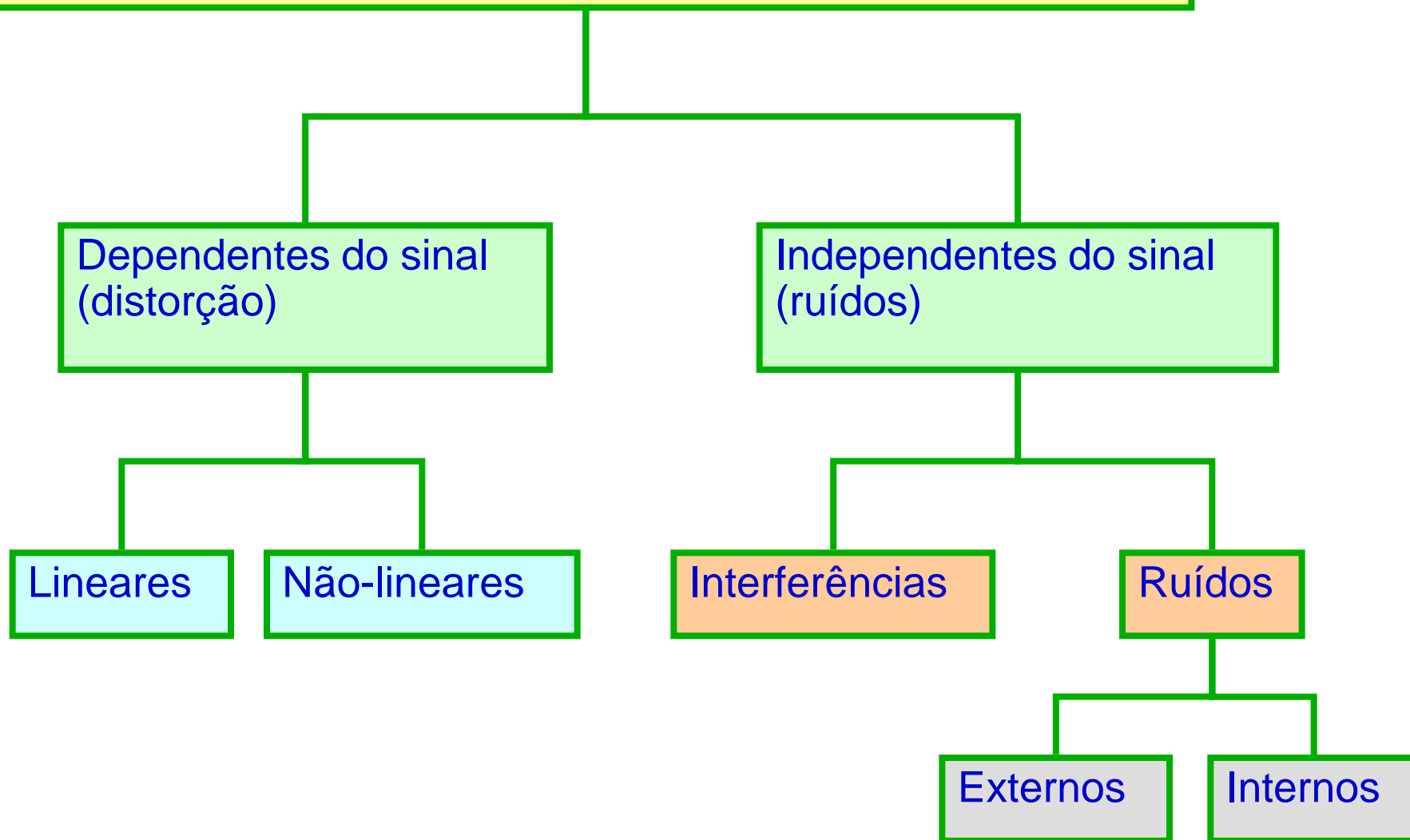


Teoria das Comunicações

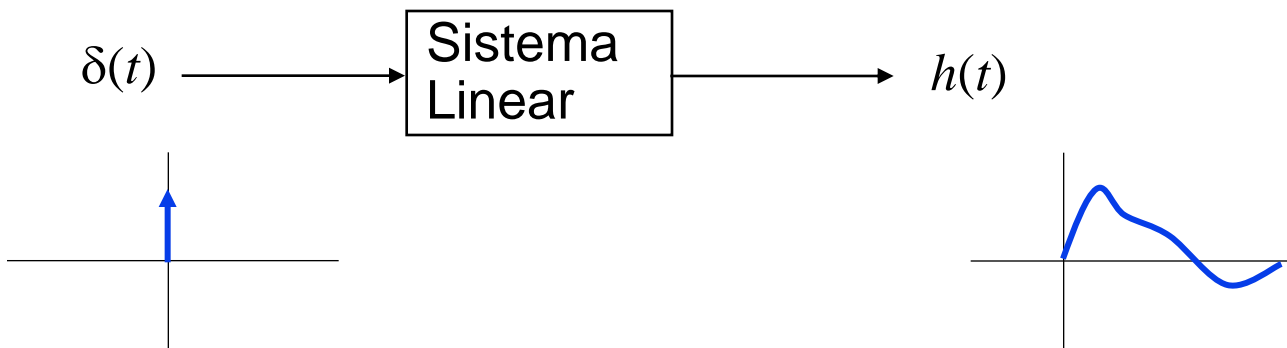
2.4 Transmissão de Sinais

Deteriorações dos sinais em um sistema de comunicação

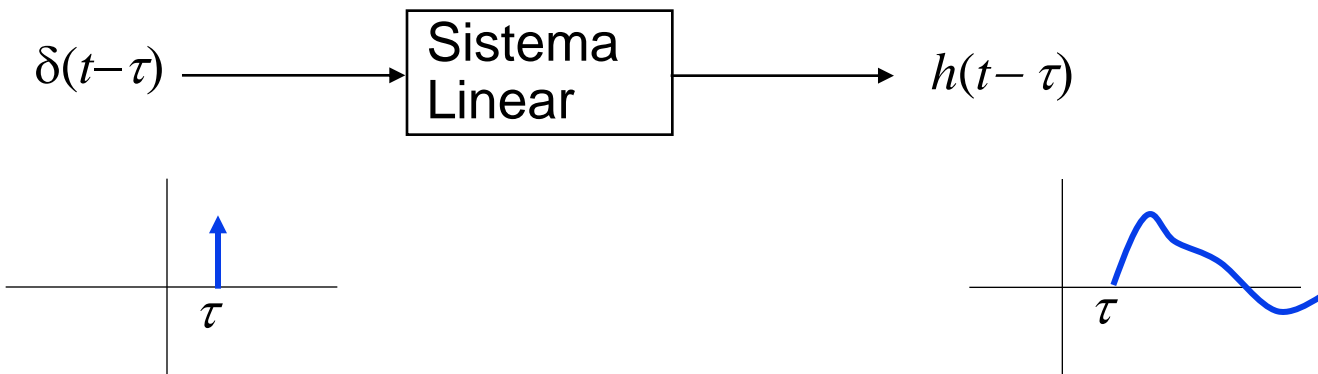


Transmissão em Sistema Linear

- Sistema linear pode ser caracterizado pela resposta impulsional

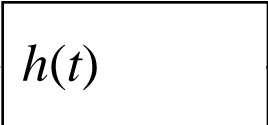


- Se sistema for invariante no tempo:

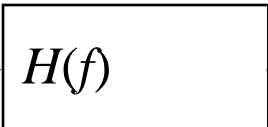


Transmissão em Sistema Linear

- Qualquer sinal $x(t)$ pode ser escrito como $x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - \tau)x(\tau)d\tau$
- Portanto resposta de sistema linear a qualquer sinal pode ser dada em função de sua resposta impulsional

$x(t)$ →  → $y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t - \tau)x(\tau)d\tau = x(t) * h(t)$

- Na frequência

$X(f)$ →  → $Y(f) = X(f)H(f)$

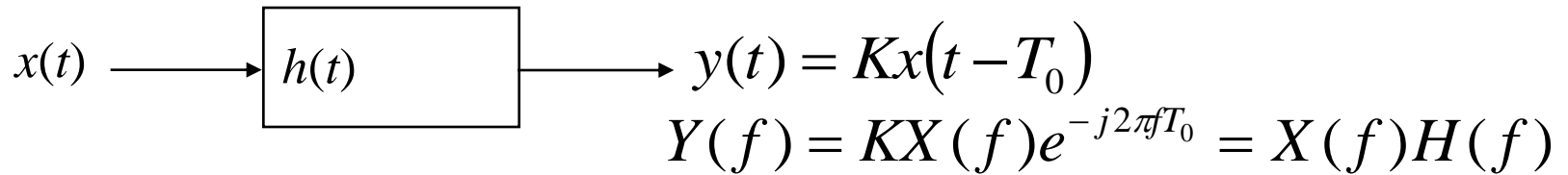
resposta espectral

resposta de amplitude

resposta de fase

$$|Y(f)| = |X(f)||H(f)|$$
$$\angle Y(f) = \angle X(f) + \angle H(f)$$

Transmissão sem Distorção

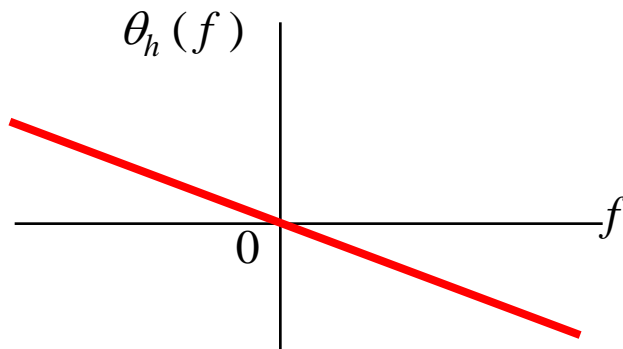


$$H(f) = Ke^{-j2\pi fT_0}$$

amplitude constante

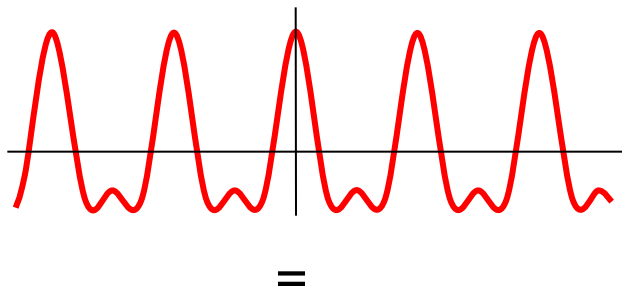
fase linear

$$\theta_h(f) = -2\pi fT_0$$



O atraso (ou retardo ou tempo de trânsito) causado por um sistema sem distorção é independente da frequência

Transmissão por um sistema sem distorção



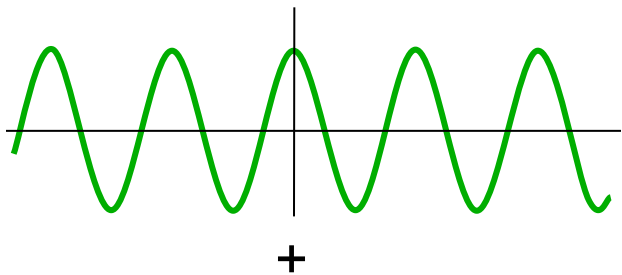
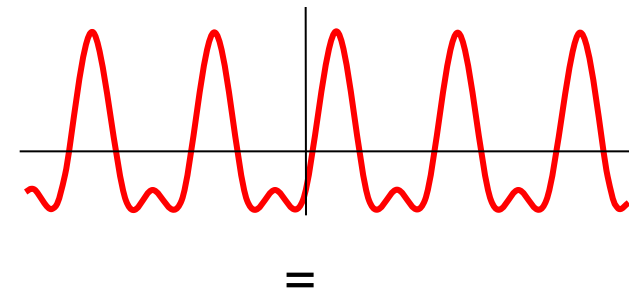
para $f > 0$:

$$H(f) = e^{-j2\pi f T_0/4}$$

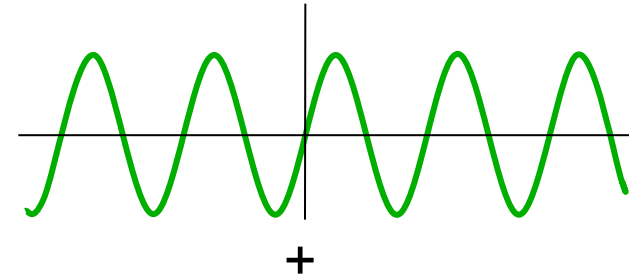
$$|H(f)| = 1$$

$$\theta_h(f) = -2\pi f T_0/4$$

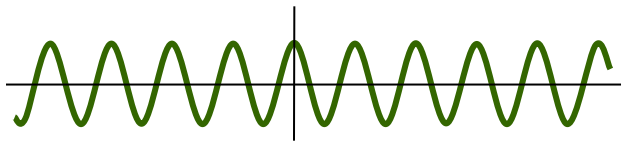
$$t_d(f) = T_0/4$$



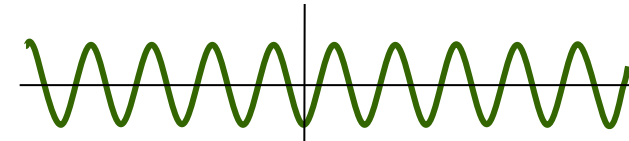
Atraso de $\frac{T_0}{4}$ s →



Mesmo atraso para todas as frequências!



Atraso de $\frac{T_0}{4}$ s →

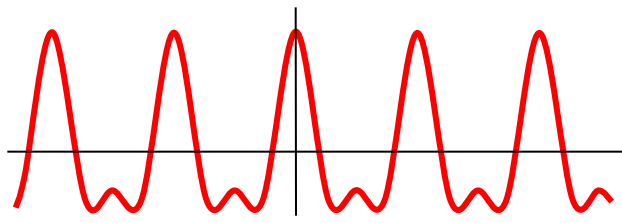


$$x(t) = 2A \cos(2\pi f_0 t) + A \cos(4\pi f_0 t)$$

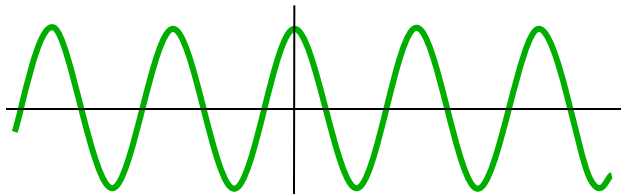
$$-\frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(f)}{df}$$

$$y(t) = 2A \cos(2\pi f_0 t - \pi/2) + A \cos(4\pi f_0 t - \pi)$$

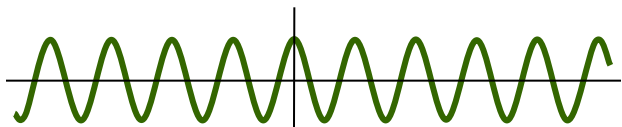
Transmissão por um sistema com distorção de fase



=



+



$$x(t) = 2A \cos(2\pi f_0 t) + A \cos(4\pi f_0 t)$$



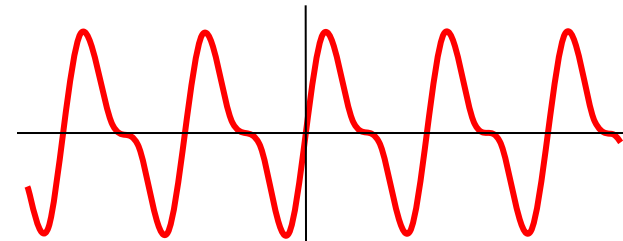
para $f > 0$:

$$H(f) = e^{-j\pi/2}$$

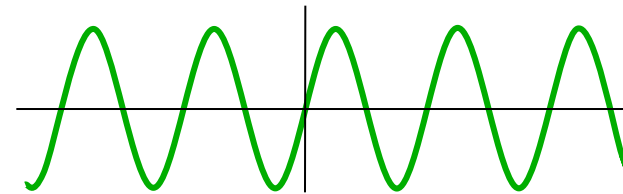
$$|H(f)| = 1$$

$$\theta_h(f) = -\pi/2$$

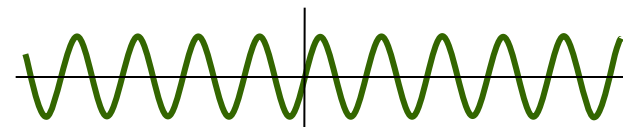
$$t_d(f) = 1/(4f)$$



=



+



— Atraso de $\frac{T_0}{4}$ s →

— Atraso de $\frac{T_0}{8}$ s →

$$y(t) = 2A \cos(2\pi f_0 t - \pi/2) + A \cos(4\pi f_0 t - \pi/2)$$

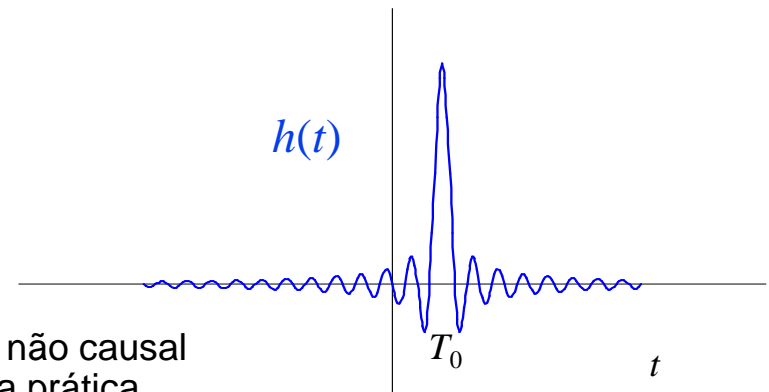
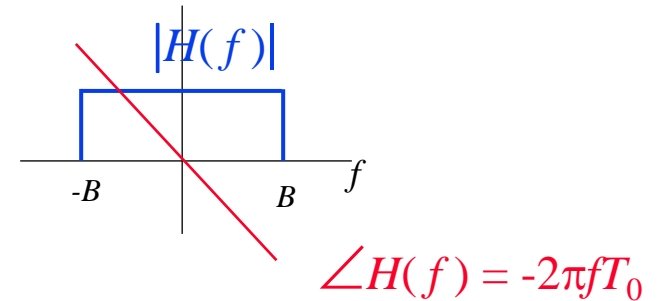
Filtros Ideais

- Deixa passar sinal desejado $g(t)$ em uma certa faixa de frequências
 - Sem distorção
- Suprime todos outros componentes de sinal
- Ex. Filtro passa-baixa ideal:
 - Se $g(t)$ tem banda $< B$, resposta ao filtro é

$$H(f) = \text{rect}\left(\frac{f}{2B}\right) e^{-j2\pi f T_0}$$

⇓

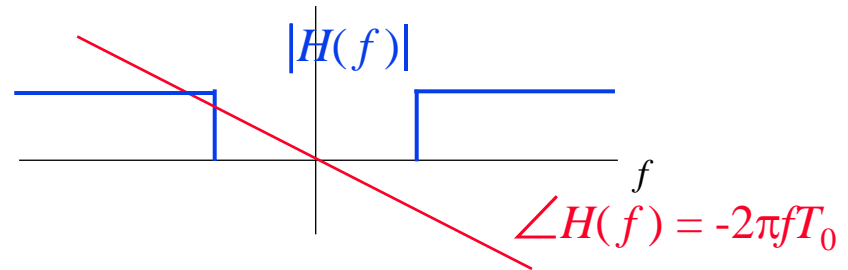
$$h(t) = 2B \text{sinc}(2\pi B(t - T_0))$$



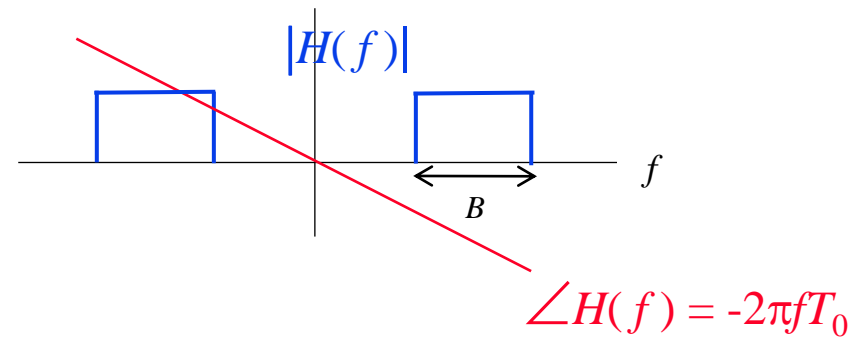
Resposta impulsional é não causal
Filtro não é realizável na prática

Filtros Ideais

- Filtro passa-alta ideal



- Filtro passa-faixa ideal



Condição de Paley-Wiener

- Filtro é realizável na prática se:
 - Resposta impulsional é causal

$$h(t) = 0 \quad , t < 0$$

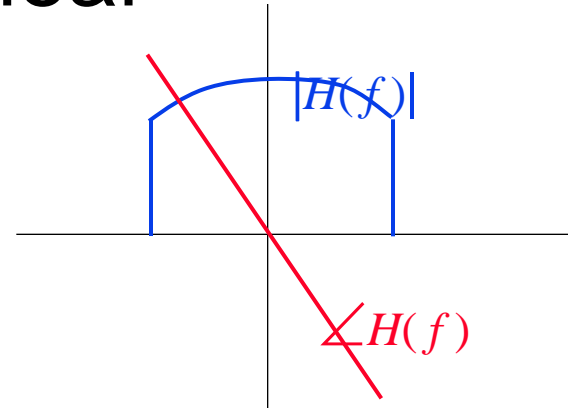
- Ou na frequência, condição de Paley-Wiener

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\ln|H(f)||}{1+f^2} df < \infty$$

Distorção Linear

- Exemplo

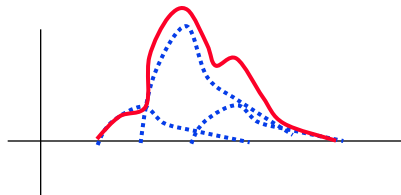
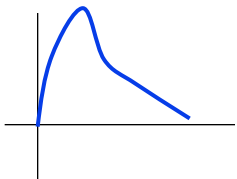
$$H(f) = \begin{cases} (1 + K \cos(2\pi fT))e^{-j2\pi f t_d} & , |f| \leq 1/T \\ 0 & , |f| > 1/T \end{cases}$$



$$G(f) \xrightarrow{H(f)} Y(f) = G(f)e^{-j2\pi f t_d} + \frac{K}{2} G(f) [e^{-j2\pi f (t_d - T)} + e^{-j2\pi f (t_d + T)}]$$

$G(f) = 0, |f| > 1/T$

$$g(t) \xrightarrow{h(t)} y(t) = g(t - t_d) + \frac{K}{2} [g(t + T - t_d) + g(t - T - t_d)]$$



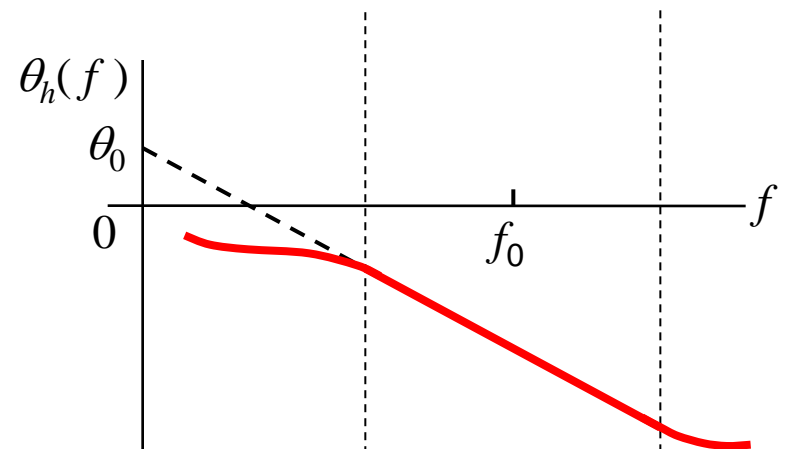
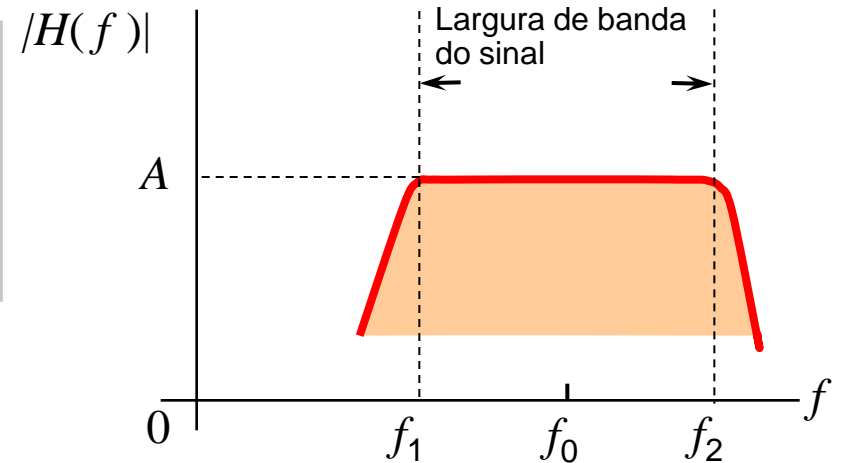
distorção linear introduz espalhamento no tempo

Sistema linear passa-faixa sem distorção

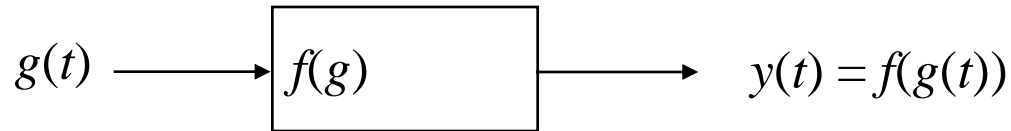
$$\left. \begin{aligned} |H(f)| &= A \\ \theta_h(f) &= -2\pi f T_g + \theta_0 \end{aligned} \right\} \text{para } f_1 < f < f_2$$



Condições suficientes para que um sistema LIT passa-faixa não seja distorcivo

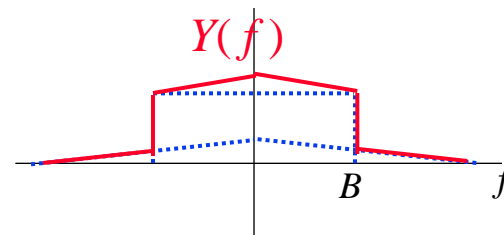
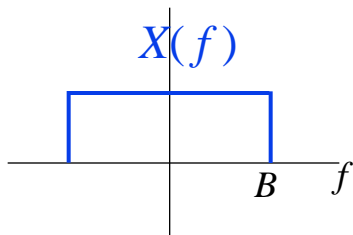
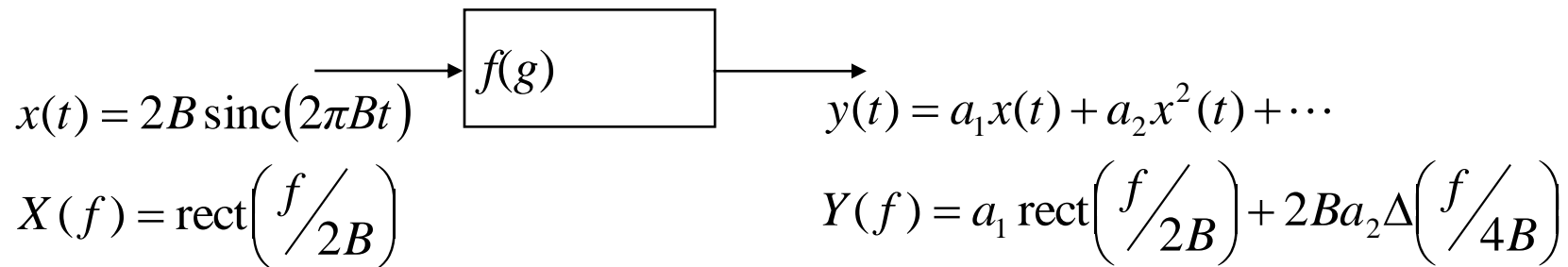


Distorção não Linear



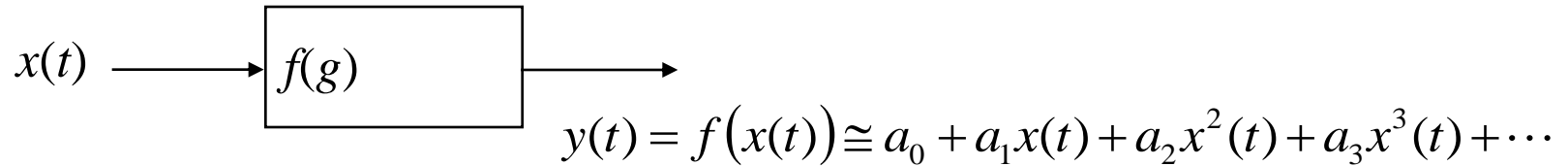
Ou por série de McLaurin: $y(t) = a_0 + a_1 g(t) + a_2 g^2(t) + \dots$

Exemplo:



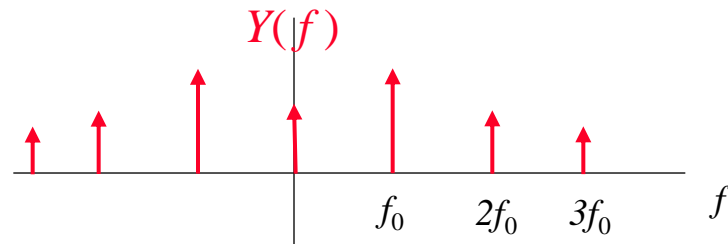
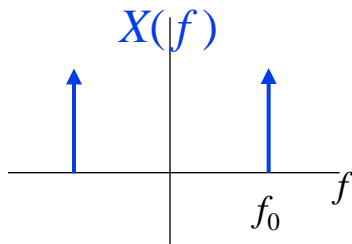
distorção não linear introduz espalhamento na frequência

Distorção não linear

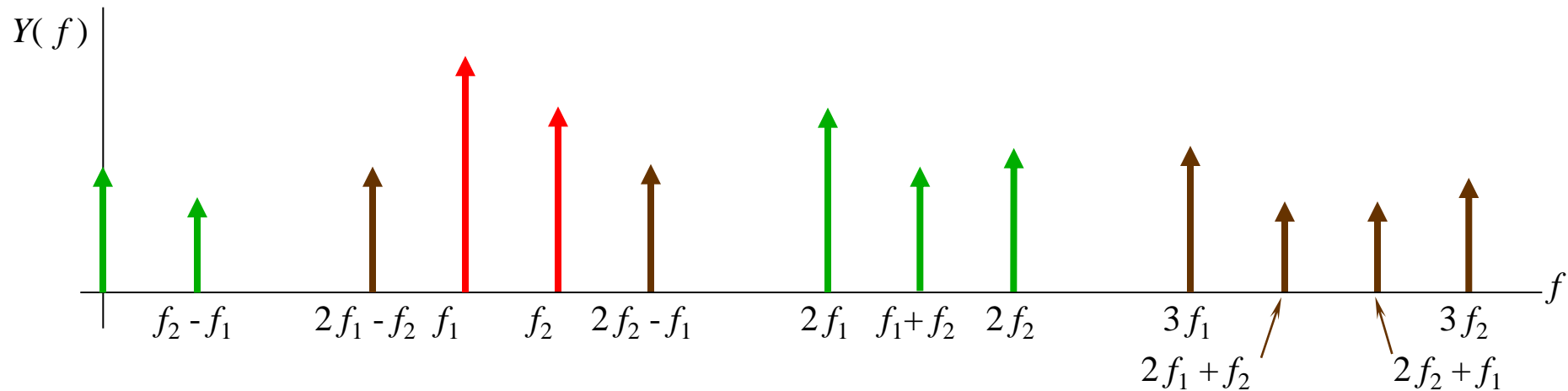
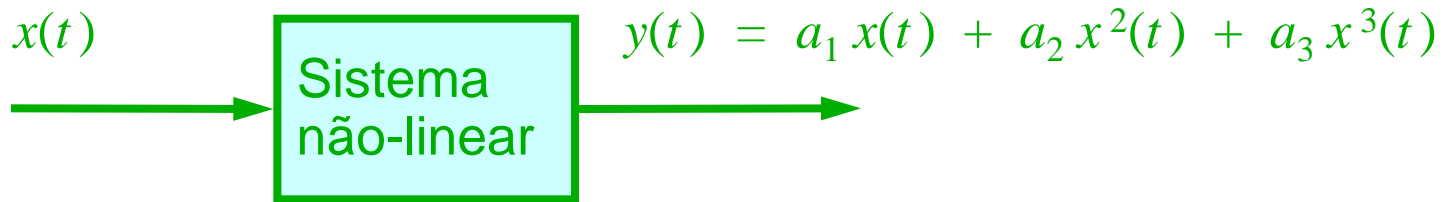


Se:

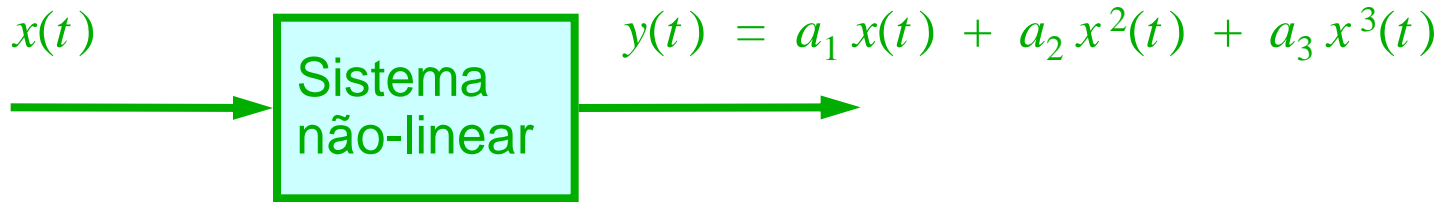
$$x(t) = \cos(2\pi f_0 t) \quad y(t) \cong a_0 + \frac{a_2}{2} + \left(a_1 + \frac{a_3}{4}\right) \cos(2\pi f_0 t) + \frac{a_2}{2} \cos(4\pi f_0 t) + \frac{3a_3}{4} \cos(6\pi f_0 t)$$



Distorção não linear - Intermodulação



Distorção não linear - Intermodulação



Componentes de frequência na saída do dispositivo	d.c.	
	f_1, f_2	fundamentais
	$2f_1, 2f_2$	2º harmônicos
	$f_1 + f_2, f_1 - f_2 $	Intermodulação de 2ª ordem
	$3f_1, 3f_2$	3º harmônicos
	$ 2f_1 - f_2 , 2f_2 - f_1 $	Intermodulação de 3ª ordem
	$2f_1 + f_2, 2f_2 + f_1$	Intermodulação de 3ª ordem

Amplificador não linear

