

ENE0067 – Sinais e Sistemas em Tempo Contínuo

Tamanho do Sinal e Operações Úteis com Sinais

Prof. Eduardo Stockler Tognetti

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Brasília – UnB



- 1 Introdução
- 2 Tamanho do Sinal
 - Energia do Sinal
 - Potência do Sinal
- 3 Operações Úteis com Sinais
 - Deslocamento Temporal
 - Escalamento Temporal
 - Reversão Temporal
 - Operações Combinadas
- 4 Exercícios e Aplicações
- 5 Resumo e Conclusões

Objetivos da Aula

- Compreender o conceito de **tamanho de um sinal**
- Definir **energia** e **potência** de sinais
- Estudar as principais **operações com sinais**:
 - Deslocamento temporal
 - Escalamento temporal
 - Reversão temporal
 - Operações combinadas
- Desenvolver habilidades para manipular sinais matematicamente
- Aplicar os conceitos através de exemplos práticos

O que são Sinais?

- Um **sinal** é um conjunto de dados ou informação
- Exemplos práticos:
 - Sinal de telefone ou televisão
 - Registro de vendas de uma corporação
 - Valores de fechamento da bolsa de valores (ex: IBOVESPA)
 - Densidade de carga elétrica em um corpo
- Sinais são funções de variáveis independente: tempo, espaço, frequência, etc.
- Neste curso: sinais são **funções do tempo** $x(t)$



Figura 1: Exemplos de sinais.

Conceito de Tamanho do Sinal

- **Problema:** Como medir o "tamanho" de um sinal?
- A amplitude varia com o tempo → precisamos de uma medida única
- A medida deve considerar:
 - Amplitude do sinal
 - Duração do sinal
- Para sinais: área sob a curva não funciona (cancelamento de áreas positivas e negativas)

Energia do Sinal

- **Definição:** A energia de um sinal $x(t)$ é:

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (1)$$

- Para sinais reais¹: $E_x = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt$
- **Unidades:** $[Energia] = [Amplitude]^2 \times [Tempo]$
- **Interpretação física**²: energia dissipada em um resistor de 1Ω
- $\sqrt{E_x}$ também é conhecido como a norma $\mathcal{L}_2$ de um sinal

Sinais de energia

Sinais com energia finita ($0 < E_x < \infty$) são chamados de **sinais de energia**.

- Condição necessária: $\lim_{t \rightarrow \infty} |x(t)| = 0$.

¹Embora não exista fisicamente, um sinal pode ser complexo permitindo uma análise simplificada de sinais e sistemas. Estudaremos nesse curso apenas sinais escalares e não vetoriais.

²A energia do sinal, tal como definida pelas Eq. (1) não indica a energia real (no sentido convencional) do sinal, pois a energia do sinal depende não somente do sinal, mas também da carga. Logo, não podemos tratar de conserv. de energia neste caso.

Exemplo: Energia de um Pulso Exponencial

Considere o sinal $x(t) = e^{-at}u(t)$ onde $a > 0$ e $u(t)$ é a função degrau unitário.

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |e^{-at}u(t)|^2 dt \quad (2)$$

$$= \int_0^{\infty} e^{-2at} dt \quad (3)$$

$$= \left[-\frac{1}{2a} e^{-2at} \right]_0^{\infty} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2a} \quad (5)$$

Resultado: $E_x = \frac{1}{2a}$ (energia finita para $a > 0$)

Exemplo MATLAB: Cálculo de Energia

```
% Exemplo: Pulso exponencial
t = linspace(0, 5, 1000);
a = 2;
x = exp(-a*t);

% Calculo numerico da energia
dt = t(2) - t(1);
energia_numerica = sum(x.^2) * dt;
energia_teorica = 1/(2*a);

fprintf('Energia numerica: %.4f\n', energia_numerica);
fprintf('Energia teorica: %.4f\n', energia_teorica);

% Plotagem do sinal
figure;
plot(t, x, 'LineWidth', 2);
xlabel('Tempo (s)');
ylabel('Amplitude');
title('Sinal Exponencial Decrescente');
grid on;
```

Listing 1: Script para calcular energia de um sinal

- Se $E_x = \infty$ a medida mais significativa do tamanho de um sinal é a média da energia no tempo
- **Definição:** A potência média de um sinal $x(t)$ é:

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt \quad \text{ou} \quad \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt \quad (6)$$

- **Valor RMS (Root Mean Square):**

$$X_{rms} = \sqrt{P_x} \quad (7)$$

- **Unidades:** $[\text{Potência}] = [\text{Amplitude}]^2$
- **Interpretação física:** potência média dissipada em um resistor de 1Ω

Exemplo: Potência de uma Senóide

Considere o sinal $x(t) = A \cos(\omega_0 t + \theta)$.

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} A^2 \cos^2(\omega_0 t + \theta) dt \quad (8)$$

Usando a identidade $\cos^2(\alpha) = \frac{1 + \cos(2\alpha)}{2}$:

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{A^2}{2T} \int_{-T/2}^{T/2} [1 + \cos(2\omega_0 t + 2\theta)] dt \quad (9)$$

$$= \frac{A^2}{2} \quad (10)$$

• Obs.: $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{A^2}{2T} \underbrace{\int_{-T/2}^{T/2} \cos(2\omega_0 t + 2\theta) dt}_{\text{valor finito mesmo se } T \rightarrow \infty} = 0$

Resultado: $P_x = \frac{A^2}{2}$ e $X_{rms} = \frac{A}{\sqrt{2}}$

Sinais de energia e de potência

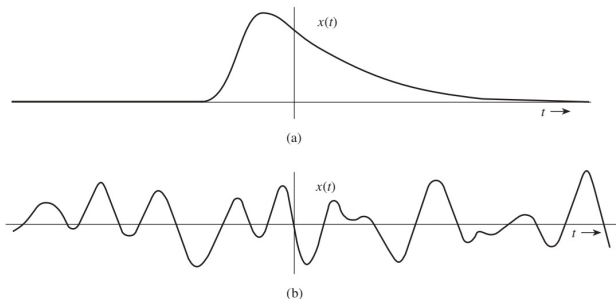


Figura 2: Exemplos de sinais: (a) um sinal com energia finita e (b) um sinal com potência finita.

Classificação:

- **Sinal de energia:** $0 < E_x < \infty$ e $P_x = 0$.
- **Sinal de potência:** $0 < P_x < \infty$ e $E_x = \infty$.

$$E_x = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt \qquad P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |x(t)|^2 dt \qquad (11)$$

- Se a amplitude do sinal **zerar** com $|t| \rightarrow \infty$, então a **energia é finita**
 - Neste caso, a **potência é nula**
- Se a amplitude do sinal **não zerar** com $|t| \rightarrow \infty$, então a **energia é infinita**
 - Neste caso, a potência é não nula
- Alguns sinais têm energia e potência infinita
 - Ex: $x(t) = t$
- Se $x(t)$ é periódico, a energia é infinita e a potência será o valor médio de $|x(t)|^2$ para um período T_0 :

$$P_x = \frac{1}{T_0} \int_{T_0} |x(t)|^2 dt \quad (\text{potência de um sinal periódico}) \qquad (12)$$

integral ao longo de um período qualquer: $\int_T^{T+T_0}$ para um T qq escolhido

Energia e potência de um Sinal

- Em geral, a média de um sinal em um intervalo de tempo $T \rightarrow \infty$ existe se o sinal for periódico ou possuir uma regularidade estatística. Se isto não for satisfeito, a média pode não existir.
- Ex: sinal rampa $x(t) = t \Rightarrow$ Aumenta indefinidamente à medida que $t \rightarrow \infty$. Para este sinal não existem as medidas de energia ou de potência.
- E o sinal degrau unitário $x(t) = u(t)$? Apesar de não ser nem periódico nem ter uma regularidade estatística, este sinal tem potência finita.

$$P_{media} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = 1$$

- Quando $x(t)$ é periódico, $|x(t)|^2$ também é periódico. Assim, a potência de $x(t)$ pode ser calculada determinando-se a média de $|x(t)|^2$ em um período.
- Escala de amplitude: $y(t) = \alpha x(t)$:

$$E_y = |\alpha|^2 E_x, \quad P_y = |\alpha|^2 P_x.$$

Exemplos de Energia/Potência

Exemplo 1 (energia finita):

$$x(t) = Ae^{-a|t|}, \quad a > 0.$$

$$E_x = 2 \int_0^{\infty} A^2 e^{-2at} dt = \frac{A^2}{a}$$

$$P_x = 0.$$

Exemplo 2 (potência finita):

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t).$$

$$P_x = \frac{A^2}{2},$$

$$E_x = \infty.$$

Exemplo de Cálculo de Potência

Exponencial Complexa

- Determine a potência de $x(t) = De^{j\omega_0 t}$.

Cálculo da Potência

$$\begin{aligned}P_x &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |De^{j\omega_0 t}|^2 dt \\&= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |D|^2 |e^{j\omega_0 t}|^2 dt \\&= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |D|^2 (1)^2 dt \quad (|e^{j\omega_0 t}| = 1) \\&= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} |D|^2 [t]_{-T/2}^{T/2} \\&= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} (|D|^2 T) = |D|^2\end{aligned}$$

O valor RMS é $|D|$.

Exercício

Determine as medidas adequadas dos sinais da Figura 3.

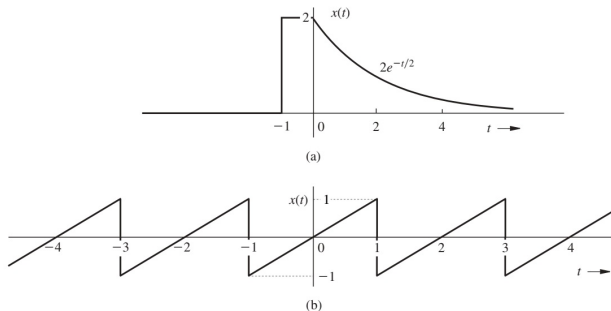


Figura 3: Sinais.

Exercício (resolução)

Sinal de Energia (Fig. 3a):

- Na Fig. 3a, a amplitude do sinal $\rightarrow 0$ quando $t \rightarrow \infty$. Portanto, a medida adequada para esse sinal é sua energia E_x , dada por:

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt = \int_{-1}^0 (2)^2 dt + \int_0^{\infty} 4e^{-t} dt = 4 + 4 = 8 \quad (13)$$

Sinal de Potência (Fig. 3b):

- Na Fig. 3b, o sinal é periódico e, portanto, sua potência existe. Podemos simplificar o procedimento para sinais periódicos observando que um sinal periódico se repete regularmente a cada período (2 segundos neste caso). Portanto, fazendo a média de $x^2(t)$ em um intervalo infinitamente grande é idêntico a calcular a média em um período (2 segundos neste caso). Portanto,

$$P_x = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 x^2(t) dt = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 t^2 dt = \frac{1}{3} \quad (14)$$

- Valor RMS: $1/\sqrt{3}$.

Exercício para casa

- Mostre que as energias dos sinais da Fig. 3a, 3b, 3c e 3d são 4, 1, $4/3$ e $4/3$, respectivamente
- Mostre que o dobro do sinal quadruplica sua energia e o deslocamento no tempo de um sinal não possui efeito em sua energia.
- Mostre que a potência do sinal da Fig. 3e é 0,4323. Qual é o valor RMS do sinal da Fig. 3e?

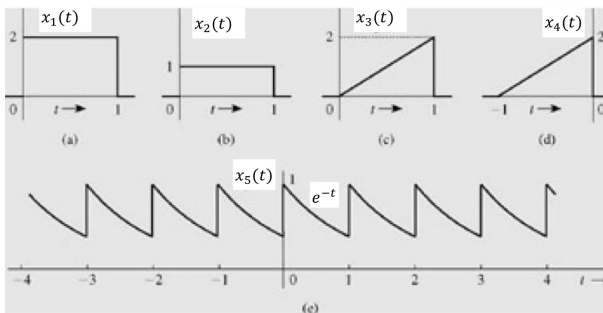


Figura 4:

Três operações fundamentais para manipulação de sinais:

1 Deslocamento Temporal

- $x(t) \rightarrow x(t - T)$ (atraso de T segundos)
- $x(t) \rightarrow x(t + T)$ (avanço de T segundos)

2 Escalamento Temporal

- $x(t) \rightarrow x(at)$ onde $a > 0$
- $a > 1$: compressão temporal
- $0 < a < 1$: expansão temporal

3 Reversão Temporal

- $x(t) \rightarrow x(-t)$ (reflexão em relação ao eixo vertical)

Deslocamento Temporal

- **Definição:** Desloca o sinal no eixo do tempo
- **Regra matemática:** $x(t) \rightarrow x(t - T)$
- Se $T > 0$: atraso (deslocamento à direita)
- Se $T < 0$: avanço (deslocamento à esquerda)

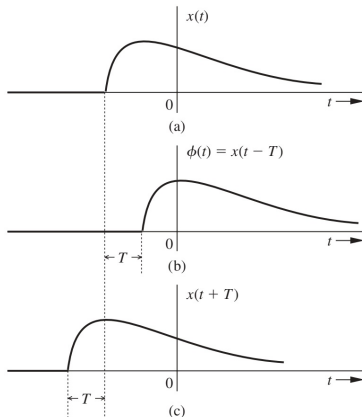


Figura 5: Deslocamento temporal de um sinal. Fonte: Lathi, 2000.

Exemplo: Deslocamento de Função Exponencial

Considere $x(t) = e^{-2t}u(t)$. Vamos obter:

- $x_d(t)$: $x(t)$ atrasado em 1 segundo
- $x_a(t)$: $x(t)$ avançado em 1 segundo

Solução:

$$x_d(t) = x(t - 1) = e^{-2(t-1)}u(t - 1) = e^2 e^{-2t}u(t - 1) \quad (15)$$

$$x_a(t) = x(t + 1) = e^{-2(t+1)}u(t + 1) = e^{-2} e^{-2t}u(t + 1) \quad (16)$$

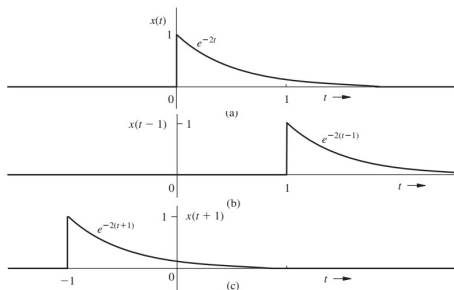


Figura 6: (a) Sinal $x(t)$. (b) Sinal $x(t)$ atrasado em 1 segundo. (c) Sinal $x(t)$ adiantado em 1 segundo. Fonte: Lathi, 2000.

Escalamento Temporal

- **Definição:** Comprime ou expande o sinal no tempo
- **Regra matemática:** $x(t) \rightarrow x(at)$ onde $a > 0$

Casos do escalamento

- Se $a > 1$: **compressão** por fator a
 - O sinal fica mais "rápido"
 - Duração diminui por fator a
- Se $0 < a < 1$: **expansão** por fator $1/a$
 - O sinal fica mais "lento"
 - Duração aumenta por fator $1/a$

Energia:

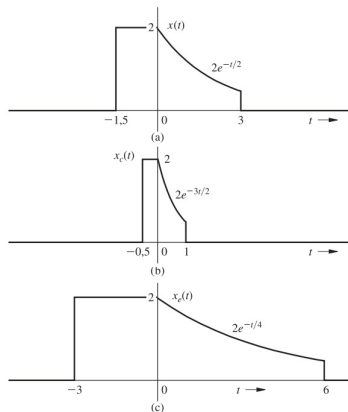
$$E_y = \int_{-\infty}^{\infty} |x(at)|^2 dt = \frac{1}{|a|} \int_{-\infty}^{\infty} |x(\tau)|^2 d\tau = \frac{E_x}{|a|}.$$

Potência: $P_y = P_x$ (para sinais de potência).

Exemplo: Escalamento Temporal

Considere o sinal $x(t)$ da figura abaixo. Obtenha:

- $x_c(t) = x(3t)$ (compressão por fator 3)
- $x_e(t) = x(t/2)$ (expansão por fator 2)



$$x(t) = \begin{cases} 2 & -1,5 \leq t < 0 \\ 2e^{-t/2} & 0 \leq t < 3 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Observação: Os instantes $t = -1,5$ e 3 em $x(t)$ correspondem a $t = -0,5$ e 1 em $x(3t)$, e a $t = -3$ e 6 em $x(t/2)$.

Figura 7: (a) Sinal $x(t)$. (b) Sinal $x(3t)$ e (c) sinal $x(t/2)$.

Escalamento em Senóides

Para uma senóide $x(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi)$:

- **Compressão** por fator n (onde $n > 1$):

$$x(nt) = A \cos(n\omega_0 t + \phi) \quad (17)$$

- Mesma amplitude e fase
- Frequência aumenta n vezes: $\omega_{novo} = n\omega_0$
- **Expansão** por fator n (onde $n > 1$):

$$x(t/n) = A \cos(\omega_0 t/n + \phi) \quad (18)$$

- Mesma amplitude e fase
- Frequência diminui por fator n : $\omega_{novo} = \omega_0/n$

Exercício: Efeitos em Energia/Potência

Mostre que, para $y(t) = \alpha x(a(t - t_0))$:

$$E_y = \frac{|\alpha|^2}{|a|} E_x, \quad P_y = |\alpha|^2 P_x \text{ (sinal de potência).}$$

Pista: mudança de variável na integral de energia; use periodicidade para potência (mudança de variável).

Reversão Temporal

- **Definição:** Reflexão do sinal em relação ao eixo vertical (tempo)
- **Regra matemática:** $x(t) \rightarrow x(-t)$
- **Interpretação geométrica:** rotação de 180 em relação ao eixo vertical

Propriedades da reversão

- O que acontece em $x(t)$ no instante t acontece em $x(-t)$ no instante $-t$
- Ponto fixo: $t = 0$ (pois $x(0) = x(-0) = x(0)$)
- $x(-t)$ é a versão "espelhada" de $x(t)$

Cuidado: Reversão em relação ao eixo **vertical** gera $x(-t)$; reversão em relação ao eixo **horizontal** gera $-x(t)$.

Exemplo: Reversão Temporal

Considere $x(t) = e^{t/2}$ para $t < 0$. Obtenha $x(-t)$.

Solução:

$$x(-t) = e^{(-t)/2} = e^{-t/2} \quad (19)$$

Analise o resultado na Fig. 8.

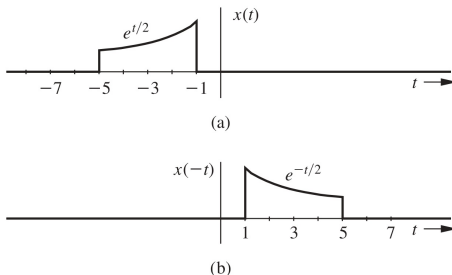


Figura 8: Exemplo de reversão temporal.

Os instantes $t = -1$ e $t = -5$ em $x(t)$ são mapeados nos instantes $t = 1$ e $t = 5$ em $x(-t)$.

Operações Combinadas

A operação mais geral é $x(at - b)$, que combina escalamento e deslocamento.

Duas sequências possíveis:

Sequência 1: Deslocamento $\rightarrow$ Escalamento

- 1 Desloque $x(t)$ por b : $x(t - b)$
- 2 Escalone por a : $x(at - b)$

Sequência 2: Escalamento $\rightarrow$ Deslocamento

- 1 Escalone $x(t)$ por a : $x(at)$
- 2 Desloque por b/a : $x[a(t - b/a)] = x(at - b)$

Observação: Se $a < 0$, o escalamento inclui reversão temporal.

Exemplo: $x(2t - 6)$

Duas maneiras de obter $x(2t - 6)$ a partir de $x(t)$:

Método 1: Deslocamento $\rightarrow$ Escalamento

- 1 Atrase $x(t)$ por 6: $x(t - 6)$
- 2 Comprima por fator 2: $x(2t - 6)$

Método 2: Escalamento $\rightarrow$ Deslocamento

- 1 Comprima $x(t)$ por fator 2: $x(2t)$
- 2 Atrase por 3: $x(2(t - 3)) = x(2t - 6)$

Interpretação: $x(2t - 6) = x[2(t - 3)]$

- Compressão por fator 2
- Atraso de 3 segundos

Script MATLAB: Operações com Sinais

```
% Definir sinal original
t = linspace(-2, 8, 1000);
x = (t >= 0 & t <= 2); % Pulso unitário

% Operacoes
x_atraso = [zeros(1,200), x(1:end-200)]; % Atraso
x_compressao = zeros(size(t));
idx = find(t >= 0 & t <= 1); % Compressao por 2
x_compressao(idx) = 1;
t_reversao = -t; % Reversao temporal

% Plotagem
figure;
subplot(2,2,1); plot(t, x); title('Sinal Original x(t)');
subplot(2,2,2); plot(t, x_atraso); title('x(t-1)');
subplot(2,2,3); plot(t, x_compressao); title('x(2t)');
subplot(2,2,4); plot(t_reversao, x); title('x(-t)');
for i = 1:4
    subplot(2,2,i);
    xlabel('t'); ylabel('Amplitude');
    grid on; axis([-2 8 -0.5 1.5]);
end
```

Exercício 1: Energia de Sinais

Calcule a energia dos seguintes sinais:

① $x_1(t) = 2e^{-3t}u(t)$

② $x_2(t) = 3\cos(2\pi t)[u(t) - u(t - 1)]$

③ $x_3(t) = ce^{j\omega t}$

④ $x_4(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$

Dica: Para $x_1(t)$, use $E_x = \int_0^\infty |x(t)|^2 dt$

Resposta parcial: Para $x_1(t)$: $E_{x_1} = \int_0^\infty 4e^{-6t} dt = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$

Exercício 2: Operações Temporais

Dado $x(t) = e^{-t}u(t)$, determine e esboce:

- 1 $y_1(t) = x(t - 2)$
- 2 $y_2(t) = x(3t)$
- 3 $y_3(t) = x(-t + 1)$
- 4 $y_4(t) = x(2t - 4)$

Para $y_4(t)$:

- Método 1: $x(t - 2) \rightarrow x(2t - 4)$
- Método 2: $x(2t) \rightarrow x(2(t - 2)) = x(2t - 4)$

Exercício 3: Potência de Sinais Compostos

Para os sinais

① $x(t) = 3 \cos(2\pi t) + 4 \sin(6\pi t) + 2$

② $x(t) = C_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) + C_2 \cos(\omega_2 t + \theta_2) \quad \omega_1 \neq \omega_2$

③ $x(t) = C_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) + C_2 \cos(\omega_2 t + \theta_2) \quad \omega_1 = \omega_2$

- Calcule a potência de cada componente
- Determine a potência total
- Calcule o valor RMS

Lembre-se: Para soma de senóides com frequências distintas:

$$P_{total} = P_{DC} + \sum_i P_{senoide_i}$$

onde $P_{DC} = |C_0|^2$ e $P_{senoide} = \frac{|A|^2}{2}$

● Identidade fundamental: $\cos(A) \cos(B) = \frac{1}{2} [\cos(A+B) + \cos(A-B)]$

Soma para Funções Cosseno

Identidade Fundamental

$$\cos(\omega_1 t + \theta_1) \cos(\omega_2 t + \theta_2) = \frac{1}{2} [\cos((\omega_1 + \omega_2)t + (\theta_1 + \theta_2)) + \cos((\omega_1 - \omega_2)t + (\theta_1 - \theta_2))]$$

Caso 1: $\omega_1 \neq \omega_2$

Resultado:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \cos((\omega_1 + \omega_2)t + (\theta_1 + \theta_2)) \\ & + \frac{1}{2} \cos((\omega_1 - \omega_2)t + (\theta_1 - \theta_2)) \end{aligned}$$

Componentes:

- Frequência soma: $\omega_1 + \omega_2$
- Frequência diferença: $|\omega_1 - \omega_2|$

Aplicações: Intermodulação, efeitos de mistura

Caso 2: $\omega_1 = \omega_2 = \omega$

Resultado:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \cos(2\omega t + (\theta_1 + \theta_2)) \\ & + \frac{1}{2} \cos(\theta_1 - \theta_2) \end{aligned}$$

Componentes:

- Segundo harmônico: 2ω
- Componente DC: $\frac{1}{2} \cos(\theta_1 - \theta_2)$

Aplicações: Geração de harmônicos, retificação

Exercício MATLAB: Análise Espectral

```
% Parametros
fs = 1000; % Frequencia de amostragem
t = 0:1/fs:2-1/fs; % 2 segundos

% Sinal composto
f1 = 10; f2 = 30; % Frequencias em Hz
x = 3*cos(2*pi*f1*t) + 4*sin(2*pi*f2*t) + 2;

% Calculo da potencia
P_teorica = 2^2 + (3^2)/2 + (4^2)/2;
P_numerica = mean(x.^2);

fprintf('Potencia teorica: %.2f\n', P_teorica);
fprintf('Potencia numerica: %.2f\n', P_numerica);

% FFT para visualizacao espectral
X = fft(x);
f = (0:length(X)-1)*fs/length(X);
figure;
plot(f(1:end/2), abs(X(1:end/2)));
xlabel('Frequencia (Hz)'); ylabel('Magnitude');
title('Espectro de Magnitude');
```

Tamanho do Sinal

- **Energia:** $E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt$
- **Potência:** $P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$
- **Valor RMS:** $X_{rms} = \sqrt{P_x}$

Operações com Sinais

- **Deslocamento:** $x(t) \rightarrow x(t \mp T)$
- **Escalamento:** $x(t) \rightarrow x(at)$
- **Reversão:** $x(t) \rightarrow x(-t)$
- **Combinadas:** $x(t) \rightarrow x(at - b)$

- **Telecomunicações:**

- Atraso de propagação em canais de comunicação
- Compressão temporal em sistemas de áudio

- **Processamento de Áudio:**

- Efeitos de eco (deslocamento temporal)
- Mudança de tom (escalamento temporal)

- **Sistemas de Controle:**

- Compensação de atrasos
- Análise de estabilidade

- **Processamento de Imagens:**

- Translação, rotação e redimensionamento

Aula 02: Classificação de Sinais

- Sinais contínuos vs discretos no tempo
- Sinais analógicos vs digitais
- Sinais periódicos vs não periódicos
- Sinais de energia vs potência
- Sinais determinísticos vs aleatórios
- Modelos úteis de sinais (degrau, impulso, exponencial)

- **Principal:** LATHI, B. P. *Sinais e Sistemas Lineares*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
 - Capítulo 1, Seções 1.1 e 1.2 (páginas 75-86)
- **Complementar:** OPPENHEIM, A. V.; WILLSKY, A. S.; NAWAB, S. H. *Signals and Systems*. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.
 - Capítulo 1, Seções relacionadas

Lista de Exercícios 01:

- ❶ Problemas 1.1-1 a 1.1-4 (Lathi, páginas 127-128)
- ❷ Problemas 1.2-1 a 1.2-6 (Lathi, páginas 128-130)
- ❸ Implementar no MATLAB/Octave:
 - Função para calcular energia de sinais
 - Função para calcular potência de sinais
 - Exemplos das operações temporais estudadas

Entrega: Próxima aula (Aula 02)

Formato: Resolução analítica + códigos MATLAB comentados

Conceitos Importantes para Fixar

Pontos Chave

- Energia mede o "conteúdo total" do sinal
- Potência mede a "intensidade média" do sinal
- Deslocamento não altera a forma do sinal
- Escalamento altera a "velocidade" do sinal
- Reversão cria uma "imagem espelhada" do sinal
- Operações podem ser combinadas em sequências diferentes

Dicas de Estudo

- Pratique com exemplos gráficos
- Use MATLAB/Octave para visualizar os conceitos
- Conecte a teoria com aplicações práticas
- Resolva exercícios variados