



SINAIS E SISTEMAS

AULA 1



Prof. Charles Way Hun Fung



CONVERSA INICIAL

Neste tema iremos aprender sobre os conceitos básicos de sinais e sistemas, como os tipos básicos, operações e classificações dos sinais.

Veremos também o conceito de sistemas e suas classificações, com seus conceitos de linearidade, variância no tempo, causalidade, tempo contínuo e discreto e estabilidade. Bons estudos!

TEMA 1 – CONCEITOS BÁSICOS

No dia a dia, é comum entrarmos em contato com sinais de diversas espécies. Estes sinais são funções que carregam informação em formatos ou padrões que representam alguma forma de transmissão de dados. Exemplos deste argumento são textos escritos, sinais de fumaça, transmissões de rádio etc.

Uma característica interessante dos sinais é a capacidade de descrever fenômenos, como variação de temperatura, densidade de um material ou tensão elétrica de um sensor. Então podemos dizer que os sinais existem fisicamente. Além de podermos representá-los matematicamente, podem existir em diversas formas e grandezas físicas: elétricas, mecânicas, pneumáticas, óticas etc.

Sinais são representados por funções, e estas são relações entre dois conjuntos:

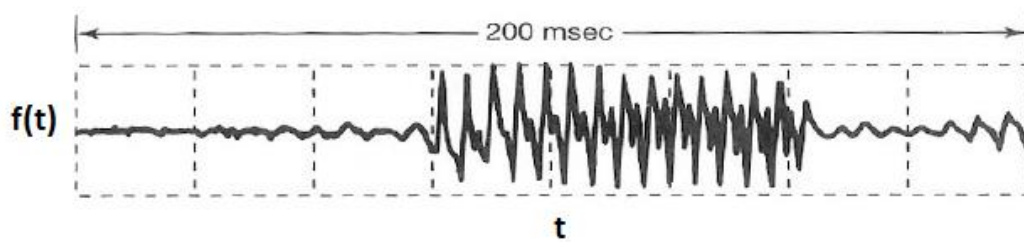
$$f: T \rightarrow F$$

Onde T é chamado de domínio e F é chamado de *range*. O conjunto $[T \rightarrow F]$ é chamado de espaço de função.

Podemos exemplificar este conceito com $[\text{tempo} \rightarrow \text{pressão}]$, sendo este o conjunto de sinais sonoros, cujo domínio é o tempo e *range* é a pressão.

Normalmente os sinais são representados por gráficos como a figura a seguir:

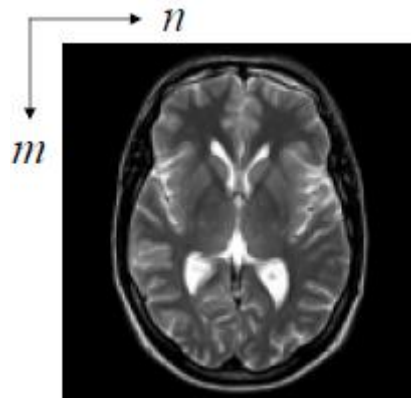
Figura 1 – Representação gráfica de sinais



Fonte: Zibetti, 2012.

Também é possível representar um sinal dependente de duas variáveis $x(m, n)$, como na imagem a seguir:

Figura 2 – Representação 2D de um sinal



Fonte: Zibetti, 2012.

Seguindo este princípio, podemos conceituar os tipos de variáveis:

- **Variável Independente:** é uma variável que não possui nenhuma dependência e cuja variação influencia no sinal analisado. Exemplo: tempo, frequência.
- **Variável Dependente:** esta variável representa um sinal, porém é dependente de outra variável que é independente. Exemplo: velocidade, aceleração.

Há diversos tipos de sinais, e para tornar a compreensão destes mais simples, iremos classificá-los com termos que iremos usar ao longo do curso.

1.1 Sinais contínuos e Discretos no tempo

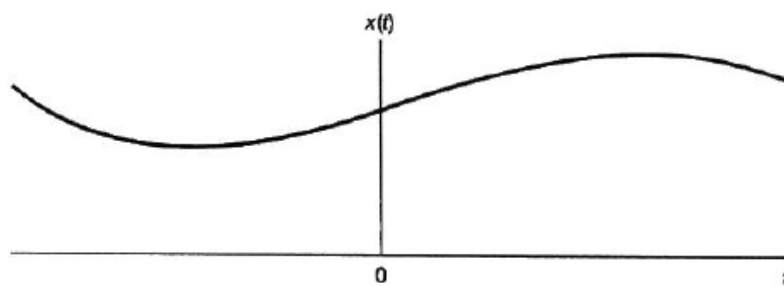
Segundo Oppenheim (2010) para expressar estes sinais, convencionou-se o símbolo t para a variável independente de tempo contínuo e n para variável



independente de tempo discreto. Além disto, a notação adotada para variáveis independentes é entre parênteses "()" e para sinais discretos a variável independente será representada entre colchetes "[]".

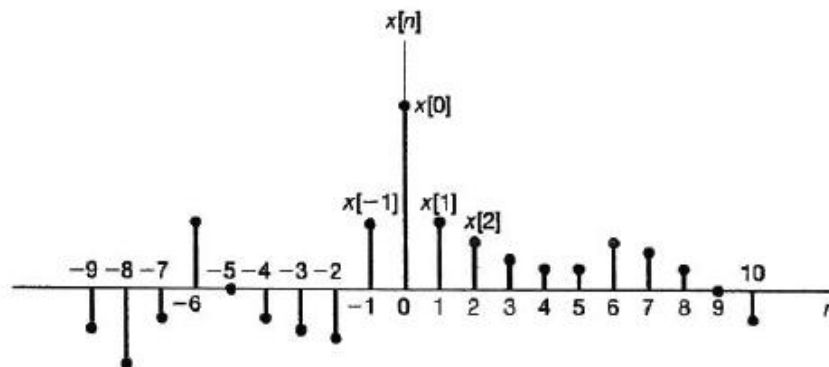
É conveniente mostrar os sinais graficamente. Na figura 3, podemos notar que o sinal contínuo são os valores reais do número, enquanto que na figura 4 é representado o sinal discreto. Neste sinal pode-se notar que os valores de $x[n]$ são definidos apenas com os valores inteiros da variável independente.

Figura 3 – Representação gráfica de um sinal contínuo



Fonte: Oppenheim, 2010.

Figura 4 – Representação gráfica de um sinal discreto



Fonte: Oppenheim, 2010.

Sinais discretos podem representar um fenômeno natural, na qual a variável independente tem natureza discreta, como dados de densidade demográfica.

Entretanto estes sinais podem representar também sinais que foram amostrados a partir de sinais contínuos. Neste caso, é a representação de um sinal no qual a variável independente é contínua.

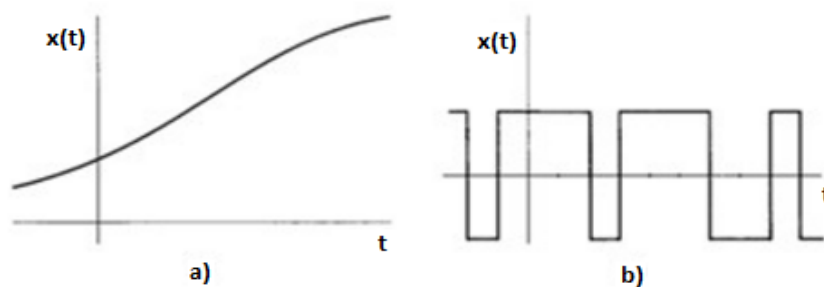


Para isto, cada valor recebido ou amostrado do sinal contínuo irá equivaler a um valor inteiro, que poderá ser armazenado na memória. Isto indica outra classificação que faremos com os sinais.

1.2 Sinais Analógicos e Digitais

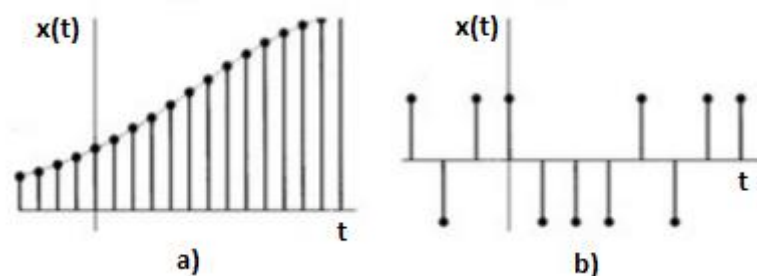
- **Sinais Analógicos:** são sinais que têm seu valor de amplitude que pode variar continuamente entre os valores máximos e mínimos estipulados. Ou seja, a amplitude de um sinal analógico pode assumir infinitos valores dentro da faixa de operação.
- **Sinais Digitais:** são sinais que sua amplitude pode assumir apenas dois valores: nível alto ou 1, que é o valor máximo do *range* de operação, enquanto o nível baixo ou zero equivale ao nível mais baixo do *range* de operação.

Figura 5 – Sinal contínuo - a) analógico, b) digital



Fonte: Lathi, 2007.

Figura 6 – Sinal discreto - a) analógico, b) digital



Fonte: Lathi, 2007.

2.3 Sinais Periódicos e não periódicos

Segundo Lathi (2007), um sinal é considerado periódico se para alguma constante positiva T .

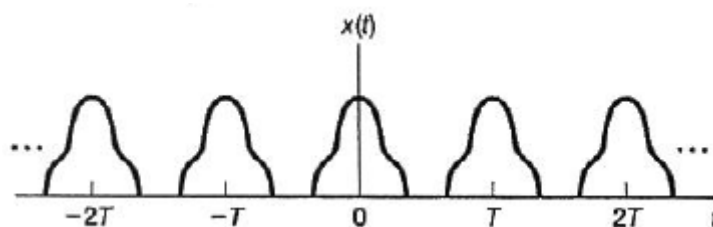


$$x(t) = x(t + T), \text{ para todo } t. \quad (1)$$

Se a condição expressa em (1) for verdadeira, para qualquer valor de t , pode-se afirmar que $x(t)$ é periódica, ou seja, o sinal tem a propriedade de não se modificar com o deslocamento no tempo de T . Também se pode dizer que T é o período fundamental de $x(t)$.

Outra propriedade interessante de sinais periódicos é que podem ser um sinal $x(t)$ pela extensão periódica de qualquer segmento de $x(t)$ com duração T . Com isto, é possível gerar qualquer segmento de $x(t)$ contendo a duração de um período.

Figura 7 – Sinal periódico

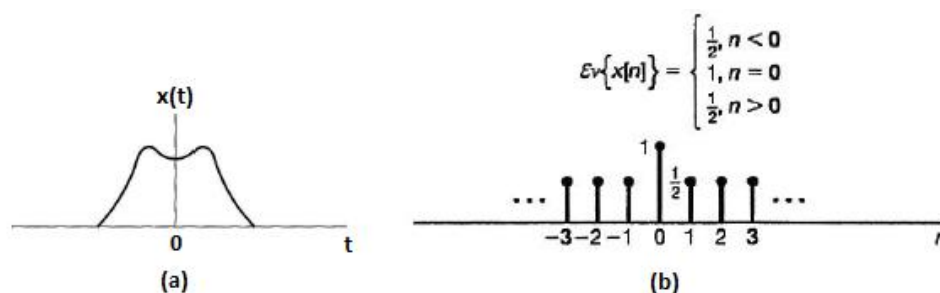


Fonte: Oppenheim, 2010.

2.3.1 Sinais com simetria par e com simetria ímpar

Sinal com simetria par: são sinais que possuem simetria em relação à origem. A figura a seguir ilustra este fenômeno:

Figura 8 – Sinal com simetria par



Fonte: Oppenheim, 2010.

Podemos representar matematicamente um sinal par da seguinte forma:

$$x(-t) = x(t) \quad (2)$$

Enquanto que para tempo discreto temos a equação:



$$x[-n] = x[n] \quad (3)$$

Pode-se ver a ilustração desta simetria na figura 8. Em (a) é apresentada a simetria par com um sinal contínuo e em (b) a simetria par em um sinal discreto.

Sinais com simetria ímpar: o sinal ímpar é antissimétrico em relação à origem. Pode-se representar a relação da seguinte forma:

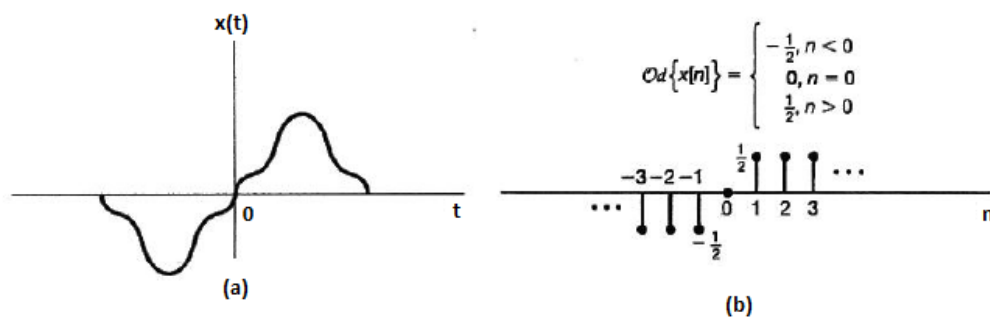
$$-x(t) = x(-t) \quad (4)$$

Enquanto que para tempo discreto temos a equação:

$$-x[n] = x[-n] \quad (5)$$

Este sinal é ilustrado na figura a seguir, onde (a) apresenta um sinal ímpar contínuo e (b) apresenta um sinal ímpar discreto.

Figura 9 – Sinal com simetria ímpar



Fonte: Oppenheim, 2010.

2.4 Energia do sinal

Para calcular a energia do sinal, devemos fazer a soma de toda a área sob a curva do sinal.

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < \infty \quad (6)$$

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2 < \infty \quad (7)$$

A equação 6 é usada para sinais contínuos e a equação 7 é usada para sinais discretos. A função está ao quadrado, $|x(t)|^2$, pois caso fosse usada a própria curva, partes negativas e positivas poderiam se anular.



2.5 Potência do sinal

Segundo Lathi (2007), a potência média do sinal deve ser finita para que tenha significado em relação ao tamanho do sinal.

A condição necessária para que a energia seja finita é que a amplitude do sinal tenda a zero quando t tende ao infinito. Logo a potência do sinal pode ser calculada por:

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2T} \right) \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt < \infty \quad (8)$$

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2N+1} \right) \sum_{n=-N}^N |x[n]|^2 < \infty \quad (9)$$

A equação (8) é usada para o cálculo de um sinal contínuo, enquanto que a equação (9) é usada para um sinal discreto.

TEMA 2 – SINAIS BÁSICOS

Neste tema serão apresentados diversos sinais elementares, que são muito importantes para a análise dos sinais e sistemas. Estes elementos serão usados nas próximas aulas para a construção de outros sinais.

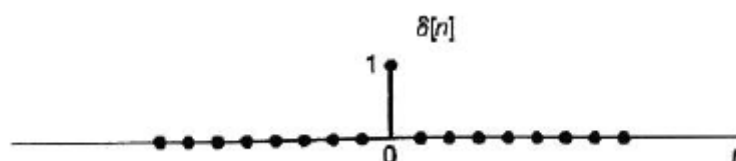
2.1 Impulso unitário discreto (Delta de Kronecker)

O sinal de tempo discreto mais simples é o impulso unitário, e sua representação é definida como:

$$\delta[n] = \begin{cases} 0, & n \neq 0 \\ 1, & n = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Este sinal é um pulso de amplitude 1 no ponto zero, e zero nos outros pontos. A figura a seguir ilustra o pulso unitário.

Figura 10 – Impulso unitário



Fonte: Oppenheim, 2010.

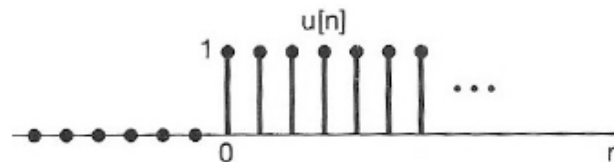
2.3 Degrau Unitário Discreto

Outro sinal elementar muito conhecido é o degrau unitário, que é definido pelo símbolo $u[n]$ apresentando matematicamente a seguir:

$$u[n] = \begin{cases} 0, & n < 0 \\ 1, & n \geq 0 \end{cases} \quad (11)$$

Diferentemente do pulso unitário, o degrau possui o valor 1 a partir do valor zero da variável independente. Sua representação gráfica é mostrada pela figura a seguir:

Figura 11 – Degrau Unitário Discreto



Fonte: Oppenheim, 2010.

Há uma relação simples entre o impulso unitário discreto e o degrau unitário discreto. Podemos demonstrar por:

$$\delta[n] = u[n] - u[n - 1] \quad (12)$$

Entretanto outra relação que podemos pensar é que um degrau unitário discreto é o somatório de impulsos unitários discretos, como apresentado a seguir:

$$u[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta[n - k] \quad (13)$$

Sendo que k quando diferente de zero apresenta o deslocamento dos impulsos unitários em relação à origem.

2.4 Degrau Unitário Contínuo

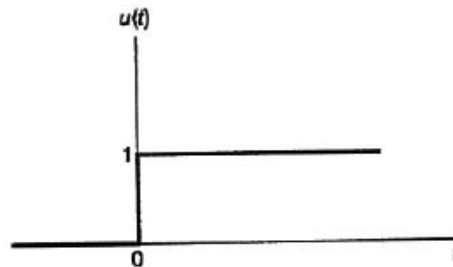
O degrau unitário contínuo é definido de forma semelhante ao degrau unitário discreto, com a seguinte equação:

$$u(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \quad (14)$$



A figura 12 mostra de forma gráfica o degrau unitário contínuo. Perceba que em $t=0$ há uma descontinuidade.

Figura 12 – Degrau unitário contínuo



Fonte: Oppenheim, 2010.

2.5 Impulso Unitário Contínuo

O impulso unitário é representado seguindo a mesma ideia do discreto. Para qualquer valor diferente de $t=0$, o valor de amplitude do impulso é zero. Em zero o valor do impulso é 1. Baseado nestas afirmações, podemos deduzir a equação:

$$\delta(t) = 0, t \neq 0 \quad (15)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (16)$$

2.6 Propriedades do impulso

O impulso unitário extingue todas as componentes do sinal que não estejam na mesma posição que o impulso.

$$x(t)\delta(t) = x(0)\delta(t) \quad (17)$$

$$x[n]\delta[n] = x[0] \quad (18)$$

Este fenômeno ocorre tanto em tempo contínuo como em tempo discreto.

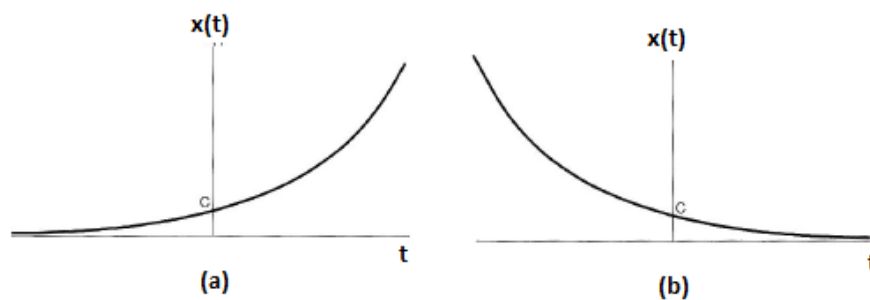
2.7 Sinais exponenciais reais

Sinais exponenciais reais são sinais muito úteis, por gerarem um sinal em caráter exponencial, ou seja, é uma curva que tende a um valor, como mostrado na figura a seguir:



$$x(t) = Ce^{\alpha t} \quad (19)$$

Figura 13 – Exponenciais reais



Fonte: Zibetti, 2012.

Na figura 13, pode-se ver que para um valor de $\alpha > 0$, em (a), temos uma tendência crescente da curva, enquanto que no caso (b) o valor de $\alpha < 0$, logo temos uma curva que tende a zero.

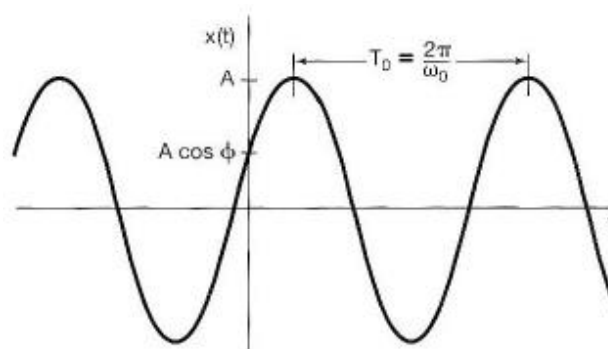
2.8 Sinais senoidais

Estes sinais são baseados na operação do seno. São curvas que oscilam entre os valores máximos e mínimos de amplitude A , valores entre A e $-A$. A equação representa esta curva é:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (20)$$

Estes sinais são periódicos, e a figura a seguir ilustra esta curva:

Figura 14 – Sinal senoidal



Fonte: Zibetti, 2012.



2.9 Sinais Exponenciais Complexas

Para analisarmos este tipo de sinal, podemos expressá-lo em termos de dois casos: exponencial real e exponencial periódica complexa. De maneira geral, uma exponencial complexa pode ser expressa por:

$$C = |C|e^{at} \quad (21)$$

Sendo C um número complexo, pode ser expresso na forma polar:

$$C = |C|e^{j\theta} \quad (22)$$

O termo a também é um número complexo e pode ser expresso na forma retangular:

$$a = r + j\omega \quad (23)$$

Além disto, há a relação de Euler, que relaciona a exponencial complexa com seno e cosseno.

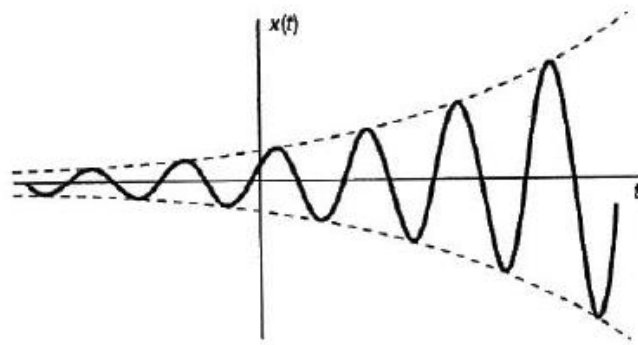
$$e^{jb} = \cos(b) + j\sin(b) \quad (24)$$

Substituindo as equações 22 e 23 na equação 21 e ainda depois aplicando a equação 24. Temos como resultado:

$$Ce^{at} = |C|e^{rt}\cos(\omega t + \theta) + j|C|e^{rt}\sin(\omega t + \theta) \quad (25)$$

Analisando a equação 25, podemos tirar algumas conclusões. Para $r=0$, teremos partes reais e imaginárias como sendo senoidais. Caso $r>0$, serão senoidais multiplicadas por uma exponencial crescente, como apresentado na figura 15.

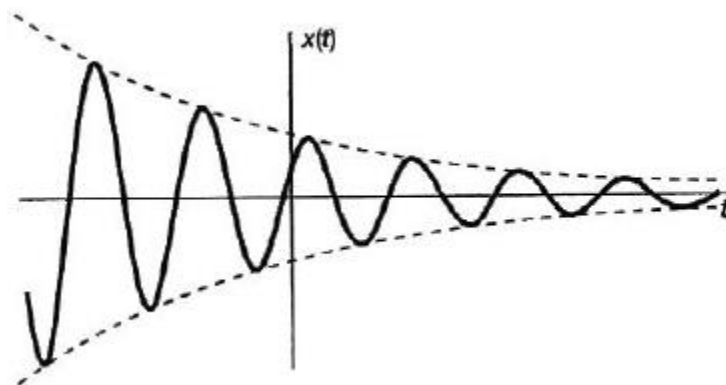
Figura 15 – Sinal senoidal crescente



Fonte: Oppenheim, 2010.

Caso o valor de $r < 0$, teremos uma situação oposta à anterior, senoide multiplicada por uma exponencial decrescente. Estas senoidais são chamadas também de sinais senoidais amortecidos. Isto é ilustrado na figura a seguir:

Figura 16 – Sinal senoidal decrescente



Fonte: Oppenheim, 2010.

TEMA 3 – OPERAÇÕES COM SINAIS

Neste tema iremos abordar as operações mais utilizadas com sinais. As operações que iremos abordar são:

- multiplicação por escalar;
- deslocamento temporal;
- escalamento temporal;
- reversão temporal;
- combinação de operações.



3.1 Multiplicação por escalar

Dado um sinal $x(t)$, quando multiplicado por um escalar, este tem sua amplitude multiplicada no fator do escalar C .

$$y(t) = Cx(t) \quad (26)$$

3.2 Deslocamento temporal

Há dois tipos de deslocamentos temporais: o avanço e o atraso. Vamos considerar um sinal $x(t)$. Primeiro vamos pensar em um sinal com atraso em relação a $x(t)$ de T segundos. Chamaremos este sinal de $\varphi(t)$. Com isto podemos deduzir:

$$\varphi(t + T) = x(t) \quad (27)$$

Pela equação 27, podemos dizer que tudo que acontece com $x(t)$ acontecerá com $\varphi(t)$ depois de T segundos. Concluimos que $\varphi(t)$ está atrasado em relação a $x(t)$.

$$\varphi(t) = x(t - T), \text{ para } T > 0 \quad (28)$$

Graficamente este deslocamento temporal pode ser visto como o sinal deslocado à direita em relação a $x(t)$.

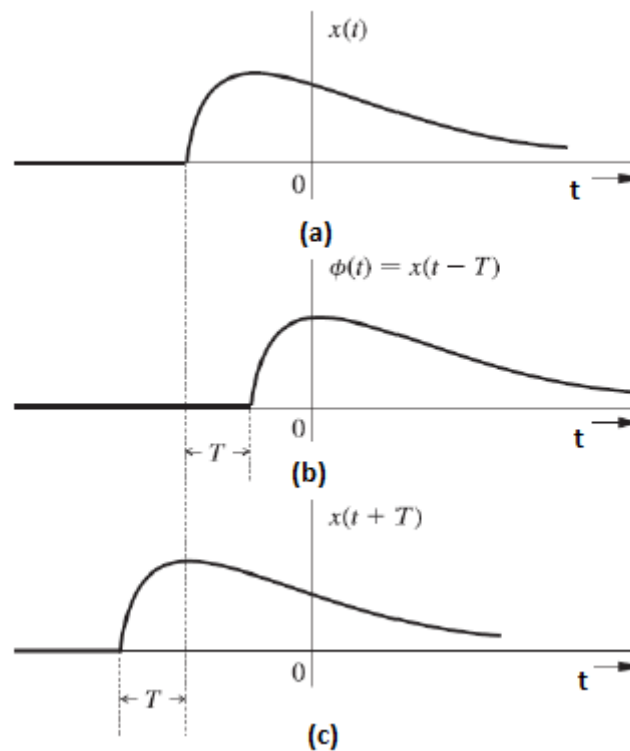
Da mesma forma como pensamos no atraso, podemos pensar no avanço como sendo um atraso negativo.

$$\varphi(t) = x(t + T), \text{ para } T > 0 \quad (29)$$

Pela equação 29, podemos concluir que um avanço indica um deslocamento para a esquerda de $x(t)$. A figura 17 ilustra esta operação.



Figura 17 – Operação de deslocamento temporal



Fonte: Lathi, 2007.

3.3 Escalamento temporal

Consiste em fazer a compressão ou expansão de um sinal no tempo. Uma compressão em um sinal é uma redução do tempo que este sinal ocupa. Para isto, usaremos um fator ' a ' para a compressão.

$$\varphi(t) = x(at), a > 1 \quad (30)$$

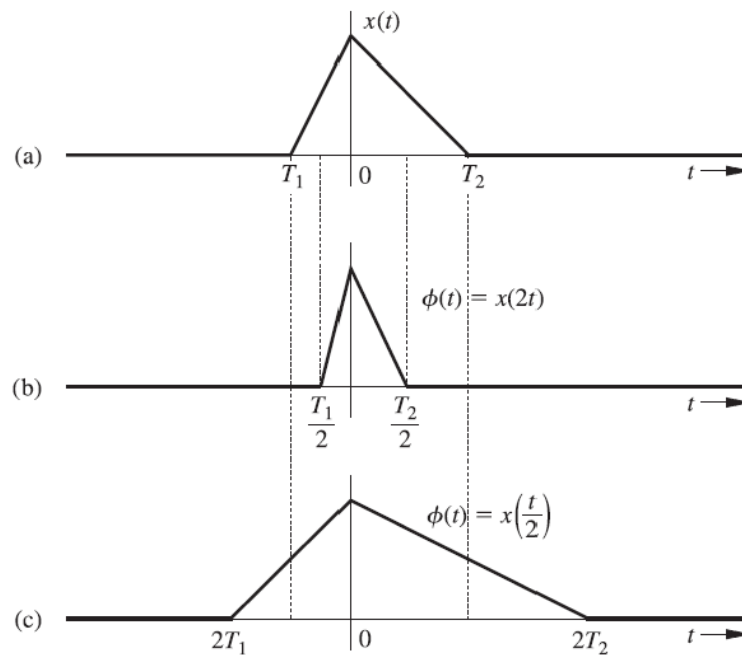
De mesma forma, no sinal expandido temos:

$$\varphi(t) = x\left(\frac{t}{a}\right), a > 1 \quad (31)$$

A figura a seguir ilustra esta operação.



Figura 18 – Escalamento temporal, (b) Compressão, (c) Expansão



Fonte: Lathi, 2007.

3.4 Reversão temporal

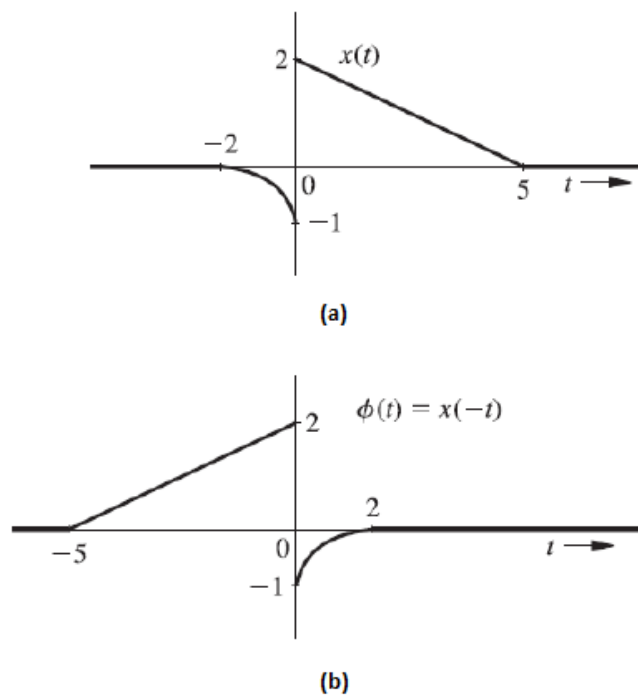
Consiste em uma rotação de 180° em torno da origem. Podemos representá-la matematicamente pela equação:

$$\varphi(t) = x(-t) \quad (32)$$

A figura a seguir ilustra a operação. Em (a) temos o sinal original, em (b) ocorre a operação de reversão em relação ao eixo das ordenadas.



Figura 19 – Operação de reversão temporal



Fonte: Lathi, 2007.

TEMA 4 – SISTEMAS

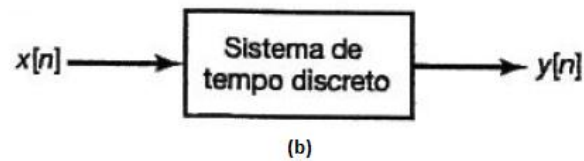
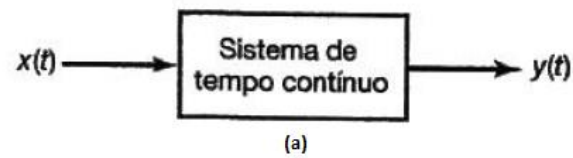
Segundo Oppenheim (2010), são interconexões de componentes, dispositivos ou subsistemas. Os sistemas podem ser vistos como um processo, no qual os sinais de entrada são transformados pelo sistema ou fazem o sistema responder de alguma forma, que resulta em outro sinal de saída.

Exemplo: sistema de alta fidelidade toma um áudio gravado e reproduz aquele sinal. Se este sistema tiver algum controle, como o do tom, pode-se mudar a qualidade do sinal de saída.

Sistemas de tempo contínuo são aqueles que possuem em sua entrada sinais de tempo contínuo e resultam em sinais de saída de tempo contínuo. De forma similar, temos os sistemas de tempo discreto. A figura 20 ilustra estes dois tipos de sistemas.



Figura 20 – Sistemas, (a) de tempo contínuo, (b) de tempo discreto



Fonte: Oppenheim, 2010.

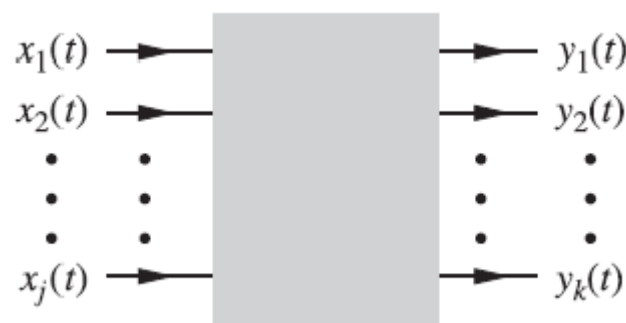
Podemos representar a relação entrada/ saída dos sistemas apresentados na figura 20 por:

$$x(t) \rightarrow y(t) \quad (33)$$

$$x[n] \rightarrow y[n] \quad (34)$$

Generalizando este conceito, podemos dizer que o sistema é como se fosse uma caixa preta, com entradas $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$ e saídas $y_1(t)$, $y_2(t)$, ..., $y_n(t)$, como mostrado na figura a seguir:

Figura 21 – Generalização de um sistema



4.1 Interconexão de Sistemas

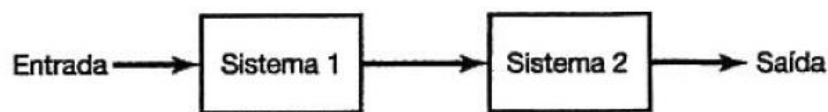
Os sistemas reais são constituídos de diversos subsistemas. Como por exemplo temos um sistema de áudio que possui a interconexão de um receptor



de áudio, um CD player, um amplificador e algumas caixas acústicas (Oppenheim, 2010).

Alguns tipos básicos de interconexões são facilmente encontrados em sistemas. A primeira delas é a interconexão em série ou cascata; neste caso, a saída do sistema 1 é a entrada do sistema 2. A resposta deste sistema é o resultado do processamento da entrada pelo sistema 1 em seguida processado pelo sistema 2. A figura a seguir ilustra o diagrama em blocos desta interconexão.

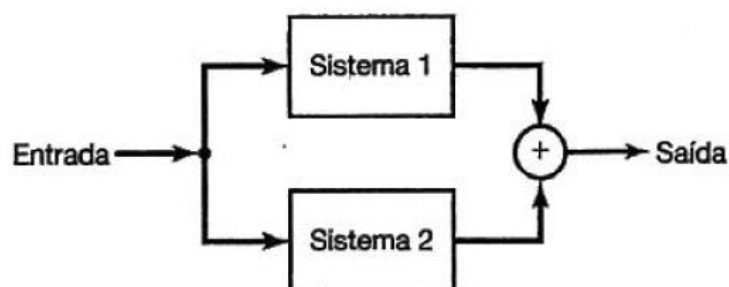
Figura 22 – Interconexão em série ou cascata



Fonte: Oppenheim, 2010.

Outra interconexão muito comum de ser encontrada é em paralelo de dois sistemas. Neste caso, o sinal de entrada é aplicado nos dois sistemas 1 e 2. Na saída dos dois sistemas, temos uma conexão com o símbolo '+', indicando que os sinais irão se somar para produzir uma saída. A figura 23 ilustra esta interconexão.

Figura 23 – Interconexão em paralelo



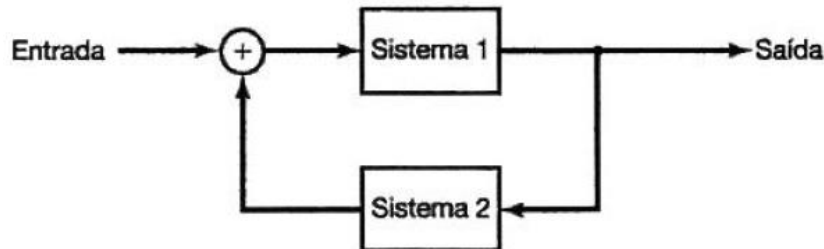
Fonte: Oppenheim, 2010.

Além destas duas anteriores, há uma interconexão muito usada em sistemas de controle, sendo uma mistura entre as duas formas anteriores. É a chamada interconexão com realimentação; neste caso, a saída do sistema 1 é a entrada do sistema 2, da mesma forma que a saída do sistema 2 é realimentada e somada à entrada do sistema 1.



Este tipo de sistema é muito usado para sistemas que devem permanecer estáveis, porém pode ocorrer alguma mudança em suas características que devem ser tratadas. A figura 24 ilustra esta interconexão.

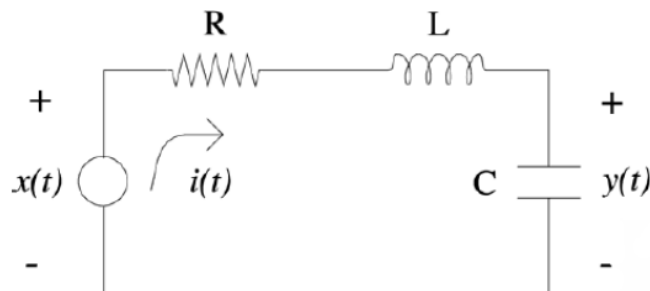
Figura 24 – Interconexão com realimentação



Fonte: Oppenheim, 2010.

Como exemplo de um sistema, podemos pensar em um circuito RLC, como mostrado na figura a seguir:

Figura 25 – Circuito RLC



Fonte: Zibetti, 2012.

Perceba que neste circuito todos os componentes estão em série, então podemos tratar cada um destes componentes como se fosse um sistema. Iniciaremos obtendo a equação de tensão de cada um destes componentes na malha.

Temos que usando a lei de Kirchhoff de tensão:

$$x(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + y(t) \quad (35)$$

A partir do modelo do capacitor, podemos calcular $i(t)$ da seguinte forma:

$$i(t) = C \frac{dy(t)}{dt} \quad (36)$$



Logo, relacionando 35 e 36, a equação do sistema é:

$$x(t) = LC \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + RC \frac{dy(t)}{dt} + y(t) \quad (37)$$

TEMA 5 – PROPRIEDADE DE SISTEMAS

Neste tema iremos abordar algumas das principais propriedades dos sistemas. Estas propriedades ajudam a classificar/ modelar o sistema de acordo com o tratamento matemático proposto pela propriedade.

5.1 Causalidade

Segundo Oppenheim (2010), um sistema é considerado causal se a saída depender apenas dos valores de entrada dos instantes presente e passado. Um sistema com estas características também é chamado de sistema "não antecipativo, pois a saída do sistema não antecipa valores futuros da entrada".

Devido a esta característica, acredita-se que todos os sistemas físicos temporais são causais, pois os eventos só ocorrem depois de uma causa (Zibetti, 2012).

A causalidade não se aplica a:

- Sinais que a variável independente seja outra diferente do tempo. Exemplo: espaço.
- Processamento de sinais em memória, para isto variáveis futuras estão disponíveis.

5.1.1 Exemplos

$$a) y(t) = x^2(t - 2)$$

É causal, pois $y(2)$ depende de $x(0)$.

$$b) y(t) = x(t + 2)$$

$y(2)$ depende de $x(4)$, ou seja, não causal

$$c) y[n] = x[-n]$$



Podemos pensar de duas formas, considerando o sinal de entrada $x[-2]$, temos um resultado de $y[2]$. Mas se pensarmos em $x[2]$ como entrada, teremos uma saída $y[-2]$. Logo, não é causal.

5.2 Invariância no tempo

Um sistema é considerado invariante no tempo se seu comportamento não mudar com o tempo.

Segundo Zibetti (2012), matematicamente um sistema $x[n] \rightarrow y[n]$ é invariante no tempo dado um sinal de entrada $x[n]$ qualquer e um deslocamento n_0 qualquer na entrada, devemos ter uma resposta $y[n-n_0]$.

Para sinais discretos:

$$\text{Se } x[n] \rightarrow y[n] \quad (38)$$

$$\text{Então } x[n - n_0] \rightarrow y[n - n_0] \quad (39)$$

Para sinais contínuos:

$$\text{Se } x(t) \rightarrow y(t) \quad (40)$$

$$\text{Então } x(t - t_0) \rightarrow y(t - t_0) \quad (41)$$

5.2.1 Exemplos

$$\text{a) } y(t) = x^2(t - 1)$$

Se substituirmos esta equação, seguindo a mesma ideia da equação 41, teremos: $y(t - t_0) = x^2((t - t_0) - 1)$, o que prova que é invariante no tempo.

$$\text{b) } y(t) = tx(t - 1)$$

Se substituirmos como a equação 41, teremos:

$$y((t - t_0)) = (t - t_0)x((t - t_0) - 1)$$

A multiplicação antes do x na parte direita da equação torna o sistema variante no tempo, baseado na curva de resultante de t .



5.3 Linearidade

Sistemas lineares de tempo contínuo e tempo discreto têm a propriedade da superposição: se o sinal de entrada de um sistema é a soma ponderada de diversos sinais, a saída também será a soma ponderada das respostas do sistema para cada sinal.

Então podemos deduzir que:

$$\text{Se } x_1(t) \rightarrow y_1(t) \text{ e } x_2(t) \rightarrow y_2(t) \quad (42)$$

Então:

$$x(t) = ax_1(t) + bx_2(t) \rightarrow y(t) = ay_1(t) + by_2(t) \quad (43)$$

Podemos então generalizar que a superposição de sinais pode ser expressa por:

$$\text{Se } x_k(t) \rightarrow y_k(t)$$

Então:

$$\sum_k a_k x_k(t) \rightarrow \sum_k a_k y_k(t) \quad (44)$$

Com base na equação 44, podemos concluir que uma entrada nula produzirá uma saída nula.

Logo,

$$0 = 0x(t) \rightarrow 0y(t) = 0 \quad (45)$$

FINALIZANDO

Neste tema compreendemos os princípios básicos de sinais e sistemas, foram vistas classificações de sinais baseada em suas características como sinais contínuos e discretos, analógicos e digitais, pares e ímpares.

Também entendemos os sinais básicos: pulso unitário, degrau unitário, exponenciais reais e complexas e senoides no âmbito contínuo e discreto. Além de compreender os sinais básicos, podemos fazer operações com eles, como por exemplo: multiplicação por escalar, deslocamento temporal, reversão temporal.



Depois de estudarmos os sinais, começamos a entender como funcionam os sistemas. Todo sistema com uma entrada produz uma saída, tanto em meio contínuo como discreto.

Vimos as interconexões entre sistemas: serial, paralela e realimentada. E para finalizar estudamos as propriedades dos sistemas: causalidade, invariância no tempo e linearidade. Estes conceitos serão muito úteis para nossos próximos estudos de sistemas lineares invariantes no tempo, por isso devemos fixar muito estes conteúdos.



REFERÊNCIAS

OPPENHEIM, A. V.; Willsky, A. S.; NAWAB, H. **Sinais e Sistemas**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

ZIBETTI, M. **Sinais e Sistemas**. Curitiba: UTFPR, 2012. Material de aula.