COMUNICAÇÃO DE DADOS

Fundamentos da Comunicação Eletrônica

TÓPICOS

- Ganho, Atenuação e Decibéis;
- Filtros;
- Teoria de Fourier.

GANHO - ATENUAÇÃO - DECIBEIS

- A maioria dos circuitos em comunicação eletrônica é usada para manipular sinais para produzir um resultado desejado.

- Todos os circuitos aplicados na transmissão de sinal envolvem:

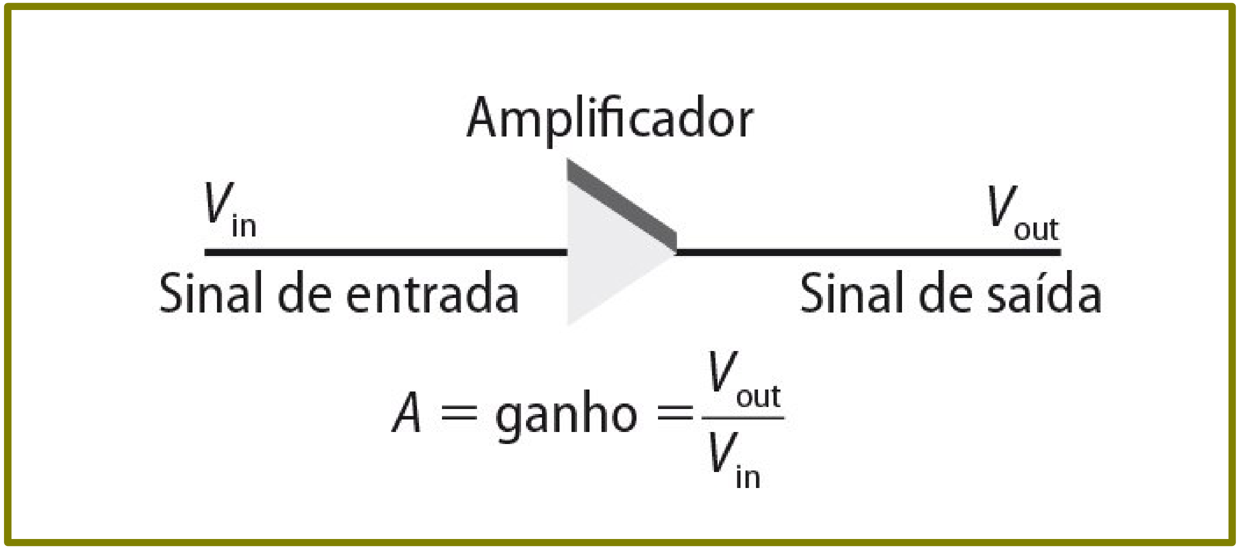
  – Ganho;
  – Atenuação.

GANHO

Ganho significa amplificação.

– É a razão entre a saída (*out*) de um circuito pela sua entrada (*in*). Pode ser ganho de tensão, corrente ou potência.

$$A_V = \frac{\text{saída}}{\text{entrada}} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$



GANHO

- A maioria dos amplificadores de sinal também são amplificadores de potência:
  - O mesmo procedimento pode ser usado para calcular o ganho de potência A_p onde P_{in} é a potência de entrada e P_{out} é a potência de saída.

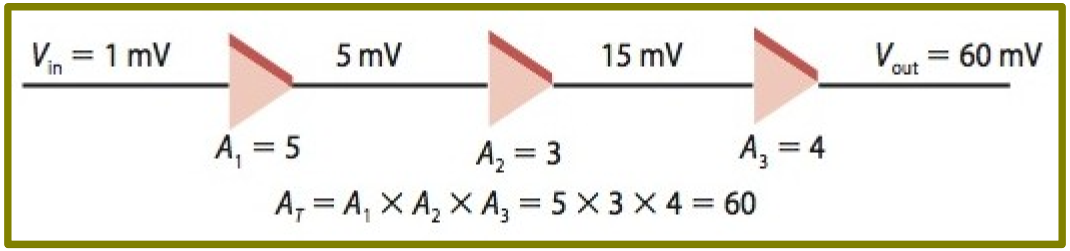
$$\text{Ganho de potência } (A_p) = P_{out}/P_{in}$$

- **Exemplo 1**:
  - A potência de saída de um amplificador é 6W. O ganho de potência é 80. Qual é a potência de entrada do equipamento?

$$A_p = P_{out}/P_{in} \text{ , portanto, } P_{in} = P_{out}/A_p$$
$$P_{in} = 6/80 = 0{,}075\text{W} = 75\text{mW}$$

GANHO

- Um amplificador está em **cascata** quando dois ou mais estágios estão conectados. O ganho total é o produto dos ganhos individuais dos circuitos.



- **Exemplo 2**:

  - Três amplificadores em cascata têm ganhos de 5, 2 e 17. A potência de entrada é 40mW. Qual é a potência de saída final?

$$A_p = A_1 \times A_2 \times A_3 = 5 \times 2 \times 17 = 170$$
$$A_p = P_{out}/P_{in} \text{ , portanto, } P_{out} = A_p \cdot P_{in}$$
$$P_{out} = 170 \cdot (40 \times 10^{-3}) = 6{,}8\text{W}$$

GANHO

- **Exercícios:**

1) Um amplificador de dois estágios tem uma potência de entrada de 25μW e uma potência de saída de 1,5mW. Um estágio tem ganho de 3. Qual é o ganho do segundo estágio?

ATENUAÇÃO

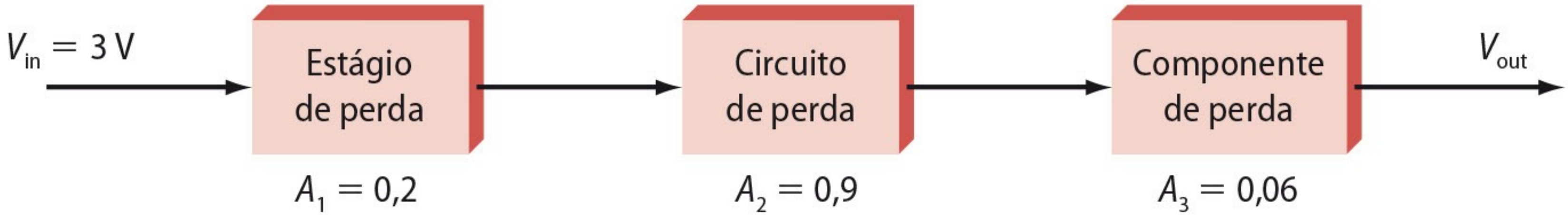
A **atenuação** se refere a uma perda introduzida por um circuito ou componente. Se o sinal de saída tem amplitude menor do que a de entrada, o circuito tem perda ou atenuação.

– A letra **A** é usada para representar a atenuação, A = saída/entrada = V_{out}/V_{in} ,

  - Circuitos que introduzem atenuação têm um ganho menor do que **1**.

– Nos circuitos em cascata, a atenuação total é o produto das atenuações individuais.

ATENUAÇÃO

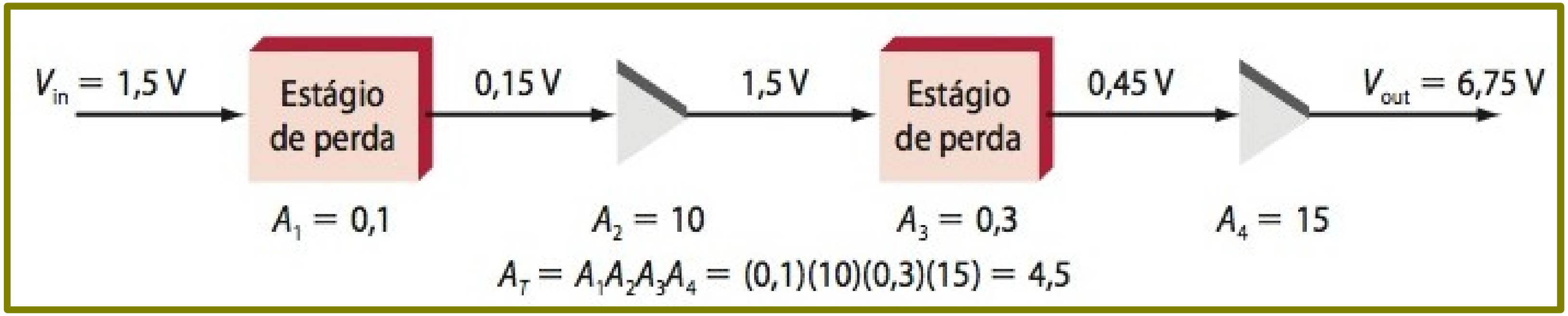


$$A_T = A_1 \times A_2 \times A_3 = 0{,}2 \times 0{,}9 \times 0{,}06 = 0{,}0108$$

$$V_{out} = A_T V_{in} = 0{,}0324 = 32{,}4\text{ mV}$$

A atenuação total é o produto das atenuações individuais de cada circuito em cascata.

GANHO + ATENUAÇÃO



O ganho total é o produto dos ganhos e atenuações dos estágios individuais.

DECIBEIS

O **decibel (dB)** é uma unidade de medida usada para expressar o ganho ou perda de um circuito.

- O decibel foi criado originalmente para expressar a resposta auditiva;
- Um decibel é um décimo de um bel.

– Quando ganho e atenuação são convertidos em decibéis, o ganho ou atenuação total de um circuito pode ser calculado adicionando-se ganhos ou atenuações individuais, expressos em decibeis.

DECIBEIS

Cálculos com decibeis

- **Ganho de Tensão ou Atenuação**:

$$dB = 20 \cdot \log\left(\frac{V_{out}}{V_{\text{¿}}}\right)$$

- **Ganho de Corrente ou Atenuação**:

$$dB = 20 \cdot \log\left(\frac{I_{out}}{I_{\text{¿}}}\right)$$

- **Ganho de Potência ou Atenuação**:

$$dB = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{\text{¿}}}\right)$$

DECIBEIS

Cálculos com Decibeis

- **Exemplo 3**:

  – Um amplificador tem uma entrada de 3mV e uma saída de 5V. Qual é o ganho em decibeis?

$$dB = 20 \cdot \log(5/0{,}003)$$
$$= 20 \cdot \log(1666{,}67)$$
$$= 20 \cdot (3{,}22)$$
$$= 64{,}4dB$$

DECIBEIS

Cálculos com Decibeis

- **Exemplo 4:**

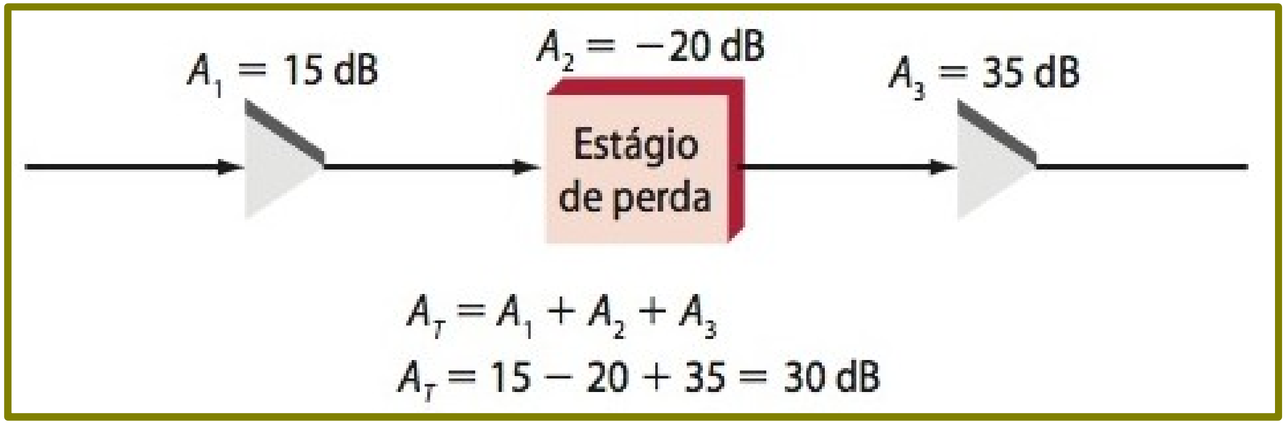
  - Um filtro tem uma potência de entrada de 50 mW e uma saída de 2 mW. Qual é o ganho ou atenuação?-

$$\begin{aligned} dB &= 10 \log (2/50) \\ &= 10 \log (0{,}04) \\ &= 10 (-1{,}398) \\ &= -13{,}98 \end{aligned}$$

  - Se o valor em dB é positivo, isso significa um ganho de amplificação. Senão, significa um ganho de atenuação.

DECIBEIS

Cálculos com Decibeis: Estágios em Cascata



DECIBEIS

Cálculos com Decibeis

Razão (potência ou tensão)	Potência	Tensão
0,000001	−60	−120
0,00001	−50	−100
0,0001	−40	−80
0,001	−30	−60
0,01	−20	−40
0,1	−10	−20
0,5	−3	−6
1	0	0
2	3	6
10	10	20
100	20	40
1.000	30	60
10.000	40	80
100.000	50	100

DECIBEIS

Cálculos com Decibeis: Antilogs

- O **antilog** é o número obtido quando a base do "log" é elevada ao resultado do logaritmo.

- **Antilogs** são usados para calcular tensões, correntes ou potências de entrada ou saída, dado o ganho ou atenuação em dB e a entrada ou saída.

- Para potência de um sinal, o **antilog** é a base 10 elevada a potência dB/10.

DECIBEIS

Cálculos com Decibeis: Antilogs

– **Exemplo 5**:

Um amplificador de potência com um ganho de 40dB tem uma potência de saída de 100 W. Qual é a potência de entrada?

DECIBEIS

- Quando um valor em decibeis é calculado comparando-se o valor de potência a 1 mW, o resultado é um valor chamado de **dBm**. Esse é um valor de referência útil.

- O valor **dBc** é um valor de ganho ou atenuação em decibéis no qual a referência é a portadora.

DECIBEIS

Exercícios:

- **2)** Um amplificador de sinal tem uma entrada de 90mV com resistência de 10 kΩ. A saída é de 7,8V com resistência de 8Ω. Qual é o ganho de potência em dB?

  3) Um amplificador tem um ganho de potência de 28dB. A potência do sinal de entrada é 36 mW. Qual é a potência do sinal de saída?

  4) Um circuito consiste de dois amplificadores com ganhos de 6,8 e 14,3dB e dois filtros com atenuações de -16,4 e -2,9dB. Se a tensão de saída esperada for de 800mV para o pulso UNIPOLAR NRZ referente ao nível lógico **1**, qual é a defasagem de tensão na chegada desse pulso?

  5) Calcule P_{out} (em Watts) para um dispositivo regenerador de ganho igual a 12,3dBm .

FILTROS

- **Filtro:** é um circuito seletivo em frequência. Permitem a passagem de certas frequências e rejeitam outras.

- **Filtros Passivos** são criados usando-se componentes como: resistores, capacitores e indutores, que não amplificam.

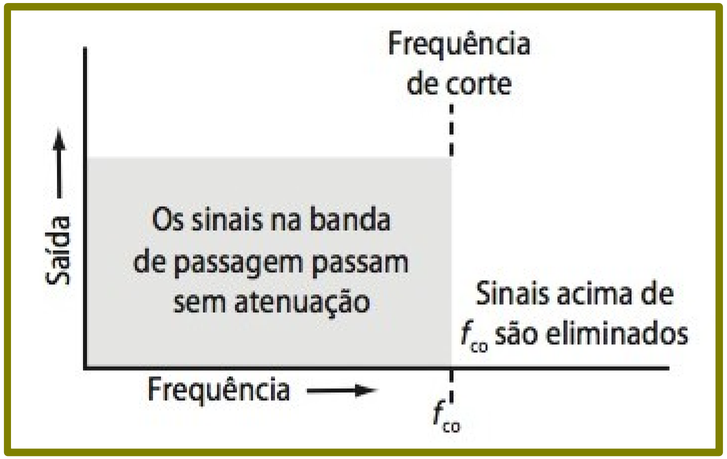
- **Filtros Ativos** usam dispositivos de amplificação como transistores e amplificadores operacionais.

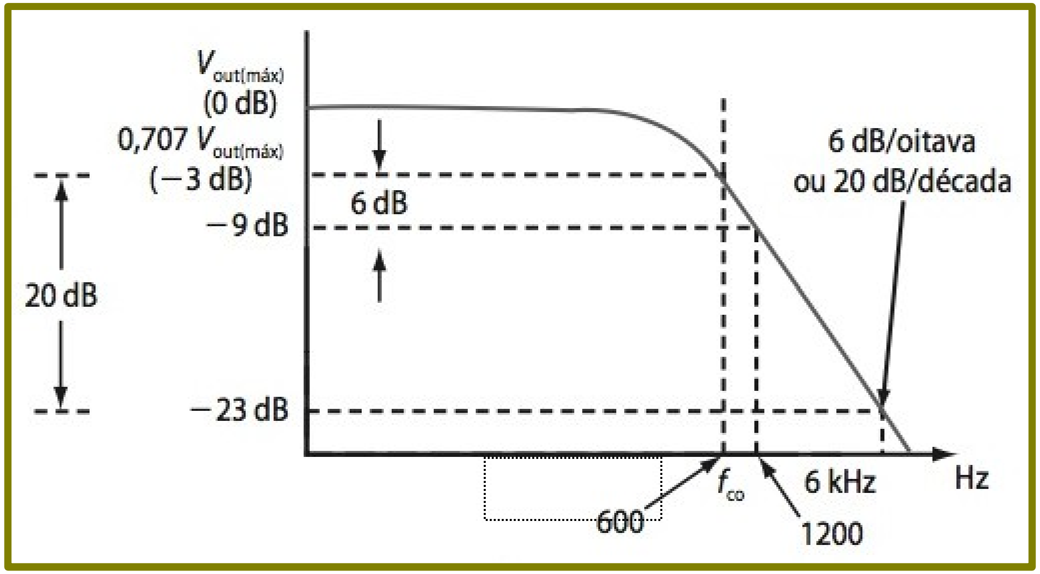
FILTROS

- Há 5 tipos básicos de filtros:
  - **Filtros Passa-Baixa:** permitem apenas a passagem de frequências abaixo de uma frequência crítica (frequência de corte).
  - **Filtros Passa-Alta:** permitem apenas a passagem de frequências acima da frequência de corte.
  - **Filtros Passa-Faixa:** permitem a passagem de frequências em uma estreita faixa entre as frequências de corte mais baixa e mais alta.
  - **Filtros Rejeita-Faixa:** rejeita ou para frequências em uma estreita faixa entre as frequências de corte mais baixa e mais alta.
  - **Filtros Passa-Todas:** permitem a passagem de todas as frequências numa faixa desejada, ampliada em relação à faixa estreita do “passa-faixa”. Mas possuem um deslocamento de fase previsível, sinal de saída em relação ao sinal de entrada.

FILTROS

Filtro Passa-BAIXA **IDEAL** *versus* **REAL**:

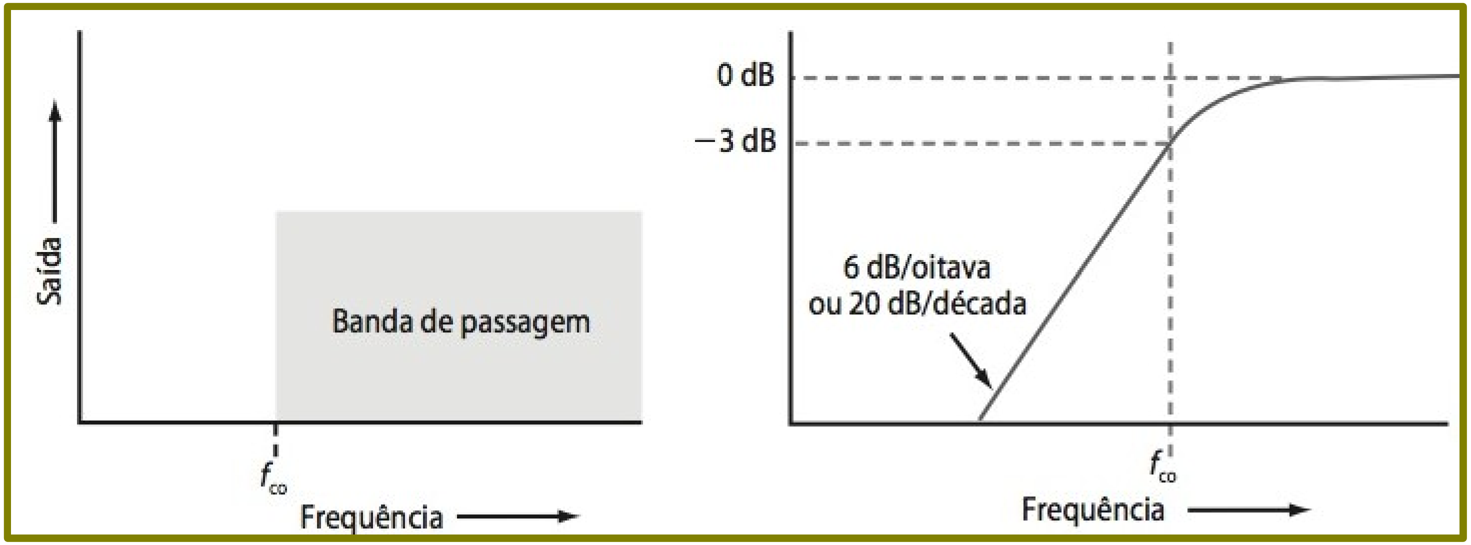




Uma **OITAVA** é definida como o dobro ou a metade de uma frequência, e uma **DÉCADA** representa um décimo ou uma relação de 10 vezes.

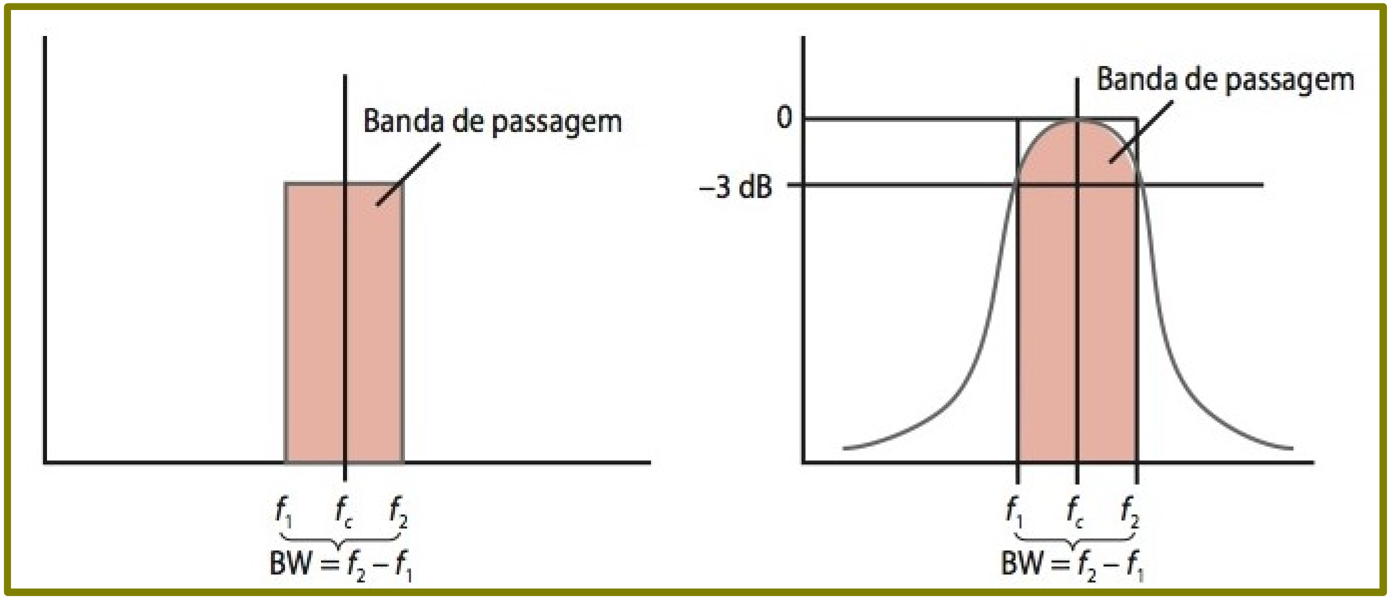
FILTROS

Filtro Passa-ALTA **IDEAL** *versus* **REAL**:



FILTROS

Filtro Passa-FAIXA **IDEAL** *versus* **REAL**:



TEORIA DE FOURIER

- Um método usado para determinar as características e o desempenho de um circuito ou sistema de comunicação, especificamente para uma abordagem de onda não senoidal, é a **Análise de Fourier** (Joseph Fourier)**.**

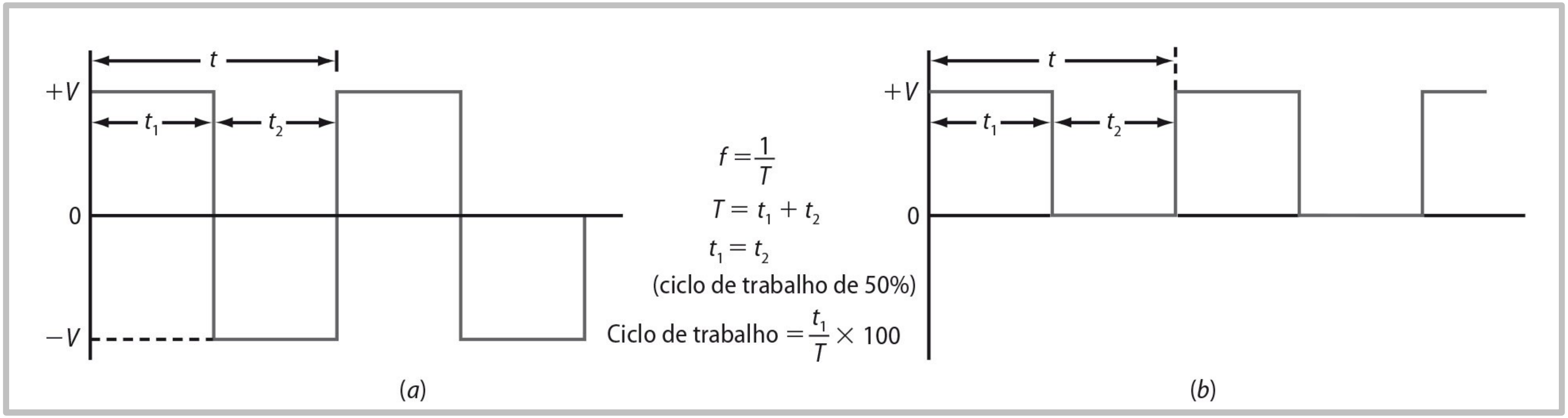
- A teoria de Fourier estabelece que uma forma de onda não senoidal pode ser decomposta em componentes individuais de ondas harmônicas dos tipos seno ou cosseno.

- Uma **onda quadrada** é um exemplo clássico desse fenômeno: sinal retangular com as alternâncias positivas e negativas de mesmo comprimento.

TEORIA DE FOURIER

Onda Quadrada:

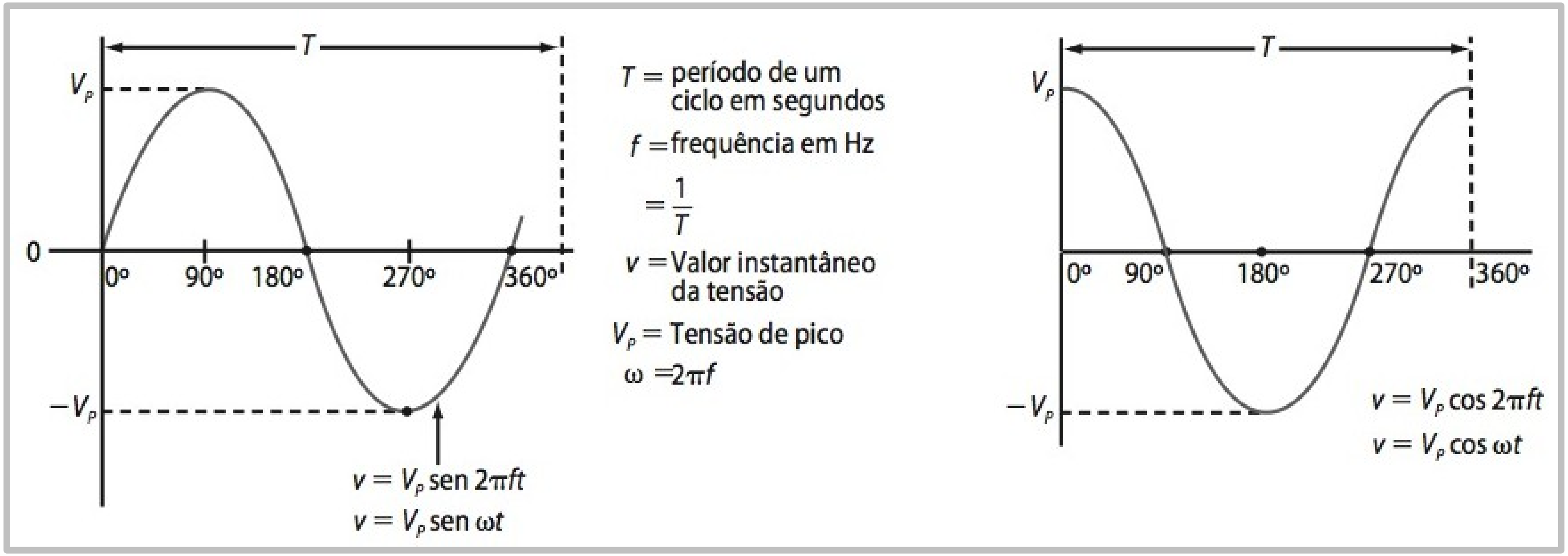
(a) SEM componente contínua (média = 0) (b) COM componente contínua (média ≠ 0)



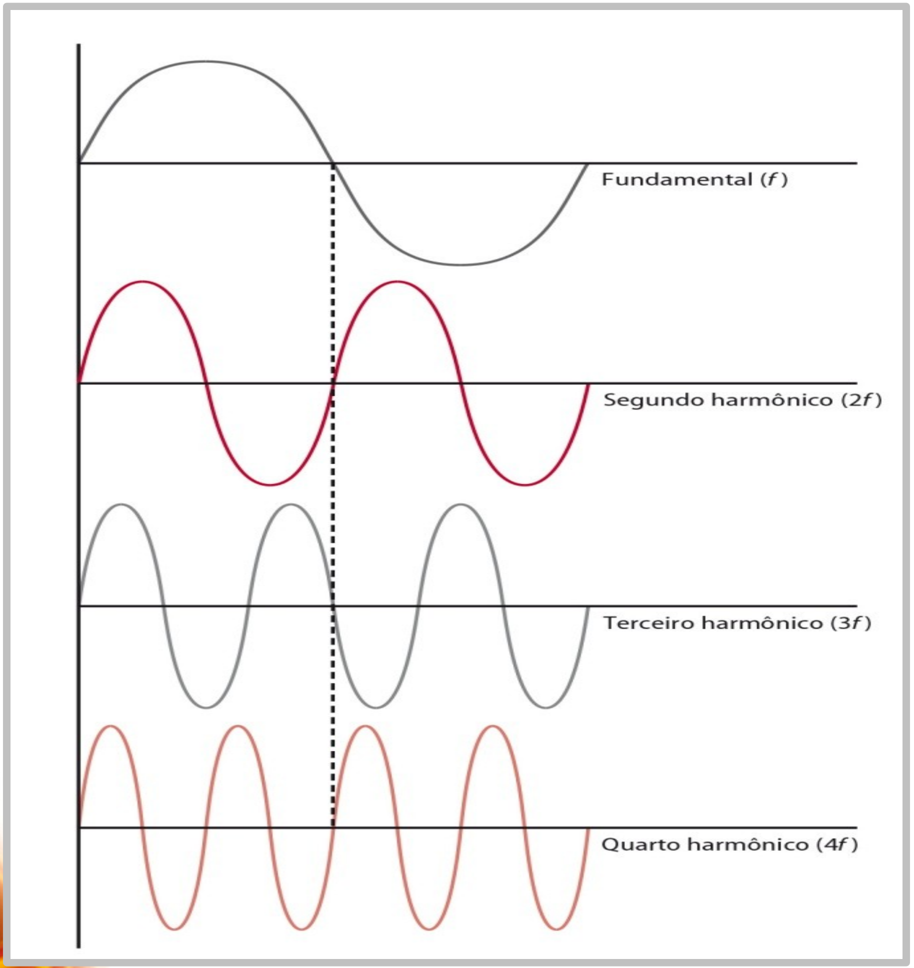
- A análise de Fourier nos diz que uma onda quadrada é constituída de ondas senoidais na frequência fundamental da onda quadrada mais um número infinito de harmônicos de ordem ímpar.
- Por exemplo, se a frequência fundamental da onda quadrada for 1 kHz, essa onda quadrada pode ser sintetizada somando-se uma onda senoidal de 1 kHz e os harmônicos senoidais de 3 kHz, 5 kHz, 7 kHz, 9 kHz, etc.

TEORIA DE FOURIER

Ondas **SENOIDAL** e **COSSENOIDAL**:



TEORIA DE FOURIER



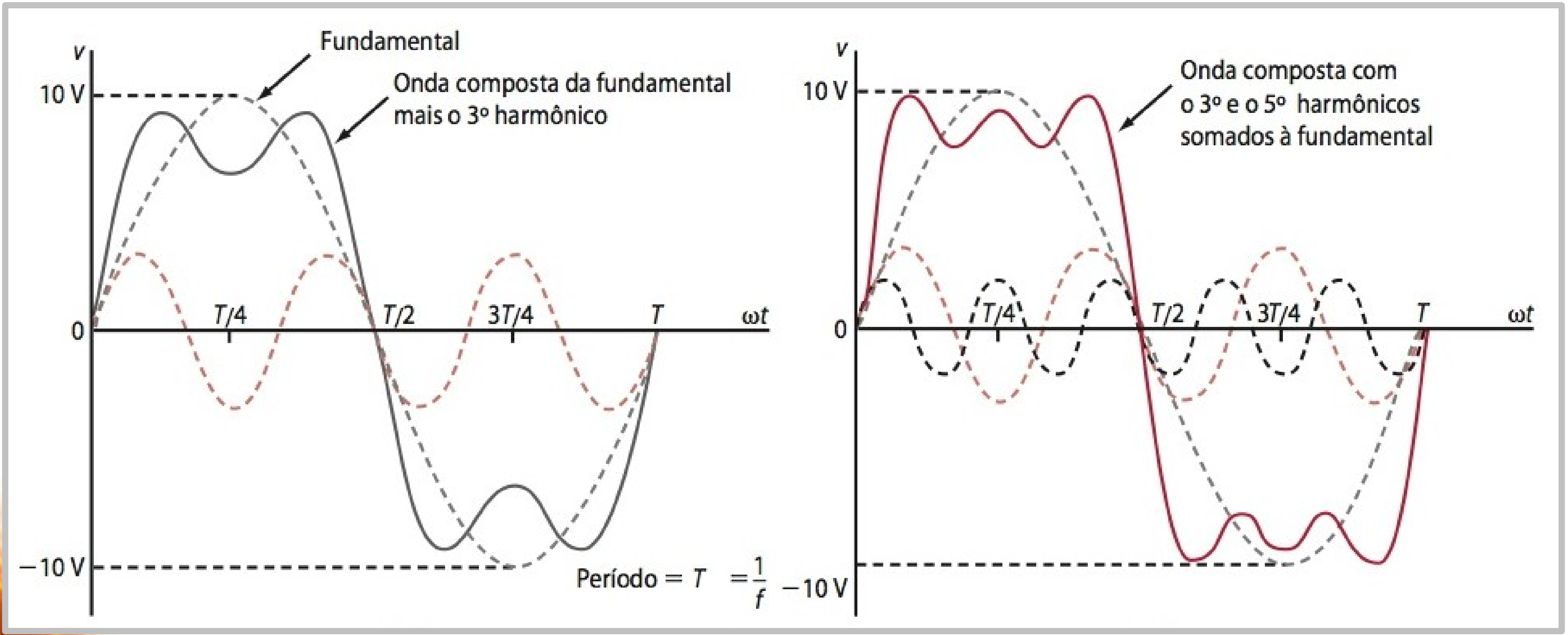
Ao lado: uma onda senoidal e seus harmônicos.

– Um **HARMÔNICO** é uma onda senoidal cuja frequência é um múltiplo inteiro da onda senoidal fundamental (harmônico fundamental ou puro).

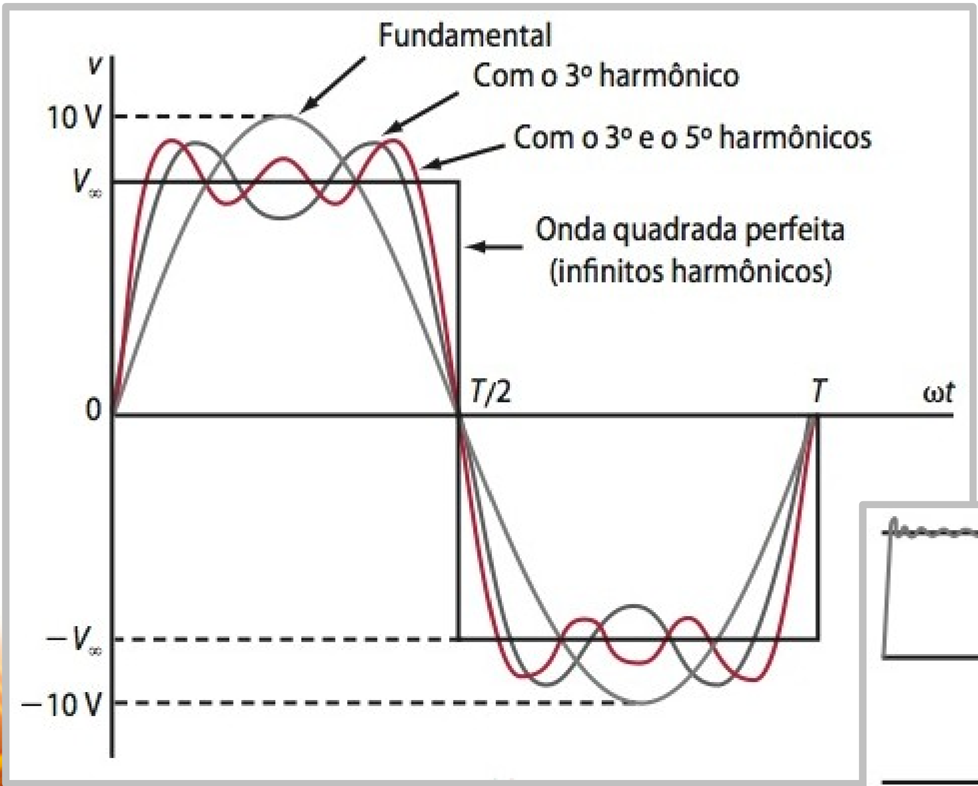
– Por exemplo, o terceiro harmônico de uma onda senoidal de 2kHz é uma onda senoidal de 6kHz.

TEORIA DE FOURIER

Recuperando uma onda quadrada a partir dos seus harmônicos:

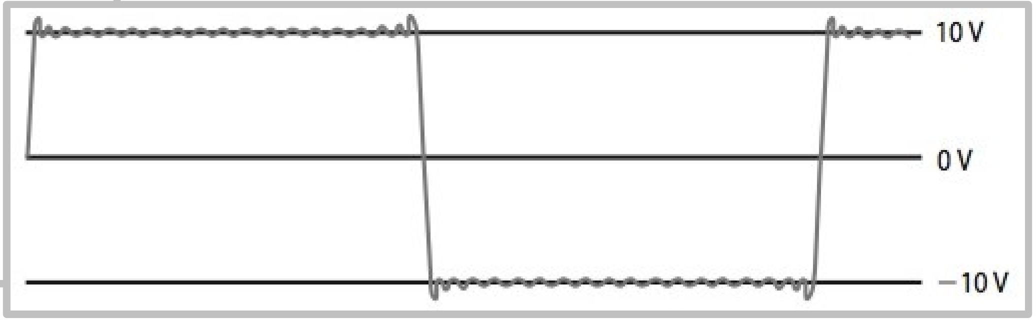


TEOREMA DE FOURIER



Recuperando uma onda quadrada a partir dos seus harmônicos:

- Abaixo onda quadrada reconstruída com os 20 primeiros harmônicos.



TEORIA DE FOURIER

Conceitos Básicos:

- A Análise de Fourier estabelece que uma onda quadrada é composta por uma onda senoidal na frequência fundamental da onda quadrada mais uma quantidade infinita de harmônicos ímpares (V – tensão de pico):

SEM componente contínua

$$f(t) = \frac{4V}{\pi}\left[\operatorname{sen} 2\pi\left(\frac{1}{T}\right)t + \frac{1}{3}\operatorname{sen} 2\pi\left(\frac{3}{T}\right)t + \frac{1}{5}\operatorname{sen} 2\pi\left(\frac{5}{T}\right)t + \frac{1}{7}\operatorname{sen} 2\pi\left(\frac{7}{T}\right)t + \cdots\right]$$

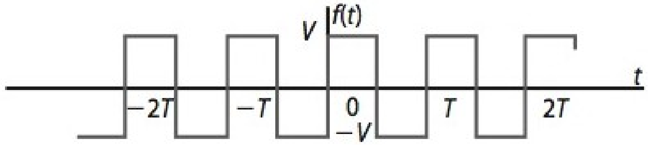
COM componente contínua

$$f(t) = \frac{V}{2} + \frac{4V}{\pi}\left(\operatorname{sen} 2\pi ft + \frac{1}{3}\operatorname{sen} 2\pi 3ft + \frac{1}{5}\operatorname{sen} 2\pi 5ft + \frac{1}{7}\operatorname{sen} 2\pi 7ft + \cdots\right)$$

$$f(t) = \frac{V}{2} + \frac{4V}{n}\sum_{n=1}^{\infty}(\operatorname{sen} 2\pi nft)$$

TEORIA DE FOURIER

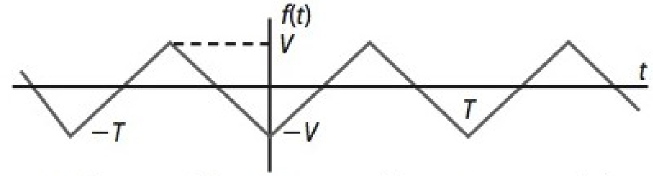
- A análise de Fourier estabelece que uma onda quadrada é composta por uma onda senoidal na frequência fundamental da onda quadrada mais uma quantidade infinita de harmônicos ímpares.
- A seguir exemplos de ondas não senoidais comuns e suas equações de Fourier:
  - (a) Onda quadrada;
  - (b) Onda triangular;
  - (c) Dente de Serra;
  - (d) Meia onda cossenoidal retificada;
  - (e) Onda completa cossenoidal retificada;
  - (f) Pulso retangular.



$$f(t) = \frac{4V}{\pi}\left[\text{sen } 2\pi\left(\frac{1}{T}\right)t + \frac{1}{3}\text{ sen } 2\pi\left(\frac{3}{T}\right)t + \frac{1}{5}\text{ sen } 2\pi\left(\frac{5}{T}\right)t + \ldots\right]$$

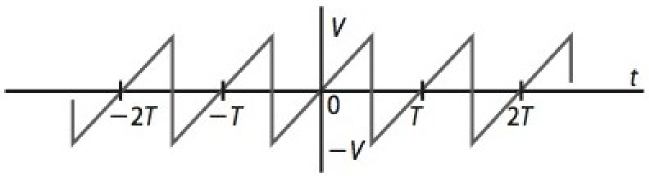
(a)

$$T = \frac{1}{f}$$



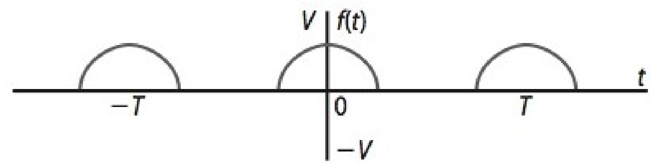
$$f(t) = -\frac{8V}{\pi^2}\left[\cos 2\pi\left(\frac{1}{T}\right)t + \frac{1}{9}\cos 2\pi\left(\frac{3}{T}\right)t + \frac{1}{25}\cos 2\pi\left(\frac{5}{T}\right)t + \ldots\right]$$

(b)



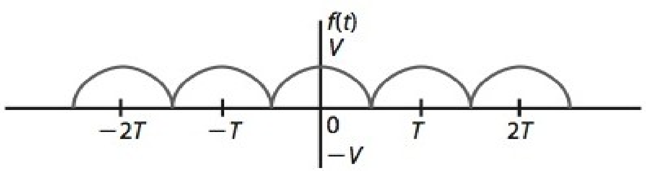
$$f(t) = \frac{2V}{\pi}\left[\text{sen } 2\pi\left(\frac{1}{T}\right)t - \frac{1}{2}\text{ sen } 2\pi\left(\frac{2}{T}\right)t + \frac{1}{3}\text{ sen } 2\pi\left(\frac{3}{T}\right)t - \frac{1}{4}\text{ sen } 2\pi\left(\frac{4}{T}\right)t + \ldots\right]$$

(c)



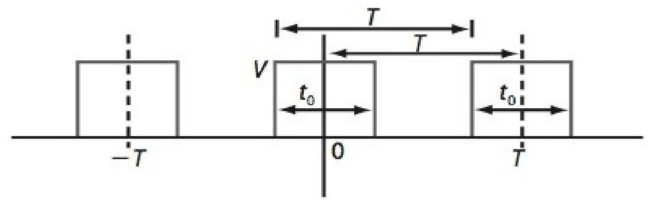
$$f(t) = \frac{V}{\pi} + \frac{V}{\pi}\left[\frac{\pi}{2}\cos 2\pi\left(\frac{1}{T}\right)t + \frac{2}{3}\cos 2\pi\left(\frac{2}{T}\right)t - \frac{2}{15}\cos 2\pi\left(\frac{4}{T}\right)t + \frac{2}{35}\cos 2\pi\left(\frac{6}{T}\right)t + \ldots\right]$$

(d)



$$f(t) = \frac{2V}{\pi} + \frac{2V}{\pi}\left[\frac{2}{3}\cos 2\pi\left(\frac{1}{T}\right) - \frac{2}{15}\cos 2\pi\left(\frac{2}{T}\right)t + \frac{2}{35}\cos 2\pi\left(\frac{3}{T}\right)t + \ldots\right]$$

(e)



$$f(t) = \frac{Vt_0}{T} + \frac{2Vt_0}{T}\left[\frac{\text{sen } \frac{\pi t_0}{T}}{\frac{\pi t_0}{T}}\cos\frac{\pi t_0}{T} + \frac{\text{sen } \frac{2\pi t_0}{T}}{\frac{2\pi t_0}{T}}\cos\frac{2\pi t_0}{T} + \frac{\text{sen } \frac{3\pi t_0}{T}}{\frac{3\pi t_0}{T}}\cos\frac{3\pi t_0}{T} + \ldots\right]$$

(f)

TEORIA DE FOURIER

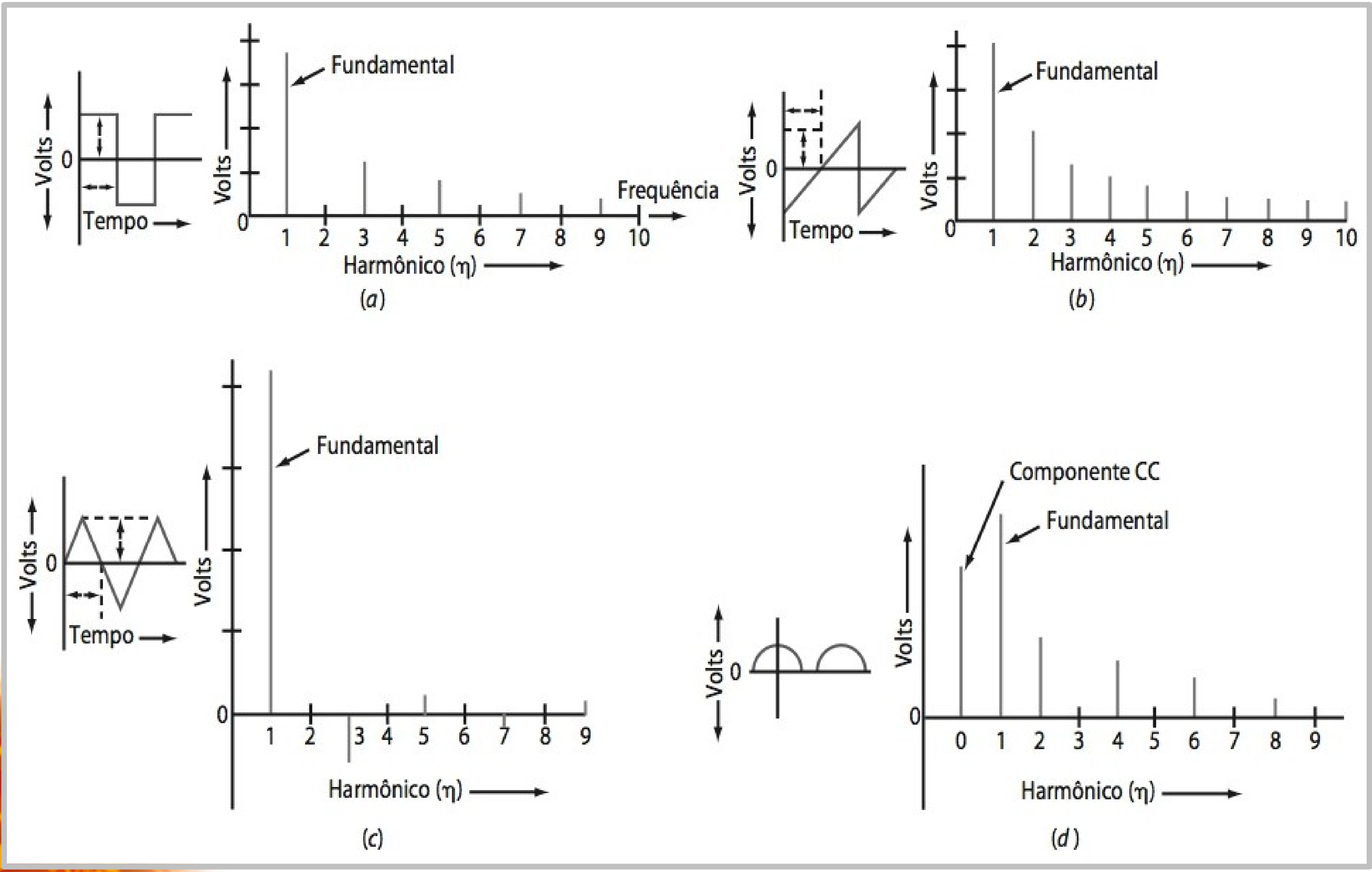
Domínio do Tempo ***versus*** **Domínio da Frequência**:

- A análise das variações da tensão, corrente, ou potência em relação ao tempo são expressos no **domínio do tempo**.

- O **domínio de frequência** esboça a variação da amplitude dos harmônicos em relação às respectivas frequências dos mesmos.

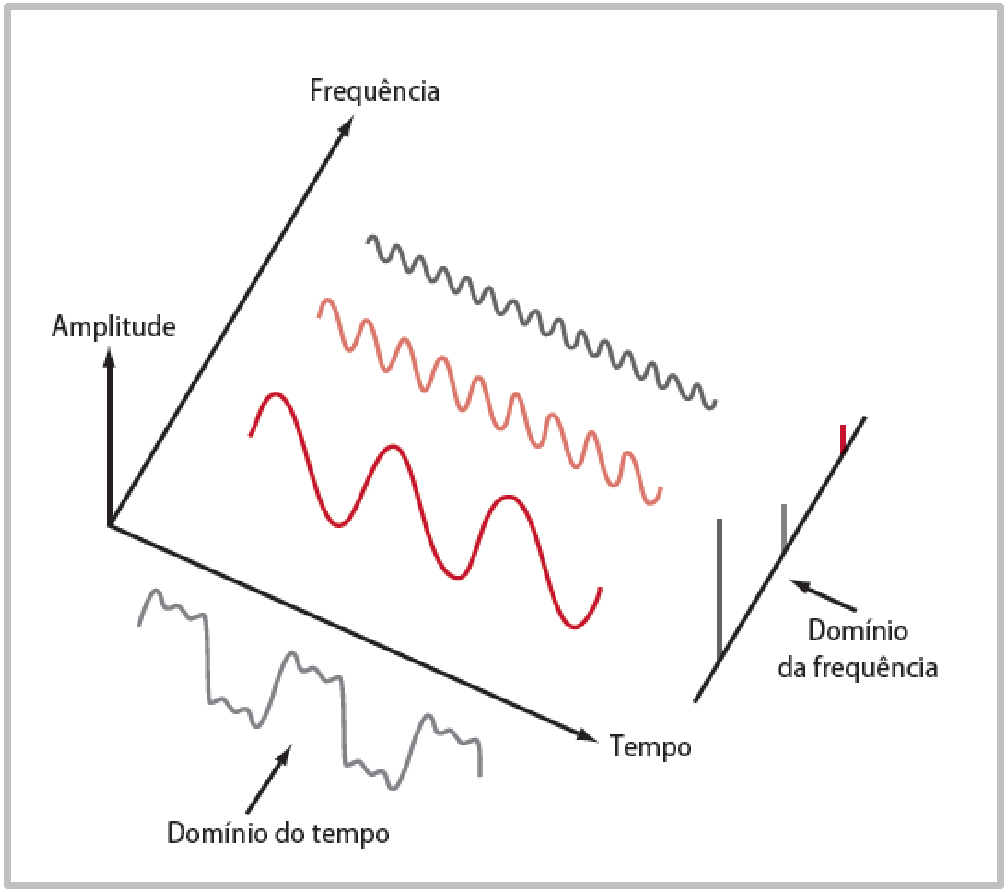
- A Teoria de Fourier nos fornece uma nova e diferente forma de expressar e ilustrar sinais complexos, em relação à frequência. Exemplos a seguir.

TEORIA DE FOURIER

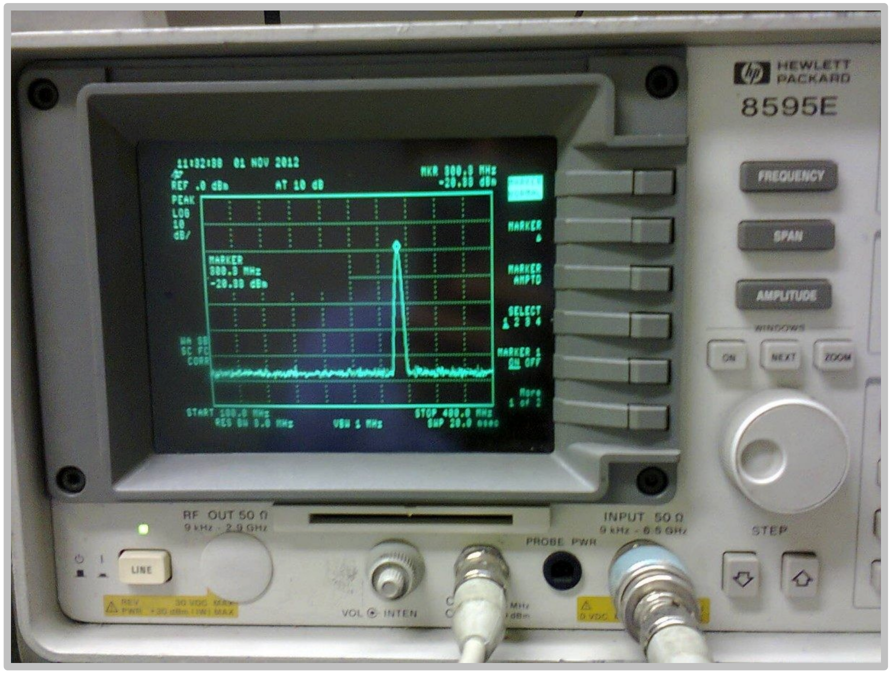


TEORIA DE FOURIER

A relação entre os domínios do tempo e da frequência:



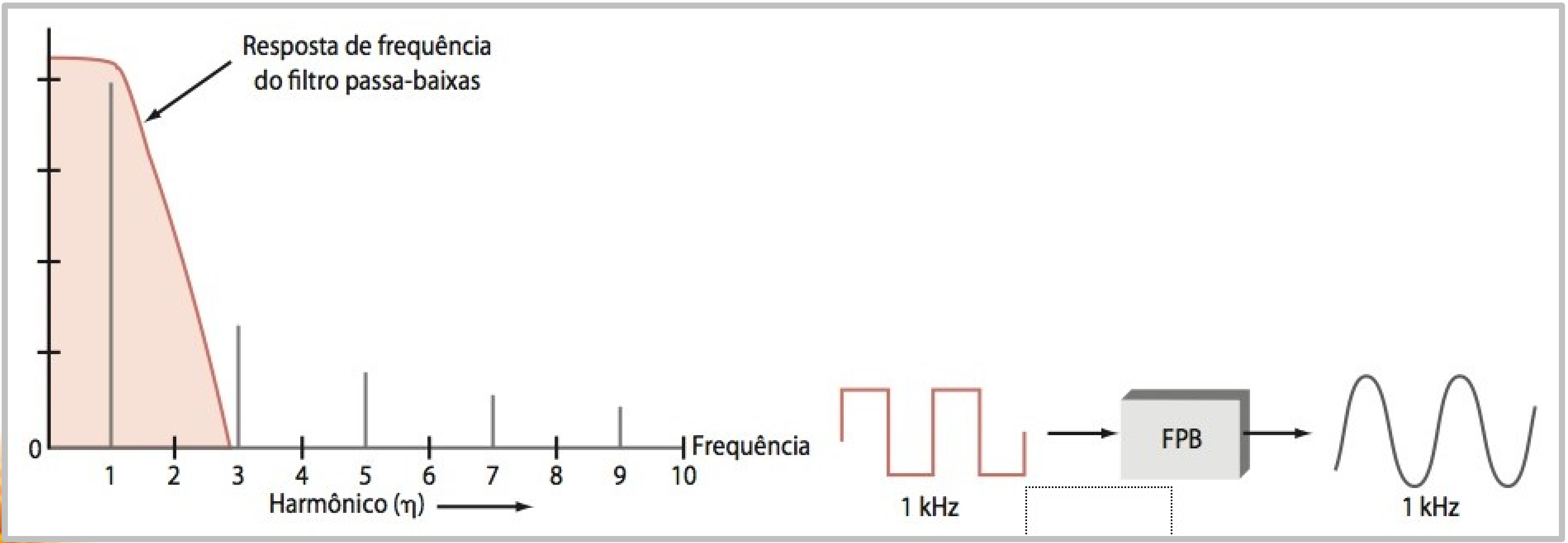
TEORIA DE FOURIER



Um **analisador de espectro** é um instrumento usado para produzir uma exibição do domínio da frequência. É o instrumento de teste fundamental na projeção, análise e verificação de problemas de equipamentos de comunicação de dados.

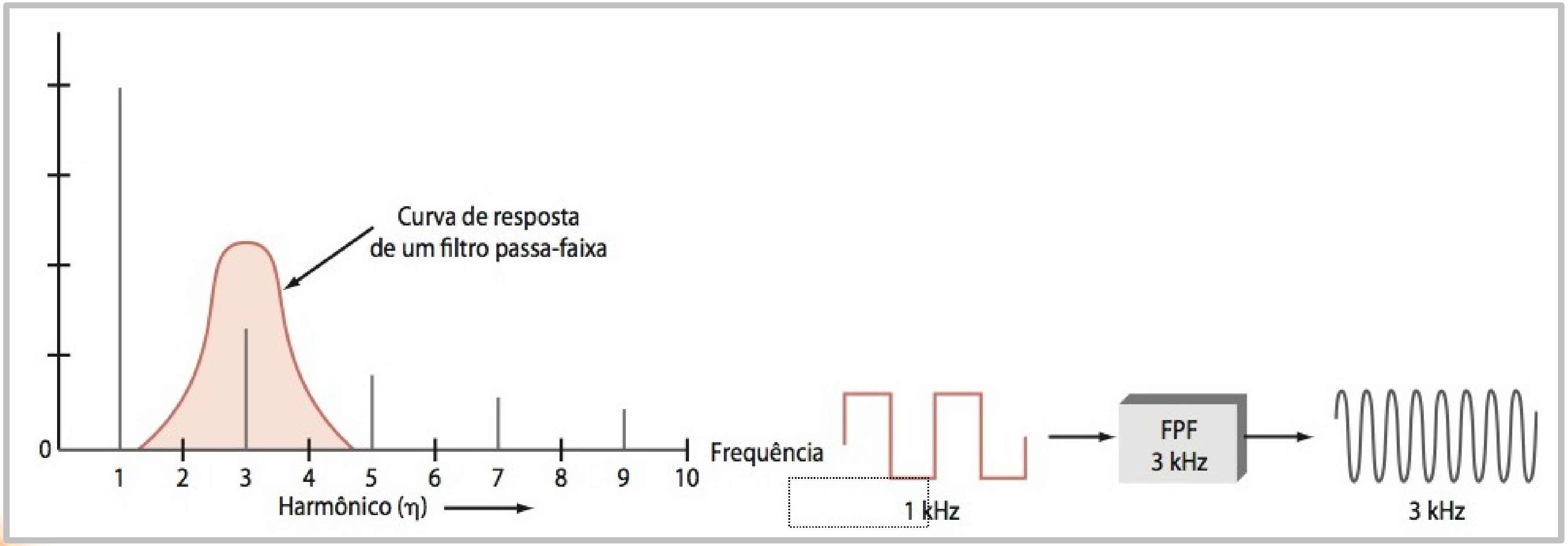
TEORIA DE FOURIER

Conversão de uma onda quadrada em senoidal eliminando os harmônicos:



TEORIA DE FOURIER

Seleção do terceiro harmônico usando um filtro passa-faixa:



TEORIA DE FOURIER

Espectro de um pulso:

- O trem de pulsos com ciclo de trabalho diferente de 50% (p. 34, f) consiste num dos sinais mais comuns nas transmissões de dados, seu valor médio CC é de: $V \cdot t_0 / T$. Pela Análise de Fourier, esse trem de pulsos é constituído de uma fundamental e todos os harmônicos de ordem par e ímpar (p. 42).

- A linha tracejada que contorna os picos das componentes individuais, é conhecida como **ENVOLTÓRIA** (envelope) do espectro de frequência. A equação para a curva da envoltória tem a forma geral (sen x)/x, onde:

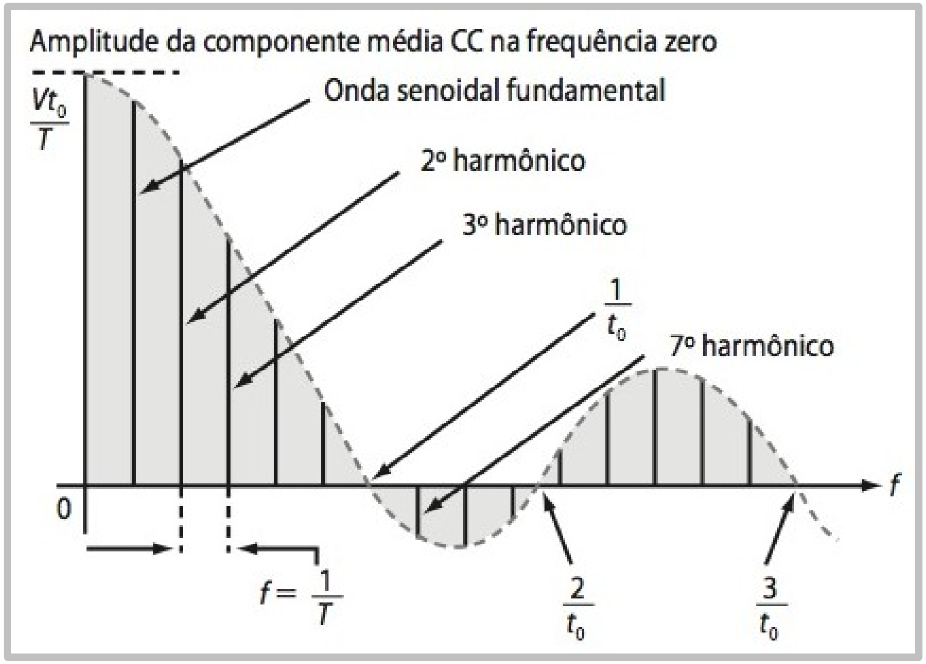
$$x = \frac{n \cdot \pi \cdot t_0}{T}$$

(n = nº do harmônico)

TEORIA DE FOURIER

Espectro de um pulso:

- Alguns harmônicos podem ser negativos. Isso significa simplesmente que a fase deles é invertida.
- Essa função envelope é conhecida como **SINC**. A curva cruza o eixo horizontal algumas vezes em pontos que são múltiplos de $1/t_0$.



TEORIA DE FOURIER

Espectro de um pulso:

- Nas aplicações em comunicação de dados, geralmente considera-se que uma largura de banda igual ao primeiro cruzamento da envoltória com o eixo das abcissas é o mínimo suficiente para garantir a passagem dos harmônicos necessários para se obter uma forma de onda razoável na saída do filtro ou canal de transmissão.

Exercícios:

6) Um trem de pulsos CC tem uma tensão de pico de 5V, uma frequência de 4MHz e um ciclo de trabalho de 30%.

a) Qual é o valor da componente CC?

b) Qual é a mínima largura de banda necessária para que esse sinal passe sem distorções excessivas?

TEORIA DE FOURIER

Largura de Banda e

Tempo de Subida:

- **BW = 0,35/t_r**

Exercícios:

7) Um trem de pulsos tem um tempo de subida de 6 ns. Qual é a largura de banda mînima para que esse trem de pulsos passe fielmente?

8) Um circuito tem uma largura de banda de 200 kHz. Qual é o tempo de subida mais rápido do sinal que este circuito permite passar?