

Uma das funções mais importantes da camada física é converter dados em sinais eletromagnéticos e transmiti-los através de um meio de transmissão. Não importa se você está fazendo aquisição de dados estatísticos de um outro computador, enviando figuras animadas de uma estação de trabalho de *design* ou se você está manipulando um banco de dados localizados num centro de controle distante, o processo de transmissão de dados está acontecendo através das conexões de rede.

Geralmente, os dados manipulados por um usuário ou *software* não estão numa forma adequada para serem transmitidos na rede. Por exemplo, você não consegue enrolar uma fotografia, inseri-la num fio e transmiti-la através da rede. Entretanto, você pode transmitir uma descrição codificada da fotografia. Em vez de enviar a fotografia real, você usa algum mecanismo de codificação para gerar uma cadeia de *bits* 1s e 0s capaz de informar ao dispositivo receptor como reconstruir a imagem da fotografia.

Contudo, mesmo 1s e 0s não podem ser enviados através de *links* da rede. Antes, eles devem ser convertidos para uma forma que o meio de transmissão possa aceitá-los. Os meios de transporte trabalham conduzindo energia ao longo de um caminho físico. Assim, a primeira funcionalidade da camada física é converter as cadeias de 1s e 0s em sinais eletromagnéticos para o transporte de energia.

Para serem transmitidos, os dados devem ser convertidos em sinais eletromagnéticos.

3.1 ANALÓGICO E DIGITAL

Tanto dados como sinais que os representam podem existir na forma *analógica* ou *digital*.

Informação Analógica e Informação Digital

Talvez o melhor exemplo de representação de **informação analógica** seja a voz humana. Quando uma pessoa fala é gerada uma onda analógica no ar. Essa onda pode ser capturada por um microfone e convertida em um sinal analógico ou amostrada e convertida em um sinal digital.

Um bom exemplo de representação de **informação digital** são os dados armazenados na memória de um computador na forma de 0s e 1s. Quando provocamos uma transferência de dados de uma posição de memória para outro local de armazenamento, esses dados são convertidos em

um sinal digital, para dentro ou para fora do computador, ou são modulados a um sinal analógico e, então, são enviados através de um meio de transmissão para outro computador.

Sinais Analógicos e Sinais Digitais

Assim como a informação, os **sinais** podem ser representados na forma analógica ou digital. Um **sinal analógico** possui infinitos níveis de tensão num certo período de tempo. Quando uma onda evolui do valor A para o valor B, ela passa através de um número infinito de valores ao longo do caminho. Contrariamente, um **sinal digital** possui apenas um número limitado e definido de valores, simplificados frequentemente como 1 e 0.

O modo mais simples de representar sinais é utilizando um plano cartesiano constituído de um par de eixos perpendiculares, onde o eixo vertical representa sempre o valor ou a intensidade do sinal e o eixo horizontal representa o fluxo do tempo. A Figura 3.1 ilustra dois sinais, um analógico e outro digital. A curva que representa o sinal analógico passa sempre através de um número infinito de pontos (valores). Entretanto, as linhas verticais do sinal digital demonstram apenas uma transição repentina (um degrau) que o sinal realiza entre dois valores.

Sinais podem ser analógicos ou digitais. Sinais analógicos possuem um número infinito de valores distribuídos numa faixa. Ao passo que os sinais digitais possuem apenas um número limitado de valores.

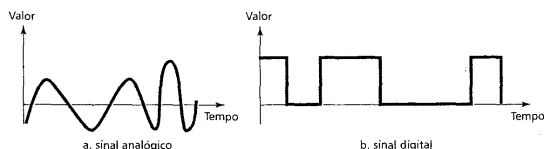


Figura 3.1 Comparação entre sinal analógico e sinal digital.

Sinais Periódicos e Sinais Não Periódicos

Tanto um sinal analógico quanto um sinal digital pode se apresentar na forma *periódica* ou *não periódica*. Um **sinal periódico** completa um padrão dentro de um intervalo de tempo mensurável, denominado **período**, e repete este padrão nos períodos de tempo subsequentes. A um padrão completo é dado o nome de **ciclo**. Um **sinal não periódico** evolui no tempo sem exibir um padrão ou completar um ciclo.

Na comunicação de dados é frequente o uso de sinais analógicos periódicos e sinais digitais não periódicos para enviar dados de um ponto a outro, apesar de ambos poderem assumir tanto a forma periódica quanto a não periódica.

Na comunicação de dados, utilizamos frequentemente sinais analógicos periódicos e sinais digitais não periódicos.

3.2 SINAIS ANALÓGICOS

Sinais analógicos são classificados como sinais simples e sinais compostos. Um sinal analógico simples, uma **onda senoidal**, não pode ser decomposto numa soma simplificada de sinais. Um sinal analógico composto é constituído de uma soma discreta, possivelmente infinita, de múltiplas ondas senoidais.

A Onda-Senoidal

A onda senoidal é a forma fundamental de um sinal analógico periódico de maior importância na comunicação de dados. Visualizado como uma curva variável no tempo, varia ao longo de um ciclo de forma contínua. A Figura 3.2 ilustra uma onda senoidal. Cada ciclo da senóide consiste de dois arcos da função seno, um acima e outro abaixo do eixo dos tempos.

Podemos descrever matematicamente uma onda senoidal como segue:

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

sendo s o valor instantâneo do sinal, A a amplitude de pico, f a frequência e ϕ a fase da onda. Essas características descrevem completamente uma onda senoidal.

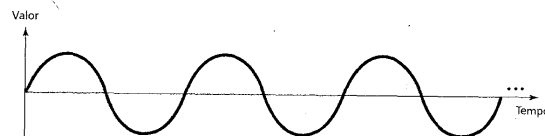


Figura 3.2 Uma onda senoidal.

Amplitude de pico

A **amplitude de pico** de um sinal representa o valor de intensidade mais alta, proporcionalmente à energia transportada pelo sinal. Para sinais elétricos, a amplitude de pico geralmente é medida em **volts** (veja a Fig. 3.3).

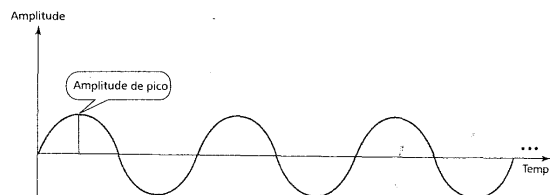


Figura 3.3 Amplitude.

Período e Frequência

Período é o intervalo de tempo que uma onda leva para completar um ciclo. Assim, período é uma grandeza temporal, logo medido em segundos. A **frequência** é o número de períodos ou ciclos num intervalo de tempo igual a 1 segundo. Perceba que período e frequência representam a mesma característica de uma onda definida de duas formas diferentes. O período é o inverso da frequência, como mostram as fórmulas abaixo.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{e} \quad T = \frac{1}{f}$$

Período e frequência são grandezas inversamente proporcionais.

A Figura 3.4 ilustra os conceitos de período e frequência.

O período de uma onda é expresso formalmente em segundos, enquanto que a frequência é expressa em **hertz (Hz)**, como mostra a Tabela 3.1.

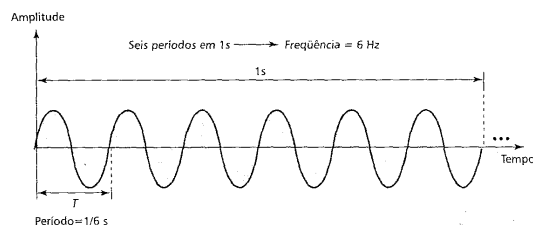


Figura 3.4 Período e frequência.

TABELA 3.1 Unidades de período e frequência

Unidade	Equivalência	Unidade	Equivalência
Segundos (s)	1 s	hertz (Hz)	1 Hz
Milissegundos (ms)	10^{-3} s	kilohertz (KHz)	10^3 Hz
Microssegundos (μs)	10^{-6} s	megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanossegundos (ns)	10^{-9} s	gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picosegundos (ps)	10^{-12} s	terahertz (THz)	10^{12} Hz

Exemplo 1

Expressar um período de 100ms em microssegundos e determinar a frequência correspondente em kilohertz.

Solução

Primeiramente, vamos expressar 100ms em microssegundos. Da Tabela 3.1, encontramos o equivalente de 1ms ($1\text{ms} = 10^{-3}\text{s}$) e 1s ($1\text{s} = 10^6\mu\text{s}$). Encontramos o resultado desejado tomando as seguintes substituições:

$$100\text{ms} = 100 \times 10^{-3}\text{s} = 100 \times 10^{-3} \times 10^6\mu\text{s} = 10^5\mu\text{s}$$

Agora, usamos a relação de reciprocidade entre frequência e período, e convertemos o resultado para kilohertz ($1\text{Hz} = 10^{-3}\text{kHz}$).

$$100\text{ms} = 100 \times 10^{-3}\text{s} = 10^{-1}\text{s} \rightarrow f = \frac{1}{10^{-1}}\text{Hz} = 10 \times 10^{-3}\text{kHz} = 10^{-2}\text{kHz}$$

Um Pouco Mais Sobre Frequência

Sabemos que período relaciona um sinal com o tempo e que a frequência de uma onda é o número de ciclos completos por segundo. Podemos olhar de uma forma diferente e encarar-la como sendo uma medida de taxa de variação. Sinais eletromagnéticos são formas de onda variáveis no tempo, isto é, são flutuações contínuas preditas, acima e abaixo de um nível médio de energia. Basta

ver que um sinal de 40Hz tem a metade da frequência de um sinal de 80Hz. Assim, no tempo de um único ciclo do sinal de 40Hz são realizados dois ciclos do sinal de 80Hz. Então, cada ciclo do sinal de 40Hz também leva um tempo duas vezes maior para mudar da maior amplitude positiva para a amplitude mais negativa. A conclusão que tiramos disso é que, embora a frequência descreva o número de ciclos por segundo (hertz), ela pode ser vista como uma medida genérica da taxa de variação de um sinal com relação ao tempo.

Além disso, se o valor de um sinal muda num curto espaço de tempo, a frequência desse sinal é elevada. Se as mudanças nos valores ocorrem apenas em grandes intervalos de tempo, a frequência desse sinal é baixa.

Frequência é a taxa de variação com relação ao tempo. Variações curtas no tempo indicam que o sinal possui frequência alta. Variações longas no tempo indicam que o sinal possui frequência baixa.

Dois Extremos

E se o sinal não variar no tempo? Ou, se o nível de tensão se mantém constante por um longo intervalo de tempo? Em tais casos, o sinal tem frequência zero. Conceitualmente, a idéia é simples. Se um sinal não varia de forma alguma, ele nunca completa um ciclo. Logo deve possuir frequência 0Hz.

E se o sinal variar instantaneamente? Ou, e se o sinal mudar de um nível de tensão a outro em um tempo zero? Então, a melhor resposta seria que esse sinal possui frequência infinita. Em outras palavras, quando um sinal varia instantaneamente, o período correspondente é zero. Como a frequência é o recíproco do período, nesse caso, a frequência seria $1/0$. Essa divisão é algo inimaginável, que acreditamos ser ilimitada, e que pressupomos representar uma frequência infinita.

Se um sinal é constante no tempo, a frequência correspondente é zero. Se um sinal variar instantaneamente no tempo, a frequência correspondente tende a infinita.

Fase

O termo **fase** descreve a posição da forma de onda com relação ao marco zero do tempo. Se imaginarmos uma onda como algo que pode ser deslocado para frente e para trás no eixo dos tempos, a fase descreve o quanto um sinal está deslocado em relação ao tempo zero. Podemos dizer que a fase indica o *status* do primeiro ciclo.

A fase descreve a posição de uma forma de onda relativa ao tempo zero.

A fase é medida em graus ou radianos [$360^\circ = 2\pi\text{rad}$; $1^\circ = (2\pi/360)\text{rad}$ e $1\text{rad} = 360/(2\pi)^\circ$]. Um deslocamento de fase de 360° corresponde a deslocar um período completo da onda. Já um deslocamento de 180° corresponde a um deslocamento de meio ciclo (semi-ciclo) de período. Por fim, um deslocamento de 90° corresponde a um deslocamento de 1/4 de período (veja Fig. 3.5).

Exemplo 2

Uma senóide está posicionada a 1/6 de um ciclo com relação ao tempo zero. Qual é o deslocamento de fase em graus e em radianos?

Solução

Sabemos que um ciclo completo representa 360° . Sendo assim, 1/6 de ciclo é

$$\frac{1}{6} \times 360 = 60^\circ = 60 \times \frac{2\pi}{360}\text{rad} = 1,046\text{rad}$$

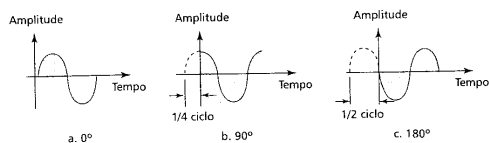


Figura 3.5 Relação entre diferentes fases.

Exemplos de Ondas Senoidais

Uma comparação visual entre sinais de diferentes características pode dar uma melhor compreensão destas características. A Figura 3.6 mostra três ondas senoidais com diferentes amplitudes de pico, frequências e fases.

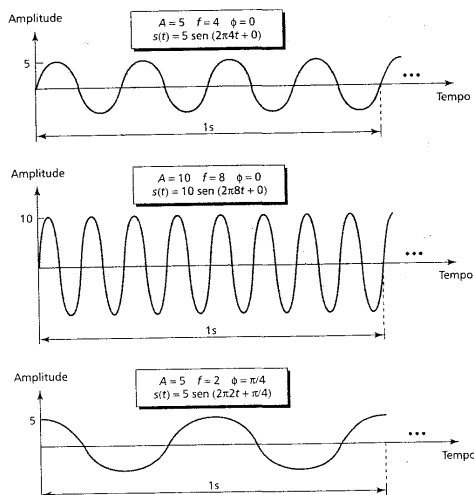


Figura 3.6 Exemplos de ondas senoidais.

Domínio do Tempo versus Domínio da Frequência

Uma onda senoidal fica bem definida através da amplitude, frequência e fase. Temos mostrado graficamente ondas senoidais esboçadas usando o que é chamado **domínio do tempo**. Um gráfico no domínio do tempo mostra as variações instantâneas de um sinal. A fase e a frequência não são medidas explícitas em um gráfico no domínio do tempo.

Para mostrar a relação entre amplitude e frequência de um sinal podemos usar o que é denominado **domínio da frequência**. A Figura 3.7 compara o domínio do tempo (valores instantâneos) e o domínio da frequência (amplitude de pico com relação à frequência).

A figura mostra três sinais de frequências diferentes. Compare cada par de resultados colocados lado a lado para ter uma idéia que tipo de dados cada uma das representações pode oferecer. Perceba que todos os três sinais têm amplitude de 5 volts (5V). A frequência do primeiro sinal é 0. No domínio da frequência mostramos uma resposta (um *spike*) no ponto de frequência 0 e amplitude 5. O segundo sinal tem frequência 8. Assim, exibimos no domínio da frequência uma resposta (*spike*) de amplitude 5 no ponto de frequência 8. Finalmente, o terceiro sinal é mostrado com uma frequência 16 e com a mesma amplitude dos demais. Perceba que no domínio da frequência podemos mostrar duas características de um sinal através de um único *spike*; a posição no eixo horizontal representando a frequência e a altura o valor de amplitude de pico. A fase de um sinal não pode ser exibida no domínio da frequência. Para fazê-lo, necessitamos de um outro domínio que não é discutido neste livro.

A melhor forma de representar um sinal analógico é usando o domínio da frequência.

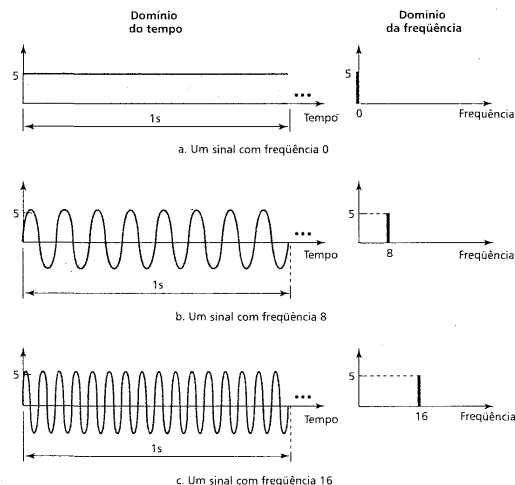


Figura 3.7 Domínio do tempo versus da frequência.

Sinais Compostos

Até aqui, focamos nossa atenção na discussão de sinais simples (ondas senoidais). Embora uma única onda senoidal seja útil para alguns propósitos, ela encontra pouca utilidade na comunicação de dados. Podemos enviar uma onda senoidal de frequência 60Hz através de uma linha de dis-

tribuição de energia elétrica para alimentar nossas casas, empresas, etc. Podemos ainda, usar uma única senóide para enviar um alarme a um centro de segurança quando um ladrão arromba uma porta ou uma janela da nossa casa. No primeiro caso, a senóide transporta energia. No segundo, a presença do sinal leva o centro de segurança a inferir o perigo.

Se utilizássemos uma única senóide para transportar a conversação numa linha telefônica, a informação transmitida e recebida seria semelhante ao som de uma cigarra ou campainha elétrica. Não haveria sentido e nem muito menos transporte de informação. Se enviássemos uma única onda senoidal para transmitir dados, estaríamos sempre trabalhando no regime do tudo ou nada, como se estivéssemos enviando 1s (tudo) ou 0s (nada)*, a qual não estabelece comunicação inteligível.

Um sinal de uma única frequência não é útil aos propósitos da comunicação de dados. Precisamos mudar uma ou mais características do sinal para torná-lo útil.

Se quisermos utilizar uma onda senoidal para comunicação, precisamos modificar pelo menos uma das características dela. Por exemplo, quando os dados a serem enviados são o *bit* 1, podemos enviar o valor máximo de tensão (amplitude de pico). Quando o *bit* a ser enviado é o 0, podemos enviar o valor mais negativo (amplitude mínima). Contudo, devemos sempre ter em mente que quando mudamos alguma característica de uma onda senoidal, não estamos mais lidando com uma onda senoidal simples. Em vez disso, passamos a lidar com um **sinal composto** construído a partir de inúmeras ondas senoidais. A mais sutil mudança na amplitude, frequência ou fase da senóide gera um novo conjunto ou espectro de frequências. Intuitivamente, mudança (variação) está relacionada à frequência. Quanto mais mudanças forem criadas num sinal, maior a quantidade de novas frequências criadas.

Quando modificamos qualquer uma das características de um sinal simples associamos ao novo sinal outras componentes de frequência e, assim, o transformamos em um sinal composto.

Análise de Fourier

No início do século XIX, o matemático francês Jean-Baptiste Fourier mostrou que qualquer sinal composto é a soma de um conjunto de senóides de diferentes frequências, fases e amplitudes. Em outras palavras, podemos escrever matematicamente um sinal composto como:

$$s(t) = A_1 \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(2\pi f_2 t + \phi_2) + A_3 \sin(2\pi f_3 t + \phi_3) + \dots$$

De acordo com a análise de Fourier, qualquer sinal composto pode ser representado por uma combinação de senóides simples de diferentes frequências, amplitudes e fases.

Por exemplo, vamos considerar o caso clássico de uma onda quadrada de amplitude A e frequência f (período T) da Figura 3.8. Com base na **análise de Fourier**, é possível provar que esse sinal pode ser decomposto na série de ondas senoidais mostrada a seguir.

$$s(t) = \sin[2\pi f t] + \sin[2\pi(3f)t] + \sin[2\pi(5f)t] + \dots$$

Em outras palavras, essa é a série de senos cujas frequências são $f, 3f, 5f, 7f, \dots$ e amplitudes são $4A/\pi, 4A/3\pi, 4A/5\pi, 4A/7\pi$ e assim por diante. O termo dominante, ou seja, de maior amplitude na série, é aquele de frequência f , denominado **frequência fundamental**. Os termos de frequência $3f, 5f, 7f, \dots$ são denominados, respectivamente, de terceiro, quinto e sétimo harmônicos e

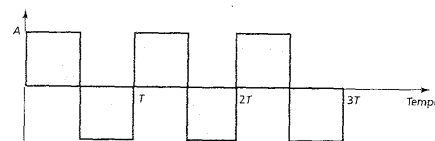


Figura 3.8 Onda quadrada.

assim por diante. Desse modo, para recriar um sinal quadrado completo é necessário somar todos os harmônicos de frequência ímpares até infinito*. Por exemplo, se uma onda quadrada possui frequência 5kHz, os componentes da série tem frequências 5kHz, 15kHz, 25kHz, ... A Figura 3.9 mostra a fundamental e dois outros harmônicos.

É claro que, se somarmos a fundamental e os dois harmônicos, não reconstruímos a onda quadrada original, mas o padrão resultante leva-nos a intuir que mais alguns harmônicos são suficientes para conseguir uma boa aproximação (ver Figura 3.10).

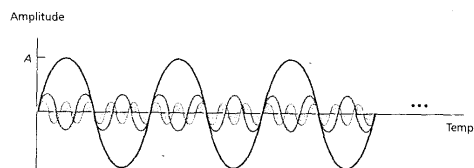


Figura 3.9 Três harmônicos.

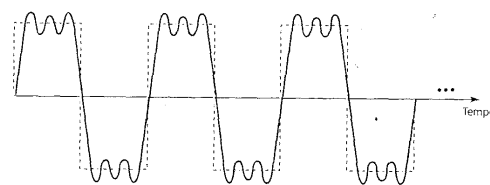


Figura 3.10 Adicionando primeiro três harmônicos.

* N. de R. T.: Vale lembrar que o código Morse funciona exatamente desta forma: tudo ou nada em intervalos periódicos. Entretanto, este tipo de transmissão é muito rudimentar e encontra pouco uso prático.

* N. de R. T.: Tecnicamente, não temos condições de lidar com os infinitos termos da série. Por isso, utilizamos a ideia de convergência da série para aproximar um sinal composto a partir de uma soma finita de termos. Por exemplo, uma boa aproximação da onda quadrada pode ser obtida com 10 termos (a fundamental + 9 harmônicos de frequência ímpares).

Espectro de Frequência

A descrição completa de um sinal composto no domínio da frequência é denominado **espectro de frequência** desse sinal. Por exemplo, a Figura 3.11 apresenta os espectros de frequência de uma onda quadrada e de um sinal que se aproxima da onda quadrada (fundamental + dois harmônicos), respectivamente.

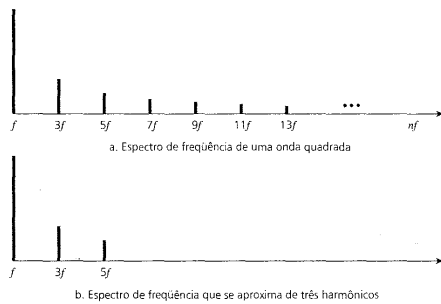


Figura 3.11 Comparação do espectro de frequência.

Sinal Composto e o Meio de Transmissão

Fisicamente, um sinal viaja através de um meio de transmissão de suporte (cabo ou ar). Contudo, cada meio possui características próprias e que não dependem da existência de um sinal. Uma das características de um meio está relacionada às frequências que ele pode transmitir. Desse modo, um meio pode facilmente transmitir algumas frequências ou bloquear (filtrar) outras. Isto significa que, quando um sinal composto de muitas frequências é enviado através de uma extremidade de um meio de transmissão, pode ser que o sinal recebido na outra extremidade não seja o mesmo sinal original. Para assegurar a integridade do sinal composto, o meio deve permitir a passagem de quaisquer frequências, além disso, deve preservar as amplitudes e fases de cada um dos harmônicos.

Estamos querendo dizer que nenhum meio de transmissão é perfeito. Cada tipo de meio permite a passagem de algumas frequências, atenua outras e, até mesmo, bloqueia completamente certos harmônicos em muitos casos. Em particular, significa que ao enviarmos uma onda quadrada através de um meio é comum obtermos algo na extremidade de saída do receptor diferente da onda quadrada original. A Figura 3.12 ilustra esse conceito.



Figura 3.12 Sinal corrompido.

Largura de Banda

A faixa de frequências passantes de um meio é denominada **largura de banda** (*bandwidth*). Por que nenhum meio é capaz de passar ou bloquear todas as frequências, a largura de banda normalmente refere-se à faixa de frequências que o meio pode transmitir com perdas abaixo da metade da

potência inicial do sinal. Assim, a largura de banda é uma quantidade que normalmente se refere à diferença entre duas frequências. Por exemplo, se um meio permite a passagem de sinais de frequência entre 1 kHz e 5 kHz, com perdas abaixo da metade da potência inicial do sinal, a largura de banda vale $5\text{ kHz} - 1\text{ kHz} = 4\text{ kHz}$.

A largura de banda é uma propriedade de um meio. Ela é a diferença entre a maior e a menor frequências que um meio pode transmitir satisfatoriamente.

Se a largura de banda de um meio não casa com o espectro de frequências de sinal, fatalmente algumas frequências do sinal serão perdidas durante a transmissão. Por exemplo, a onda quadrada da Figura 3.8 tem frequências que se expandem até o infinito. Nenhum meio de transmissão tem uma largura de banda capaz de transmiti-la integralmente. Isto significa que uma onda quadrada passando através de um meio sofrerá sempre alguma deformação no sinal. Um exemplo mais, a voz humana normalmente tem um espectro variando entre 300 e 3300 Hz (largura de banda de 3000 Hz). Se usarmos uma linha de transmissão com largura de banda de 1000 Hz, entre 1500 e 2500 Hz, é inevitável que alguns componentes de frequência do sinal de voz sejam perdidos ao ponto de torná-la irreconhecível.

Algumas pessoas usam o termo **largura de banda** para classificar um sinal. Por exemplo, é comum ouvir "Este sinal possui uma largura de banda de 1 kHz". Neste caso, eles querem dizer que o sinal possui um espectro de frequência cujas frequências predominantes são perto de 1 kHz. Ditto de outra maneira, seria "Precisamos de um meio com largura de banda de 1 kHz se quisermos enviar este sinal sem perdas significativas dentro dele". Hoje em dia, as pessoas se referem indistintamente à largura de banda do meio e dos sinais, mas nem sempre foi assim.

Neste livro, usaremos o termo largura de banda referindo-nos à propriedade de um meio ou à largura do espectro de um sinal.

A Figura 3.13 apresenta visualmente o conceito de largura de banda. A figura ilustra a faixa de frequências que um meio permite a passagem e as amplitudes relativas das frequências passantes. Perceba que o meio pode passar frequências acima de 5 kHz ou abaixo de 1 kHz, mas de acordo com o critério de meia potência anterior, as amplitudes de potência dos sinais com essas frequências são menores que a metade da potência original do sinal, logo são consideradas bloqueadas.

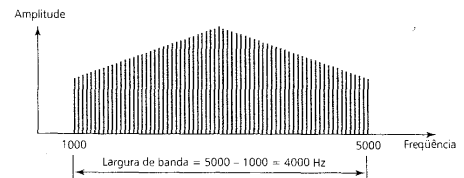


Figura 3.13 Largura de banda.

Exemplo 3

Qual é a largura de banda de um sinal periódico decomposto em cinco componentes senoidais de frequências 100, 300, 500, 700 e 900 Hz? Desenhe o espectro de frequências levando em conta que todas as componentes têm a mesma amplitude de pico em 10V.

Solução

Seja f_h a maior e f_l a menor frequência. Considere ainda que a largura de banda seja representada por B . Então,

$$B = f_h - f_l = 900 - 100 = 800 \text{ Hz}$$

O espectro de frequências possui somente cinco *spikes* localizados em 100, 300, 500, 700 e 900 Hz (veja Fig. 3.14).

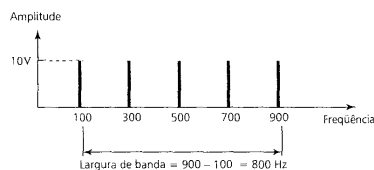


Figura 3.14 Exemplo 3.

Exemplo 4

Um sinal composto possui uma largura de banda de 20 Hz. Sabendo que a maior frequência vale 60 Hz, qual é a menor frequência que constitui esse sinal? Desenhe o espectro de frequência considerando que o sinal contém todas as frequências inteiras e de mesma amplitude entre a menor e a maior frequências.

Solução

Seja f_h a maior frequência e f_l a menor frequência. Considere ainda que a largura de banda seja representada por B . Então,

$$\begin{aligned} B &= f_h - f_l \\ 20 &= 60 - f_l \\ f_l &= 60 - 20 = 40 \text{ Hz} \end{aligned}$$

O espectro de frequências inicia em 40 Hz e estende-se até 60 Hz, exibindo todas as frequências inteiras nessa faixa. Na Figura 3.15, mostramos isso através de uma série de *spikes*.

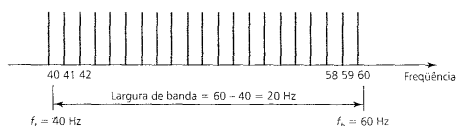


Figura 3.15 Exemplo 4.

Exemplo 5

Um sinal possui um espectro de frequência que vai de 1 a 2 kHz (largura de banda = 1 kHz). Um meio pode transmitir frequências compreendidas na faixa que vai de 3 a 4 kHz (largura de banda = 1 kHz). Este sinal consegue viajar através desse meio?

Solução

A resposta é definitivamente não. Embora o sinal tenha a mesma largura de banda do meio (1 kHz), as faixas de frequência não se sobrepõem. O meio só pode transmitir frequências entre 3 e 4 kHz. Nessa faixa, o sinal é totalmente perdido.

3.3 SINAIS DIGITAIS

Além da representação analógica, um sinal também pode possuir uma forma de representação digital. Nessa representação, em geral, o nível 1 equivale a uma tensão positiva e o nível 0 equivale ao referencial de zero volt (veja Fig. 3.16).

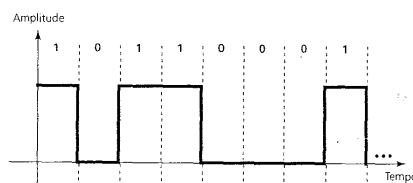


Figura 3.16 Um sinal digital.

Intervalo de Sinalização e Número de Bits por Segundo

A maioria dos sinais digitais não são periódicos. Sendo assim, os termos período e frequência não são apropriados. Dois novos termos, *intervalo de sinalização* (no lugar de período) e *número de bits por segundo* (no lugar de frequência) são utilizados para descrever sinais digitais. O **intervalo de sinalização** é o tempo necessário para enviar um único *bit*. O **número de bits por segundo** é a quantidade de intervalos de sinalização por segundo. Isto significa que o número de bits por segundo é a quantidade de bits enviados num tempo igual a 1s, usualmente expresso por **bits por segundo (bps)** (veja Figura 3.17).

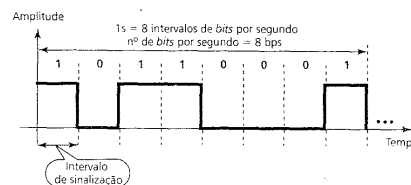


Figura 3.17 Intervalo de sinalização e número de bits por segundo.

Exemplo 6

Um sinal digital possui um número de bits por segundo de 2000bps. Qual é a duração de cada *bit*, ou seja, o intervalo de sinalização?

Solução

O intervalo de sinalização é o recíproco do número de bits por segundo. Logo,

$$\text{Intervalo de sinalização} = \frac{1}{\text{Número de bits por segundo}} = \frac{1}{2000} = 0,0005 \text{ s} = 0,0005 \times 10^6 \mu\text{s} = 500 \mu\text{s}$$