante observar que se a absorção é menor, conseqüentemente, o alcance da onda é maior. É o que acontece, por exemplo, quando a onda tem a mesma direção que uma linha de transmissão ou trilhos de uma estrada de ferro. O contrário acontece, quando a direção da onda é perpendicular à superfície boa condutora ou paralela à superfície ma condutora. As camadas ionizadas da atmosfera absorvem energia, em virtude de serem semicondutoras. Nessas camadas, a onda de rádio pode sofrer reflexão ou refração.

Reflexão: Num meio homogêneo, isto é, que tem as mesmas propriedades físicas em todos os seus pontos, a onda de rádio se propaga em linha reta. Entretanto, quando ela

atinge a superfície de separação de dois meios diferentes, ela sofre uma reflexão e uma refração. Estes fenômenos ocorrem quando as ondas atravessam as diversas camadas da ionosfera. A reflexão consiste na **volta da onda**, fazendo um certo ângulo com a superfície de separação dos dois meios (camadas). É o que mostramos na figura 3.

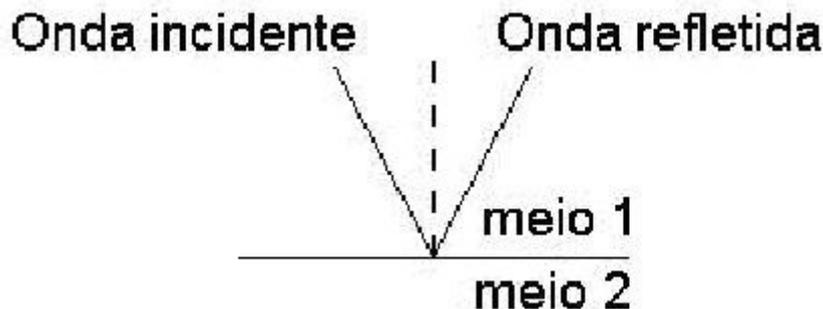


Figura 3

Refração: A refração consiste na penetração da onda no meio de propriedade diferente, o que se dá com mudança de direção. Na figura 4, ilustramos a refração.



Figura 4

Esses fenômenos são facilmente observados na propagação das ondas de luz, que são também ondas eletromagnéticas semelhante às de rádio. De fato, a reflexão dos raios luminosos pode ser observada no espelho, com muita facilidade. Quanto à refração podemos vê-la na água. Para finalizar, acrescentamos que a onda de rádio, quando atingir um meio condutor, será **parcialmente absorvida e refletida**. Quando atingir um dielétrico ou um mau condutor, será **absorvida, refletida e refratada**.

Difração: Outro fenômeno que acontece com as ondas de rádio é o da difração, que consiste na mudança de direção da onda, para contornar obstáculos que estejam em seu percurso. Na figura 5, ilustramos a difração das ondas de rádio quando atingem uma

montanha. Como a onda não segue exatamente o contorno do obstáculo, atrás dele haverá uma **zona de silêncio** para essa onda, ou seja, zona onde a recepção é nula ou quase nula. Essa capacidade de contornar os obstáculos depende do comprimento da onda e, quanto maior for ela, mais facilmente ela atingirá o outro lado.

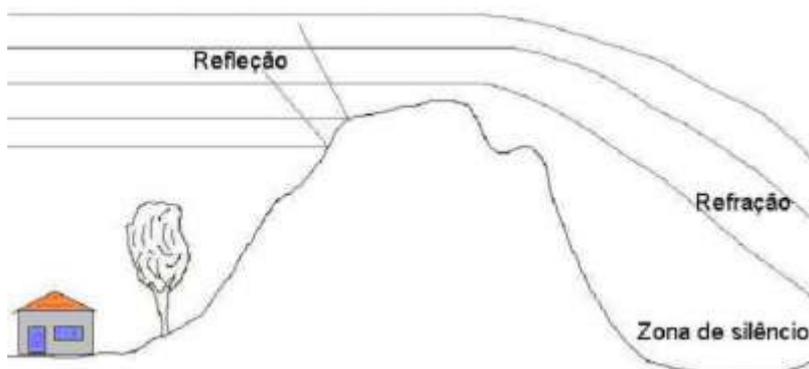


Figura 5

3) Ondas terrestres e celestes

As ondas que se propagam na superfície da Terra são chamadas de **ondas terrestres**. Como mostramos, essas ondas são absorvidas pelos obstáculos que se encontram em seu percurso e particularmente pela terra, que é um bom meio condutor. Essas ondas são irradiadas **horizontalmente**. As ondas que são irradiadas, fazendo ângulo com a superfície terrestre, ou seja, dirigidas para o céu, são denominadas de **ondas celestes**. As ondas celestes atravessam a troposfera e atingem as camadas ionizadas da ionosfera. Nessas camadas elevadas vão sofrendo refrações e reflexões sucessivas e, devido à mudança de meios condutores, encurvam-se e voltam para a Terra.. Outro efeito que se verifica devido à propagação irregular das ondas é o chamado “**fading**” ou **desvanecimento**. Já observou, principalmente na recepção de emissoras distantes, que há uma flutuação na intensidade do sinal, que, às vezes, desaparece completamente, retornando logo após. É o chamado “fading”. A causa do “fading” é a chegada, ao receptor, de diversas ondas emitidas pelo mesmo transmissor, mas que percorreram caminhos diferentes. Devido às constantes modificações das camadas da ionosfera, há variações na distancia do percurso das ondas celestes até ao receptor. Essas ondas chegam atrasadas em relação às ondas terrestres. Há, portanto, variação de fase. Quando as fases coincidem, as ondas se somam e o sinal torna-se mais intenso. Se as fases são opostas, as ondas se subtraem, podendo anular-se.

As faixas de onda

na tabela 1, apresentamos a divisão, em 7 faixas, do espectro electromagnético das ondas de rádio. Entretanto, as ondas utilizadas nas emissões de rádio não correspondem integralmente a uma faixa; por isso, daremos em seguida os limites adotados para serviços de radiodifusão, e as características de propagação de cada faixa.

1) Ondas longas

São ondas cuja frequência está entre 30 e 300 KHz. Essa faixa não é utilizada no Brasil para o serviço de radiodifusão comercial, embora o sejam na Europa. As ondas terrestres acompanham a curvatura da Terra com facilidade, em razão da baixa frequência. Entretanto, como as ondas terrestres são muito absorvidas, os transmissores necessitam de potencia elevada, para cobrir grandes distancias. O efeito do “fading” não afeta muito a recepção. A recepção durante a noite é melhor que durante o dia, devido ao menor efeito ionizante do sol.

2) Ondas médias

As ondas médias vão de cerca de 500 a 1600 KHz, ou mais precisamente, 535 KHz a 1605 KHz (valores fixados na Conferencia Internacional de Telecomunicações, em 1947 nos EUA). São universalmente usadas no serviço de radiodifusão. As ondas terrestres são absorvidas fortemente pela Terra, o que exige também transmissores de elevada potencia, para cobrir distâncias longas. As ondas celestes são absorvidas, quase que totalmente pela ionosfera, durante o dia. Durante a noite, devido à menor ação do Sol, há reflexão das ondas celestes, e a propagação melhora bastante. É por este motivo que muitas emissoras, à noite, diminuem a potência de seus emissores, pois assim evitam a interferência com radiodifusão que possuem frequência igual ou muito próxima. À noite, devido à reflexão das ondas celestes, a recepção é muito afetada pelo “fading”. As transmissões de ondas médias são afetadas pela forte interferência, provocada pelas descargas atmosféricas (raios), principalmente no verão.

3) Ondas intermediárias e curtas

As ondas desta faixa vão de cerca de 10 a 100 metros. Suas ondas terrestres são fortemente absorvidas pela terra e obstáculos; por isso, têm alcance reduzido. Entretanto, as ondas celestes têm grande alcance. As ondas de 10 a 25 metros usam-se para comunicações diurnas, porque são pouco absorvidas pela camada E. À noite, essas ondas são refletidas pela camada E, e devido à diminuição da ionização, de modo que não são boas para comunicação a longa distância. Para comunicação a longa distancia são utilizadas as ondas de 25 a 70 metros, tanto no período diurno como no noturno. As ondas curtas sofrem menor interferência que os outros tipos de onda e, quanto menor o comprimento de onda, menor será também a interferência. A grande vantagem das ondas curtas é que elas atingem distancias muito grandes com transmissores de pequena potência. Uma desvantagem da onda curta é que, em virtude do pequeno alcance das ondas terrestres e do ângulo de incidência das ondas celestes, por causa da

direcionalidade de transmissão, forma-se uma “zona de silêncio” que, às vezes, se estende a centenas de quilômetros, dependendo da potência do transmissor. Na figura 7, ilustramos a formação da zona de silêncio. Dentro da faixa de ondas intermediárias e curtas existem vários intervalos de frequência, destinados à radiodifusão comercial e a radioamadores. Assim, por exemplo, as faixas de 2300 KHz a 2495 KHz e 3200 a 3400 KHz são destinadas à radiodifusão; recebem o nome de **ondas tropicais**, devido à sua melhor propagação nas regiões tropicais. De 7000 a 7300 KHz temos uma das faixas destinadas a **radioamadores**.



Figura 7

4) Ondas métricas, decimétricas e centimétricas

as ondas de comprimento menor que 10 metros isto é, as frequências muito altas (VHF), e ultra-altas (UHF) e superaltas (SHF), praticamente não são refletidas pela ionosfera; por isso, o alcance dessas ondas se restringem, apenas, ao das ondas terrestres. Estas, por sua vez, não têm difração, ou seja, não contornam os obstáculos, de modo que o alcance das ondas terrestres fica restrito ao alcance óptico, isto é, a onda vai até onde nossa vista alcança. Se ela encontrar um obstáculo, como uma montanha, um prédio alto, etc., ela parará. A grande vantagem das ondas métricas é que a propagação não depende da hora do dia, e nem da época do ano, pois não é influenciada pela ionosfera. Não é perturbada pelo “fading”, e tem grande facilidade para transmissões direcionais. As ondas métricas são bastante utilizadas. Assim, elas são empregadas na transmissão de televisão, nas comunicações por microondas e nas comunicações espaciais (via satélite). Você deve estar a pensar que isto é um contra-senso, pois afirmamos que seu alcance, na Terra, é pequeno. Acontece que o alcance é pequeno exatamente porque essas ondas não sofrem reflexão e refração na ionosfera, ou seja, elas atravessam as camadas ionizadas. Ora, atravessando essas camadas, elas atingem outros planetas ou satélites, e são refletidas para a Terra, desde que dirigidas para tal, possibilitando a comunicação a distâncias fantásticas. Acreditamos que, com este apanhado sobre a formação e propagação das ondas de rádio, você esteja em condições

de entender porque a recepção não é uniforme durante as 24 horas do dia e em todo o ano, porque as emissoras transmitem em frequências diferentes durante as horas do dia, porque os sinais de TV têm pequeno alcance, etc

Sinais elétricos analógicos e Sinais digitais

Um sinal elétrico analógico é aquele que varia no tempo de forma contínua, enquanto que um sinal digital aparece sob a forma de dígitos, isto é, valores traduzidos por códigos ou números. Os circuitos integrados analógicos (ou lineares) manipulam sinais eletrônicos que variam de forma contínua no tempo. Um conversor analógico-digital é um circuito que transforma sinais analógicos em sinais digitais, de forma a que eles possam ser processados por circuitos digitais. Um conversor digital-analógico executa a operação inversa.

O sistema Analógico: O padrão analógico de transmissão de dados consiste na geração de sinais elétricos baseados nas ondas eletromagnéticas que são contínuas. Como os sinais analógicos são contínuos, a qualidade de operação é mais exigente, pois na sua falha, o sinal deve ser gerado novamente desde o princípio.

O sistema digital: O padrão de comunicação digital consiste em pegar nos sinais analógicos, sejam de áudio ou vídeo e parti-los em pequenos pedaços representados por um padrão binário, conhecido como zero e um. Cada pedaço deste sinal originalmente analógico vai ser identificado por este padrão digital e passará então a representar apenas aquele novo número codificado (binário, ou digital). Para entendermos melhor esta idéia, basta imaginarmos a palavra rádio. Se transmitida pelo sistema analógico, a sua modulação seria comprimida numa onda de rádio e transmitida por forma de ondas eletromagnéticas pelo espaço, mas pelo sistema digital, um conversor irá separar cada letra da palavra rádio e identificar este pedaço como uma seqüência binária - código. Depois de transmitido, este sinal é recebido por um outro conversor que faz exatamente o contrário, recebe o sinal fracionado num conjunto de números e transforma-o em sinais eletromagnéticos analógicos. Este sistema de identificação analógica possui um padrão matemático. Cada conjunto de números 0 e 1 representa uma letra e porque este processo nunca se repete é que os conversores trabalham. Existem vários sistemas similares e compatíveis entre si para fazer estas conversões. A principal vantagem entre os dois sistemas está no fato de que um sinal analógico quando é perdido, não pode ser repostado, porque ele é apenas uma onda de rádio, já um sinal digital, quando perdido ou corrompido (com defeito entre os dígitos) pode simplesmente ser repetido em tempo real, o que aumenta muito a dinâmica da transmissão.

Transmissão em Banda Básica

As transmissões físicas e elétricas nos meios de comunicação impõem limites na taxa máxima de transferência de dados através deles. Várias técnicas são para minimizar os efeitos destas limitações. Estas técnicas consistem na alteração de um ou mais parâmetros do sinal que trafega pelo meio físico,

como por exemplo, a transcodificação dos dados digitais em sinais analógicos que são então transmitidos pelo meio físico.

Este tipo de transcodificação é chamado de *modulação* porque os dados digitais *modulam* um sinal analógico. O sinal analógico modulado é chamado de portador da informação contida nos dados digitais. Veremos algumas técnicas de transcodificação dos dados digitais para adequá-los a transmissão sem o recurso da modulação. Estas transformações consistem basicamente na mudança de representação da informação digital. Esta forma de transmissão de dados digitais é chamada de transmissão na banda básica porque o espectro de frequência dos sinais transcodificados não difere significativamente do espectro da codificação digital interna ao computador.

Os circuitos eletrônicos empregados em transmissão na banda básica são mais simples, e possivelmente mais baratos, que os moduladores e demoduladores empregados em transmissão analógica de dados digitais.

A *taxa de transmissão* de dados, cuja unidade é expressa em *bits por segundo ou bps*, indica o número de vezes por segundo em que ocorrem alterações no sinal injetado no meio da transmissão. Um *símbolo* corresponde a um elemento do código (alfabeto) de sinalização empregada. A taxa de sinalização mede a velocidade com que símbolos são injetados no meio de transmissão. Não é necessário que a taxa de transmissão seja igual a taxa de sinalização, em geral, elas são diferentes. Se o código de sinalização for tal que cada símbolo corresponde a dois bits, a taxa de transmissão em banda básica deve apresentar as seguintes características:

a) A *transparência* de um código indica que este consegue representar qualquer sequência de bits.

b) A *unidade de representação* implica em que deve haver uma correspondência biunívoca entre cada um dos símbolos do código e a sequência de bits representada pelo símbolo.

c) A *largura mínima da faixa* do espectro do sinal pode limitar a utilização de alguns códigos porque eles necessitam de um grande número de componentes harmônicos para ser decodificado. Outros códigos contêm componentes de frequência zero (corrente contínua), o que os torna inadequados para transmissão por circuitos de telefonia.

d) A capacidade de *recuperação de sincronismo* do código indica a facilidade com que se recupera a informação de sincronismo inserida pelo transmissor e receptor.

A imunidade a ruído do código permite uma melhor recuperação de informação em presença de ruído.

e) Finalmente, a *complexidade* do código determina o custo dos codificadores e decodificadores. Um código que não seja transparente e não contenha uma representação biunívoca não é muito útil porque a recuperação correta de informação pode ser impossível em códigos que não apresentam estas duas propriedades. A largura de faixa de passagem e a imunidade a ruído de um código são fatores determinantes da velocidade de transmissão e distância que podem ser atingidos com um dado código e meio de transmissão.

Transmissão por Sinais Modulados

Devido às características elétricas das linhas de transmissão usadas em telefonia, os sinais digitais usados por computadores devem ser adaptados para transmissão de dados através daquelas linhas. Essa adaptação consiste em usar um sinal analógico como meio de transporte para o sinal digital. Esse sinal analógico, chamado de *portadora*, deve ser de tal natureza que possa trafegar por canais de voz sem sofrer distorção significativa. Os aparelhos que fazem a adaptação de sinais digitais para transmissão por canais de voz são os *modems* (MODuladores-DEModuladores).

Na transmissão, o sinal digital é usado para modular a portadora; na recepção, o sinal analógico da portadora é demodulado para recuperar o sinal digital.

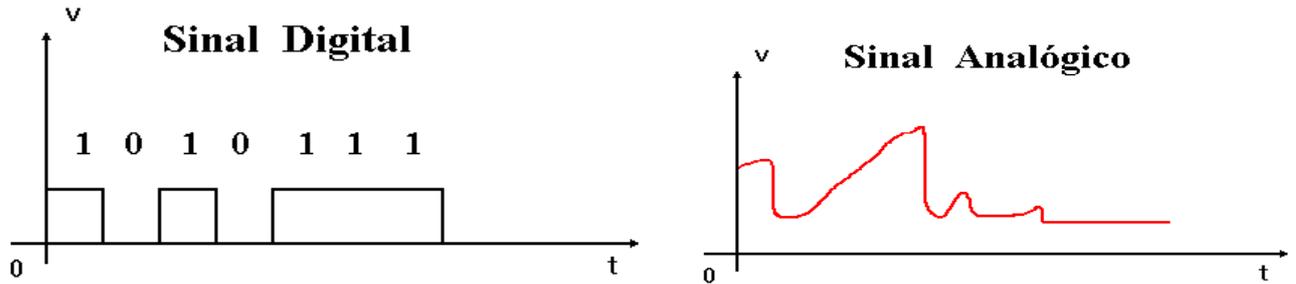
Arquitetura dos Modems Digitais

Os *modems* digitais empregam transmissão em banda básica e são mais simples e baratos que *modems* analógicos. Contudo, *modems* digitais somente podem ser usados em enlaces metropolitanos de até 40 km de distância e em linhas privativas. As características físicas dos códigos banda básica e dos sistemas de telefonia, indução de ruído em linhas adjacentes e acoplamento por transformadores, impedem seu uso em linhas discadas. Os *modems* digitais podem ser síncronos e assíncronos e operam com taxas de transmissão de até 56000 bps.

Arquitetura dos Modems Analógicos

No mínimo, um *modem* analógico contém uma interface EIA-232, um modular e um demodulador além de circuitos de condicionamento de sinal. A interface EIA-232 traduz os níveis elétricos dos dados a transmitir DTX para níveis adequados ao funcionamento dos circuitos internos ao *modem*. O modulador usa o sinal digital para alterar a amplitude, frequência ou fase da portadora, de acordo com o tipo de modulação empregado no *modem*. O filtro de transmissão (TX) remove harmônicos indesejáveis do sinal modulado de modo a que este se enquadre nos padrões de sinalização. O amplificador de saída aplica o sinal modulado com níveis de potência adequados à transmissão pela linha.

No lado da recepção, o sinal inicialmente passa por um condicionador, que o amplifica até um nível adequado para a demodulação. O filtro de recepção (RX) remove componentes de sinal devidos a ruído e equaliza o sinal recebido, compensando distorções introduzidas pela linha de transmissão. O demodulador recupera o sinal DRX a partir do sinal recebido e condicionado. O circuito de detecção de portadora informa ao *modem* sobre a presença de portadora (DCD) com nível e frequência adequados. O circuito de recuperação de sincronismo fornece o sinal de relógio de recepção para o *modem*.



Um Sinal Analógico apresenta uma variação contínua ao longo do tempo, podendo ter características de amplitude e freqüência bastante variáveis.

As ondas sonoras correspondentes à voz podem considerar-se como representativas de Dados Analógicos (devido às características de variação contínua que apresentam) e são, por exemplo, convertidas no aparelho telefônico, num sinal elétrico analógico.

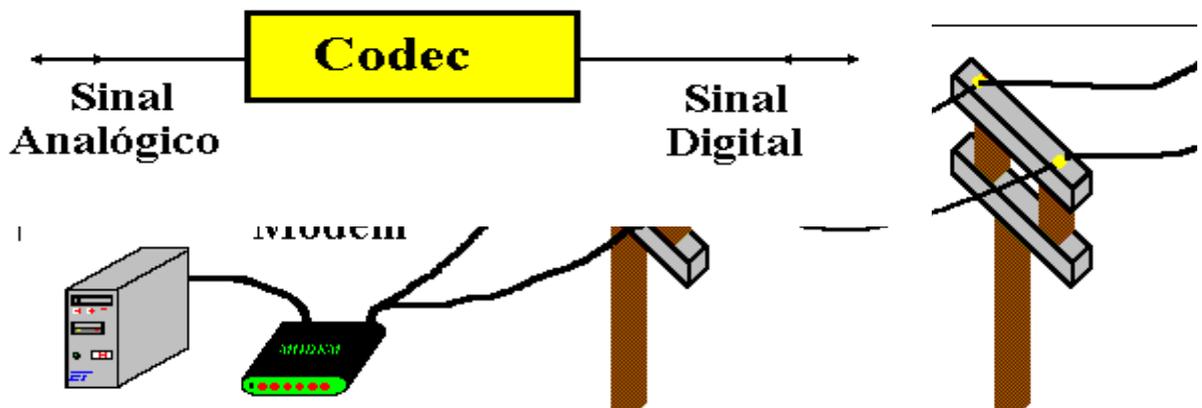
Os dados analógicos representados por sinais analógicos ocupam em geral um espectro de freqüências relativamente limitado, pelo que a largura de banda necessária para a sua transmissão é, no caso dos sinais de áudio sem preocupação de grande fidelidade de reprodução, de valor bastante aceitável.

A maior parte da energia presente na voz humana está compreendida numa faixa de freqüências reduzida, pelo que é freqüente no sistema telefônico limitá-la a uma banda de freqüências compreendida entre 300 e 3400Hz, zona em que ela mantém a inteligibilidade, permitindo o seu reconhecimento pelas pessoas que a ouvem.

Um sinal digital do tipo binário é uma seqüência de dois níveis de impulsos de tensão ou de corrente com amplitude definida, e sucedendo-se a intervalos de tempo regulares. A sua transmissão ao longo dos circuitos de telecomunicações, exige uma grande largura de banda. Não estando as linhas dos circuitos telefônicas tradicionais preparadas ainda para atender a essa exigência, usam-se assim com freqüência, dispositivos que convertem os sinais digitais que representam dados de natureza digital (como os armazenados sob a forma de fichários, no interior dos computadores) em sinais analógicos com largura de banda relativamente reduzida. Estes dispositivos são designados por modem (modulador-demodulador).

Assim, os modems analógicos (como de forma redundante também são designados) que operam nas linhas telefônicas analógicas, modulam um sinal sinusoidal em freqüência, amplitude e (ou) em fase ,dando origem ao aparecimento de uma série de sinais elétricos com freqüências que "cabem" no canal telefônico, ou seja na largura de banda deste (cerca de 4 khz).

Dados Analógicos



Dados Digitais

Com o advento dos circuitos digitais nas redes de telecomunicações, nas linhas principais entre Centrais Telefônicas ("trunk lines"), e o seu conseqüente embaratecimento provocado pela produção em massa, tornou-se possível a transmissão de sinais digitais através de linhas de elevada qualidade, agora designadas por linhas digitais, com muito melhor relação sinal/ruído e permitindo a utilização de grandes larguras de banda).

Foi assim necessário transformar os sinais analógicos relativos à voz ou a vídeo, em sinais digitais e vice-versa, a fim de poder beneficiar das linhas digitais de elevada qualidade, agora disponíveis. Assim, esta função é realizada com o auxílio de conversores A/D (Analógico-Digital) e D/A (Digital- Analógico) e da técnica designada por PCM, pelo Codec (Coder-Decoder).

