



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

Capítulo que exemplifica algumas características inerentes aos **sistemas de transmissão**:

- possibilidade dos sistemas de transmissão **não serem “perfeitos”**, podendo provocar alguma **distorção** nos sinais que são transmitidos
- limites relativos à **banda de transmissão** suportada pelo sistema de transmissão
- possibilidade de **atenuação** da potência dos sinais transmitidos
- ...

1



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

Capítulo que aborda:

- **Sistemas de Transmissão**
... aborda alguns modelos/funções ilustrativas do comportamento de determinados sistemas de transmissão
- **Largura de Banda** de Transmissão
... definição teórica de largura de banda de transmissão ...
- **Perdas e Ganhos** de Potências
... calcular a atenuação sofrida pelos sinais durante a transmissão (ou a amplificação introduzida)
- **Filtros**
... diferentes tipos de filtros e seus objectivos

2



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

- **Transmissão:** "processo pelo qual uma forma de onda transita de uma fonte para um determinado destino, desejavelmente sem sofrer alteração de forma"
- **Filtragem:** "operação que, propositadamente, altera o espectro do sinal e, conseqüentemente, a sua forma"
 - Modelados de forma semelhante por funções entrada saída - sinal que se obtém à saída designa-se por resposta do sistema ao sinal de entrada **[função de transferência]**
 - No contexto das comunicações elétricas, o capítulo aborda alguns **modelos matemáticos de funções de transferência**

3



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

Sistemas LIT (Lineares e Invariantes no Tempo)

- Nota: ver definição/características completas destes sistemas no Cap. III (... lineares & invariantes)
 - ↙
características do sistema permanecem
fixas ao longo do tempo
- Sistemas com características próprias possuindo uma **função de transferência**, $H(f)$, em que:
 - a. $|H(f)|$ representa a **característica de amplitude** do sistema
 - b. $|H(f)|^2$ representa **caraterística de potência** do sistema

4



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

Sistemas LIT (Lineares e Invariantes no Tempo)

- As exponenciais complexas, ou seja, os **sinais oscilatórios** no tempo passam pelo sistema **sem alteração de forma a menos de um factor multiplicativo constante**...
- *ou seja: "qualquer sinal vê cada uma das suas **componentes espectrais** passar no sistema sem alteração de forma mas com **alteração de amplitude consoante a frequência**"*



5



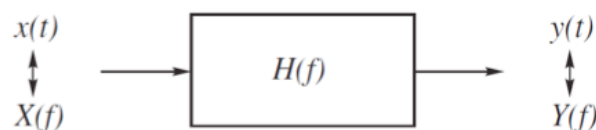
VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA:

Resposta em Frequência do sistema, $H(f)$

$$Y(f) = H(f) \cdot X(f)$$

$$|Y(f)| = |H(f)| \cdot |X(f)|$$



6



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA:

Sinal de Potência (Sinal Periódico)

$$|C_y(nf_0)|^2 = |H(nf_0)|^2 \cdot |C_x(nf_0)|^2$$
$$S_y = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |H(nf_0)|^2 \cdot |C_x(nf_0)|^2$$

Sinal de Energia (Sinal Não Periódico)

$$|Y(f)|^2 = |H(f)|^2 \cdot |X(f)|^2$$
$$E_y = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 |X(f)|^2$$



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

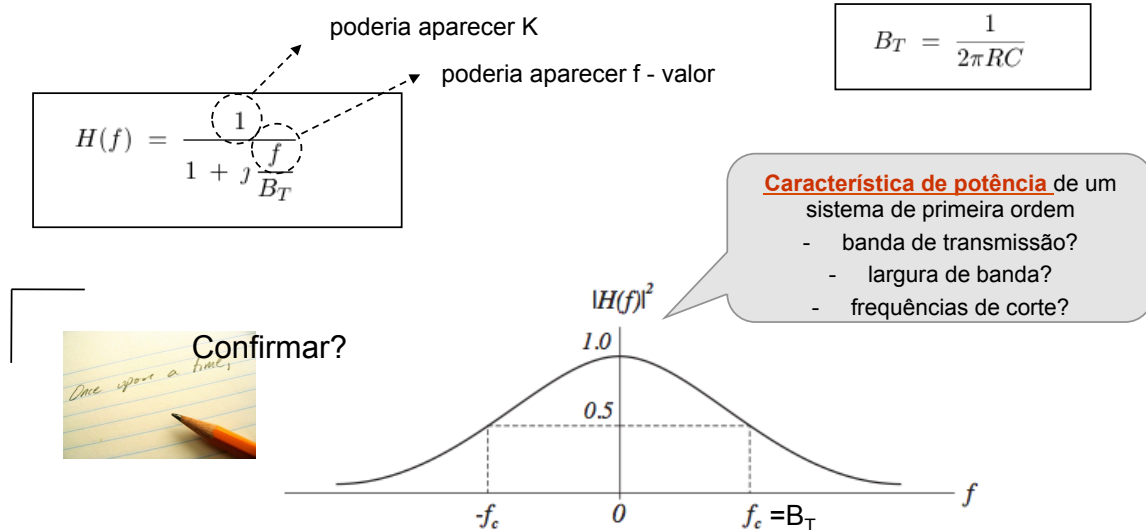
SISTEMAS DE PRIMEIRA ORDEM

- Sistemas que facilmente podem ser modelados por circuitos eléctricos RC
- Qual a equação que rege estes circuitos?
- **Função de Transferência** do sistema de primeira ordem?

$$H(f) = \frac{1}{1 + j2\pi f RC}$$

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

SISTEMA DE PRIMEIRA ORDEM:



9

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

DEFINIÇÕES:

Banda de Transmissão de um Sistema:

É o intervalo de frequências positivas no qual o ganho do sistema é não inferior a $\frac{1}{2}$ do ganho máximo.

Largura de Banda de um Sistema:

É a amplitude da banda de transmissão desse sistema.

Frequências de Corte de um Sistema:

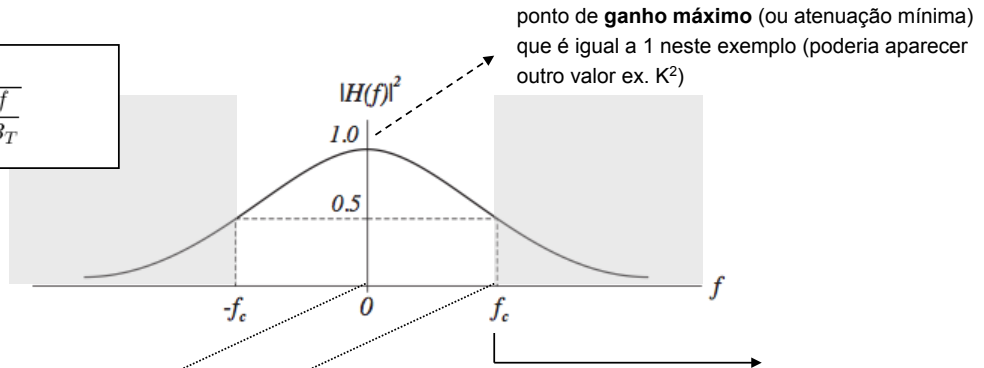
São as frequências positivas limites da banda de transmissão do sistema.

10

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

SISTEMA DE PRIMEIRA ORDEM:

$$H(f) = \frac{1}{1 + j \frac{f}{B_T}}$$



Neste caso

Banda de Transmissão: $[0, f_c]$ Hz

Largura de Banda: $=f_c=B_T$ Hz

Frequências de Cortes: 0 e f_c

ponto de **ganho máximo** (ou atenuação mínima) que é igual a 1 neste exemplo (poderia aparecer outro valor ex. K^2)

todas as componentes de um sinal de entrada de frequência superior a este ponto sofrem ganhos inferiores a metade do ganho máximo (ou, por outras palavras, sofrem atenuações mais significativas do que...)

11

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

PERDAS DE TRANSMISSÃO E DECIBÉIS

- Os sistemas de transmissão, além de distorcer o sinal, também reduzem a potência do sinal introduzindo uma **perda/atenuação na transmissão**
- Estudar os conceitos de **ganho** e **perda** de transmissão, e **decibel** como medida de razão de potências
 - por forma a relacionar as potências à entrada e à saída de um sistema de transmissão

12



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

GANHO DE POTÊNCIA

- Consideremos um sistema que introduz um **ganho** de potência por forma que a **potência média do sinal à saída** seja proporcional à **potência média de entrada**



- Ganho** de potência é definido por:

$$g = \frac{P_s}{P_e}$$

13



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

GANHO DE POTÊNCIA

- Sistemas amplificadores possuem normalmente valores de g muito elevados, para melhor lidar com esses valores é usual a utilização de uma escala logarítmica
- Ganho em **decibéis (dB)**

$$g_{dB} = 10 \log_{10} g$$

- Dado um valor de ganho em dB o valor linear correspondente é:

$$g = 10^{\frac{g_{dB}}{10}}$$

14



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

POTÊNCIA DE SINAIS EXPRESSA EM dB

- A **potência de um sinal** pode também ser expressa em dB se se considerar relativa a uma potência fixa
- A potência de referência em telecomunicações para se expressar potências em dB é o miliwatt, ao que corresponde uma unidade designada por **dBm** (mas podem-se usar outras unidades)

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P}{1 \text{ mW}}$$



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

POTÊNCIA DE SINAIS E GANHOS EM dB

- Como relacionar a potência do sinal em dBm e o ganho (ou atenuação) em dB?
- Formula mais simples de relacionamento dado que envolve unicamente somas (ou subtrações)

$$P_{s_{dBm}} = g_{dB} + P_{e_{dBm}}$$



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

PERDA OU ATENUAÇÃO DE SINAIS

- Todo o meio de transmissão passivo envolve uma **perda de potência**, logo $P_s < P_e$
- Neste caso é preferível trabalhar em termos de **atenuação de transmissão (L)**

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{g} = \frac{P_e}{P_s} \\ L_{dB} &= -g_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_e}{P_s} \end{aligned}$$



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

PERDA OU ATENUAÇÃO DE SINAIS

- Da mesma forma é possível relacionar as potências dos sinais e as atenuações por:

$$P_{s_{dBm}} = P_{e_{dBm}} - L_{dB}$$

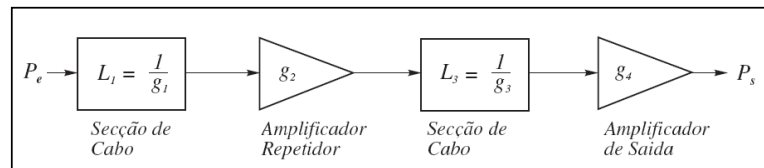
- No caso de linhas de transmissão, cabos coaxiais, fibras, etc. é usual apresentar um **coeficiente de atenuação (α)** em dB por unidade de comprimento

$$L_{dB} = \alpha d$$

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

PERDA OU ATENUAÇÃO DE SINAIS

- Percursos com grandes atenuações exigem amplificação, processo que é realizado através da introdução de amplificadores repetidores ao longo do percurso



?

$$P_s = (g_1 g_2 g_3 g_4) P_e = \frac{g_2 g_4}{L_1 L_3} P_e$$

$$P_{s_{dBm}} = (g_{2_{dB}} + g_{4_{dB}}) - (L_{1_{dB}} + L_{3_{dB}}) + P_{e_{dBm}}$$

19

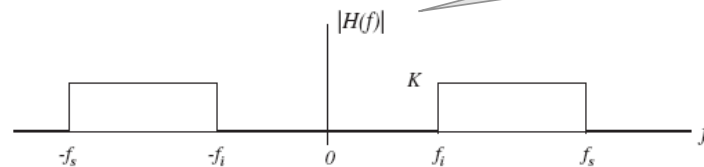
VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

FILTROS

- Podem ser usados para separar o sinal portador de informação de contaminações indesejáveis (interferências, ruídos, contaminações...)
- Modelados de forma semelhante aos sistemas de transmissão (diferem é no objectivo)
- Filtros ideais** - caracterizados por fornecerem **transmissão isenta de distorção** em uma ou mais bandas de frequência

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

FILTROS IDEAIS



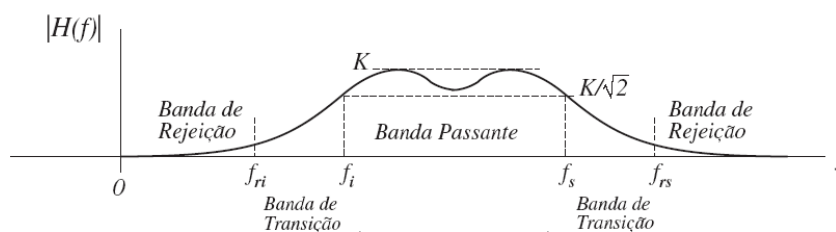
Característica de amplitude de um filtro **passa-banda ideal**

- Largura de Banda deste filtro **passa-banda ideal** = $f_s - f_i$
- Para um filtro **passa-baixo ideal** temos $f_i = 0$
- Para um filtro **passa-alto ideal** temos $f_i > 0$ e $f_s = \infty$

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

FILTROS REAIS

- Os filtros ideais são irrealizáveis, não é possível obter transições abruptas
- Exemplo de um **filtro passa-banda típico**

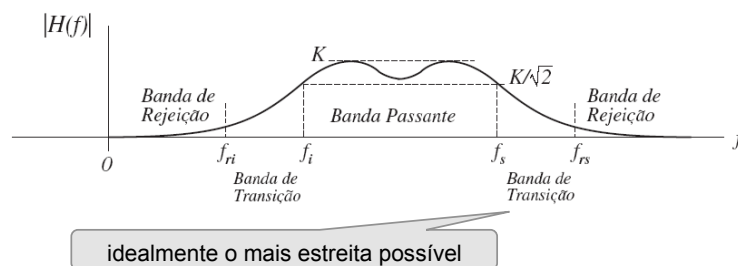


Banda de Transmissão;
Largura de Banda = $f_s - f_i$ (também designada
largura de banda de meia potência)

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

FILTROS REAIS

- **Bandas de Rejeição:** onde $|H(f)|^2$ está consistentemente abaixo de 10% do seu valor máximo
- **Bandas de Transição:** "... o filtro (ou o sistema) nem deixa passar nem rejeita as correspondentes componentes de frequência..."



23

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

FILTROS (OU SISTEMAS) DE ORDEM SUPERIOR

- Filtros (e sistemas de transmissão) podem ser de **ordem superior** aos sistemas de primeira ordem anteriormente referidos
- Uma classe desses filtros é denominada por filtros de **Butterworth** de **ordem n**
- Quanto maior for a ordem do filtro mais "perfeito" é o filtro

24

VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

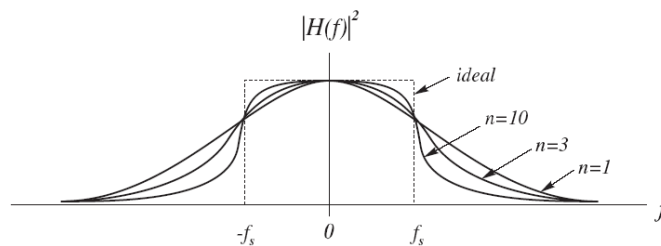
FILTROS DE BUTTERWORTH

Característica de amplitude de um filtro passa-baixo **butterworth** com $K=1$. Normalmente se $K \leq 1$ o filtro diz-se **atenuador** se $K > 1$ o filtro diz-se **amplificador**

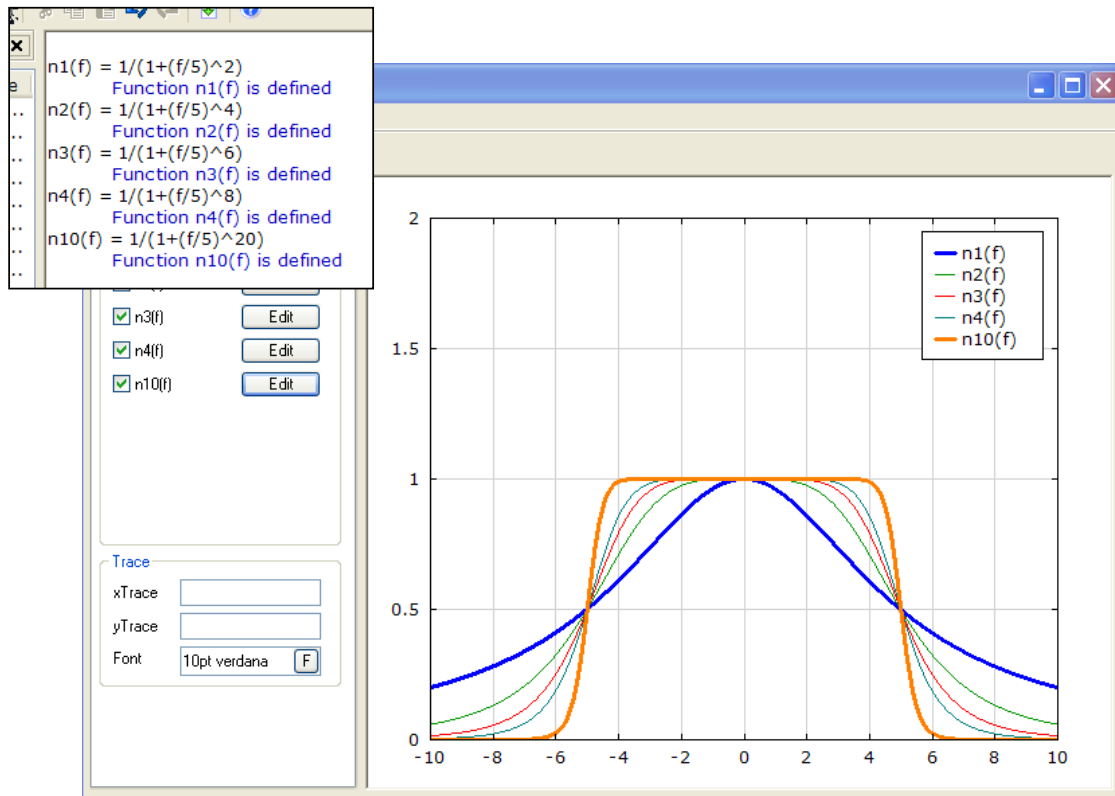
$$|H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{B_T}\right)^{2n}}}$$

poderia aparecer f - valor; nesse caso seria passa-banda

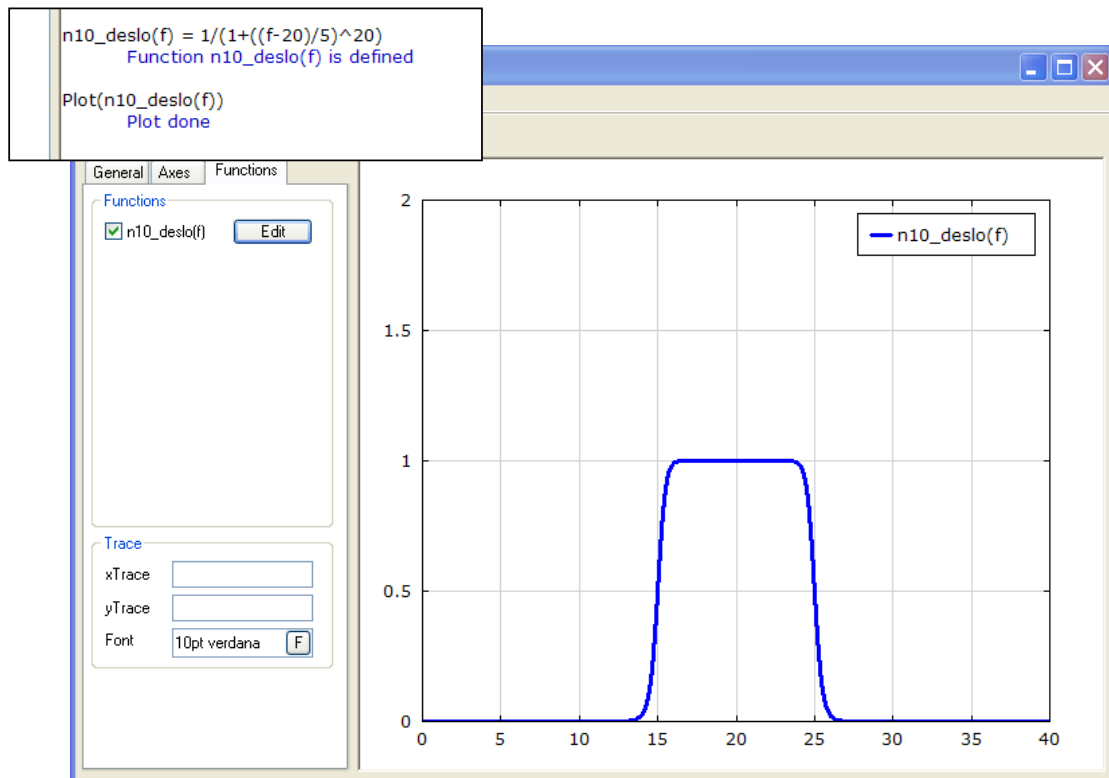
- Com $n=1$ - mesma característica de um sistema de primeira ordem



25



26



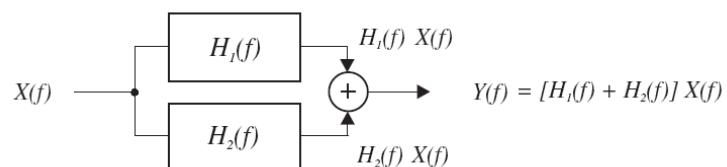
27



VI. ANÁLISE DE SISTEMAS

EXEMPLOS DE COMPOSIÇÃO DE FILTROS

$$H(f) = H_1(f) + H_2(f)$$



$$H(f) = H_1(f) \cdot H_2(f)$$

