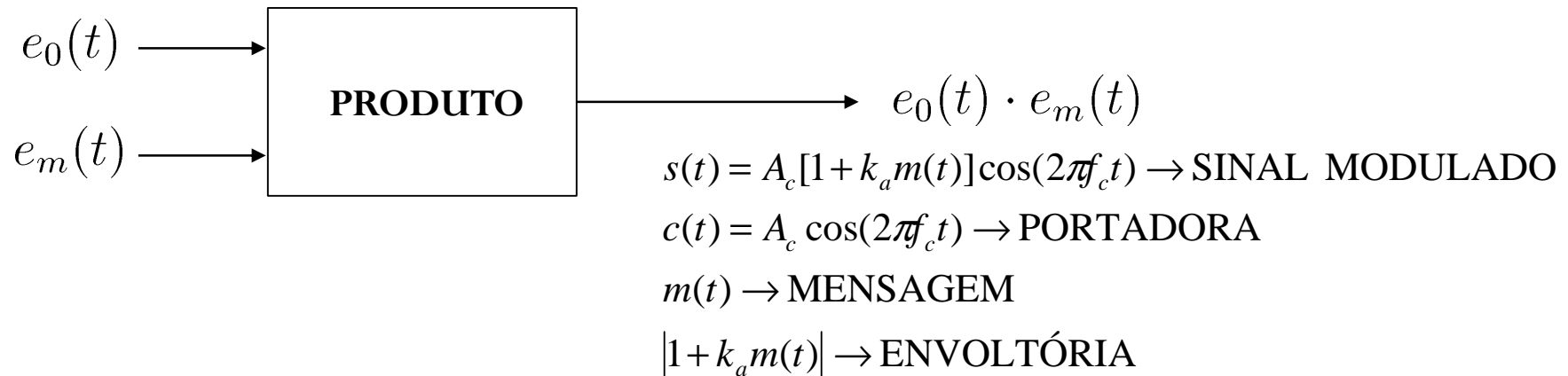


GERAÇÃO E DEMODULAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

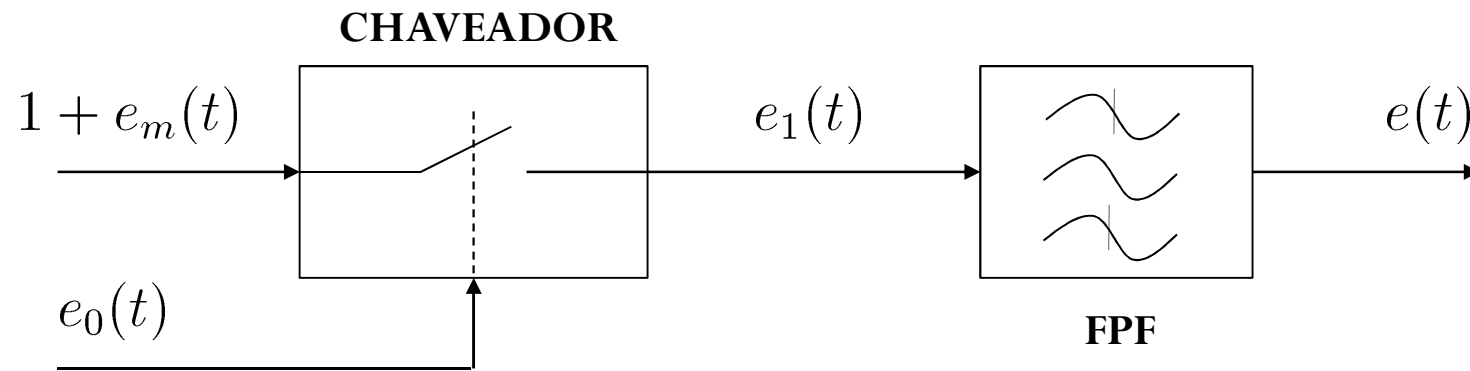
- OBJETIVO:
- Dados $e_0(t)$ e $e_m(t)$ provocar a multiplicação dos dois sinais:



- TIPOS DE CIRCUITOS MODULADORES:
 - 1 – Modulador por Chaveamento
 - 2 – Modulador usando Circuito Não Linear
 - 3 – Controle de Ganho
 - 4 – Multiplicação Direta

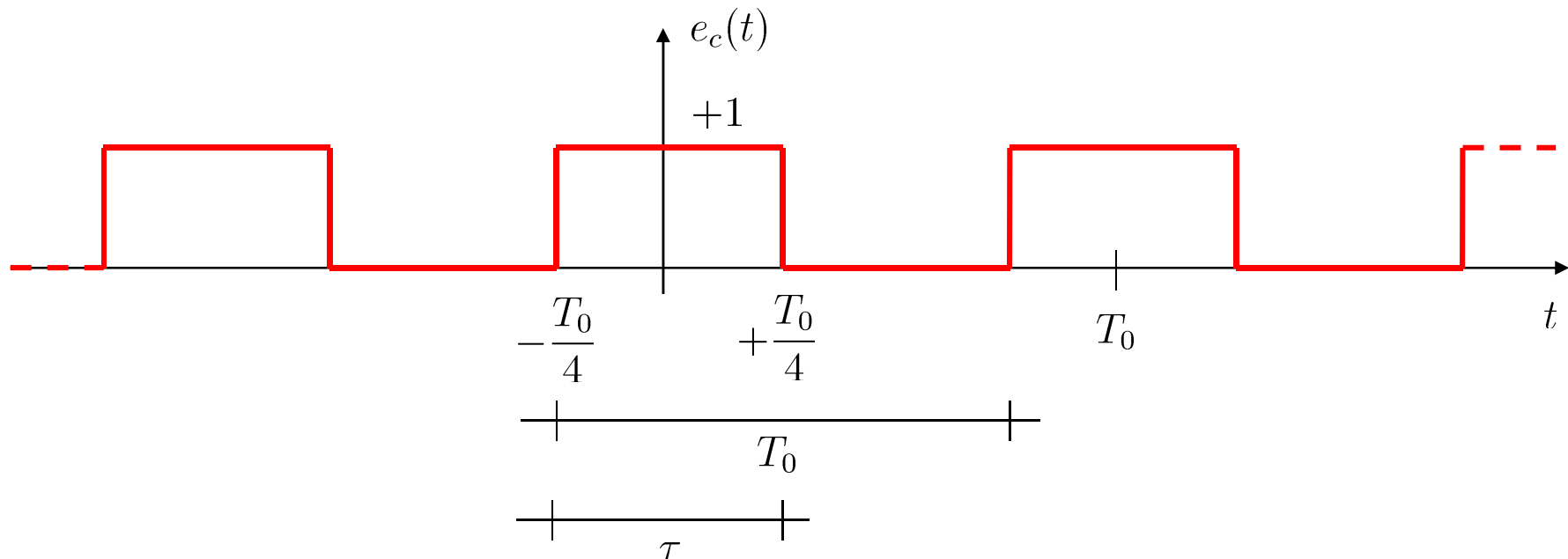
GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 1 – Modulador por Chaveamento



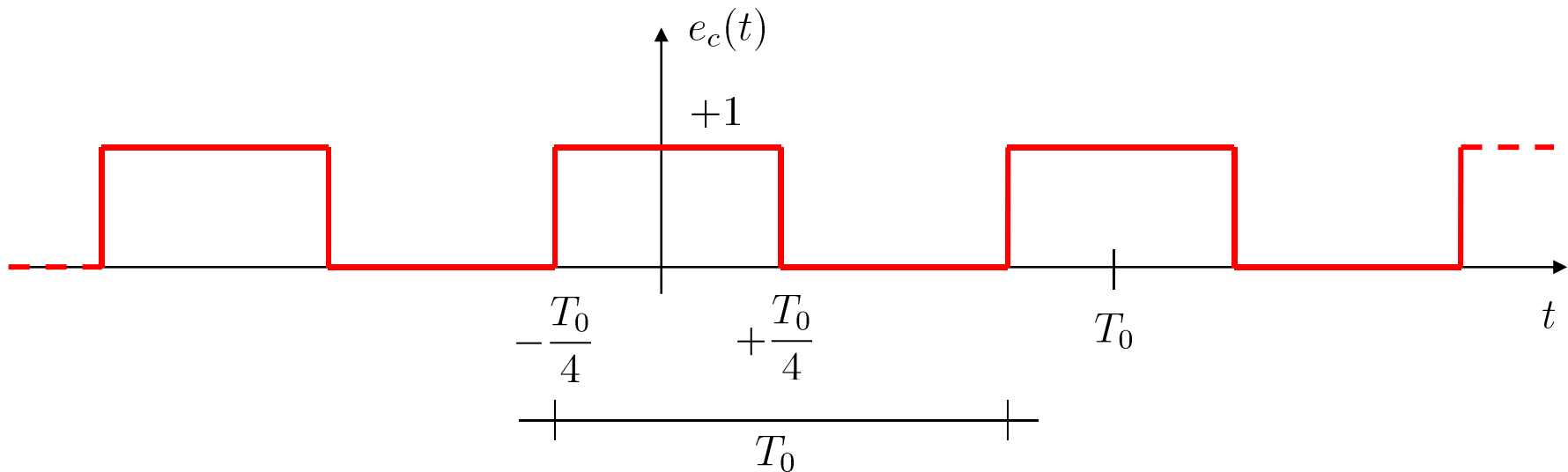
GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 1 – Modulador por Chaveamento
 - O circuito chaveador abre e fecha no período $T_0 = \frac{1}{F_0}$
 - Isso equivale a multiplicar o sinal por um trem de pulsos.



GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

1 – Modulador por Chaveamento



Representando $e_c(t)$ em série de Fourier, tem-se:

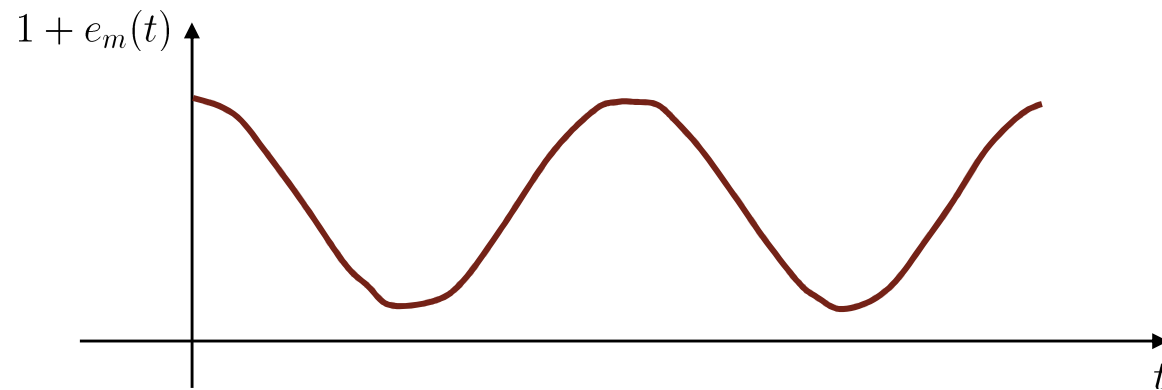
$$e_c(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cdot \cos [2\pi f_c t (2n-1)]$$

$$e_c(t) = c_0 + c_1 \cdot \cos(\omega_0 t) + c_2 \cdot \cos(3\omega_0 t) + c_3 \cdot \cos(5\omega_0 t) + \dots$$

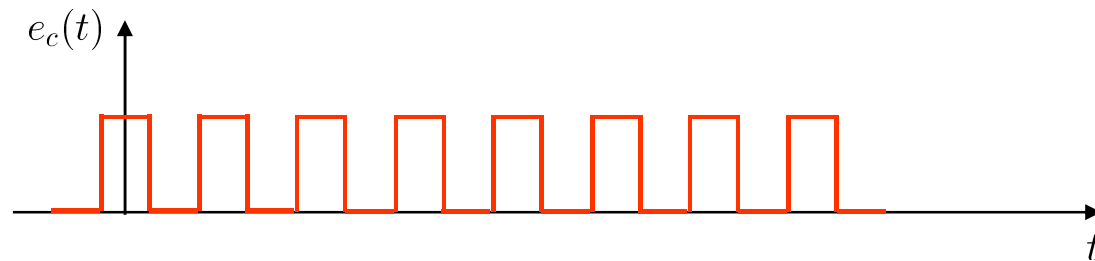
GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

1 – Modulador por Chaveamento

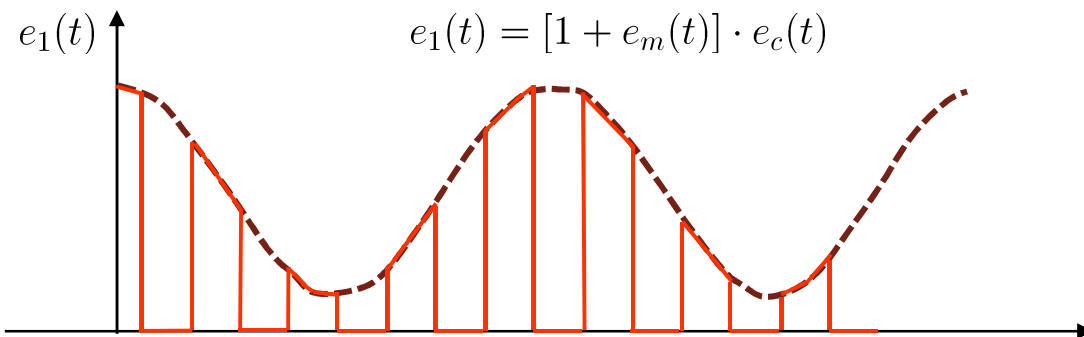
Forma de Onda
Analógica em Banda Base
(Sinal Modulante)



Forma de Onda
Periódica de Chaveamento



Sinal Modulante Chaveado



GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

1 – Modulador por Chaveamento

$$e_1(t) = [1 + e_m(t)] \cdot e_c(t)$$

$$e_c(t) = c_0 + c_1 \cdot \cos(\omega_0 t) + c_2 \cdot \cos(3\omega_0 t) + c_3 \cdot \cos(5\omega_0 t) + \dots$$

$$E_1(f) = \mathbb{F}\{e_1(t)\} =$$

$$\mathbb{F}\{[1 + e_m(t)] [c_0 + c_1 \cdot \cos(\omega_0 t) + c_2 \cdot \cos(3\omega_0 t) + c_3 \cdot \cos(5\omega_0 t) + \dots]\}$$

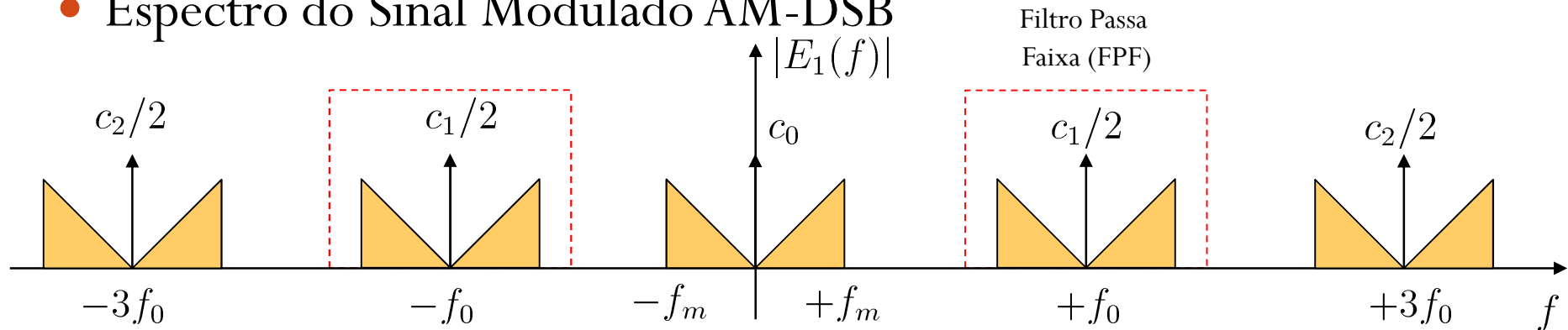
$$\begin{aligned} & \mathbb{F}\{c_0 + \boxed{c_1 \cos(\omega_0 t)} + \boxed{c_2 \cos(3\omega_0 t)} + c_3 \cos(5\omega_0 t) + \dots \\ & + c_0 e_m(t) + \boxed{c_1 \cos(\omega_0 t) e_m(t)} + \boxed{c_2 \cos(3\omega_0 t) e_m(t)} + c_3 \cos(5\omega_0 t) e_m(t) + \dots\} \end{aligned}$$

Modulação em ω_0

Modulação em $3 \omega_0$

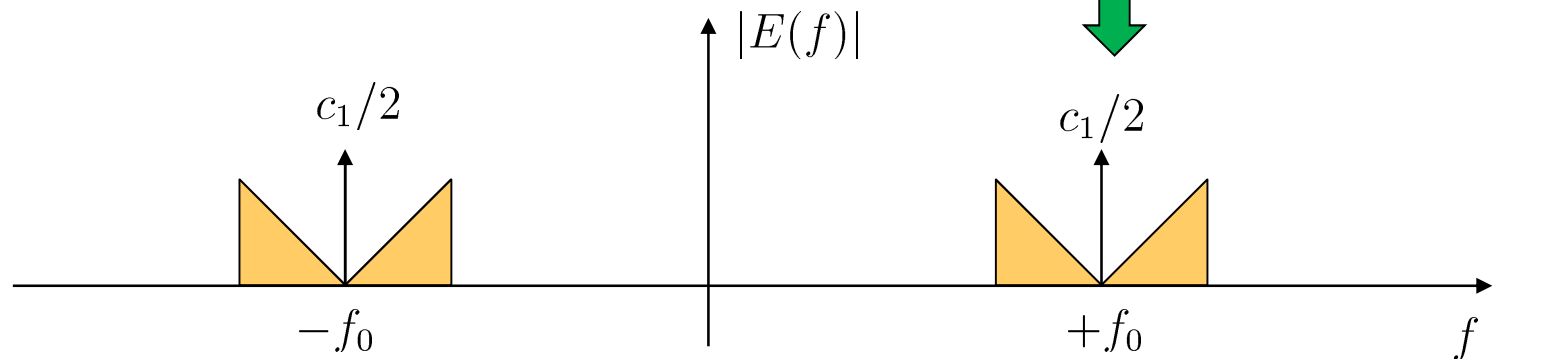
GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- Espectro do Sinal Modulado AM-DSB



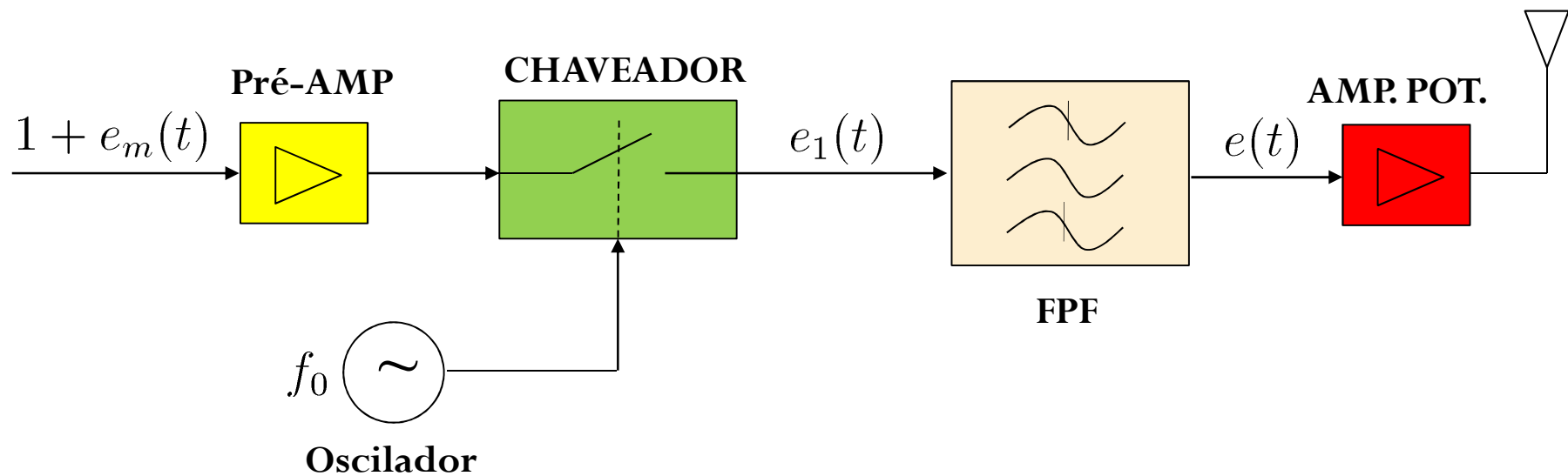
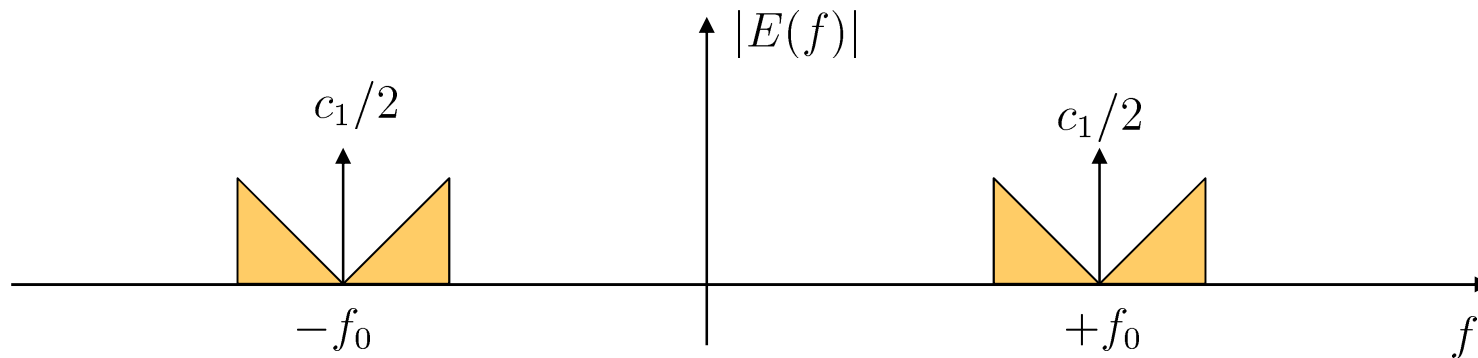
- O sinal que nos interessa é:

$$e(t) = [1 + m e_m(t)] \cdot \cos(\omega_0 t)$$



GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

Espectro do Sinal Modulado AM-DSB



GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 2 – Modulação por Elemento Quadrático
 - Este método utiliza o fato da multiplicação ocorrer em um elemento não linear:

$$[e_m(t) + e_o(t)]^2 = e_m^2(t) + e_o^2(t) + 2 e_m(t) e_o(t)$$

Multiplicação de $\cos(\omega_0 t)$
por $e_m(t)$ = Modulação

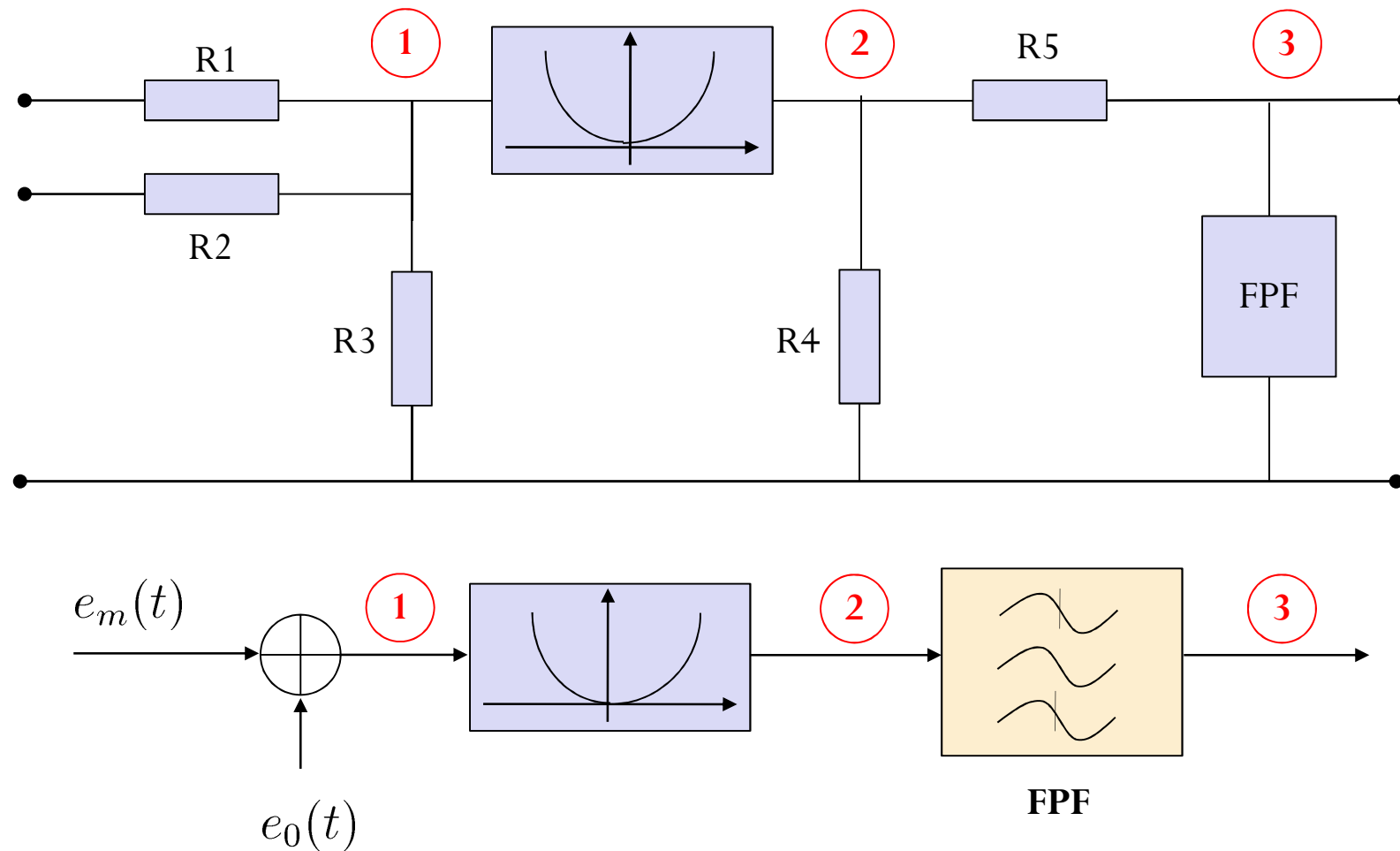
- A resposta não linear de componentes eletrônicos costuma ser uma exponencial que pode ser aproximada por uma série:

$$e^x = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

- Desta série consideramos apenas os primeiros elementos (quadrado/cúbico)

GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 2 – Modulação por Elemento Quadrático



GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 2 – Modulação por Elemento Quadrático
 - Exemplo:

$$e_2(t) = a_1 e_1(t) + a_2 [e_1(t)^2]$$

Resposta do Elemento
Não Linear

$a_1, a_2 \longrightarrow$ constantes

$$e_0(t) = E_0 \cdot \cos(\omega_0 t) \quad \omega_0 \gg \omega_m$$

$$e_m(t) = E_m \cdot \cos(\omega_m t)$$

$$e_1(t) = e_0(t) + e_m(t)$$

GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 2 – Modulação por Elemento Quadrático
 - Exemplo:

$$e_2(t) = a_1 [e_0(t) + e_m(t)] + a_2 [e_0(t) + e_m(t)]^2$$

$$e_2(t) = a_1 e_0(t) + a_1 e_m(t) + a_2 e_0(t)^2 + a_2 e_m(t)^2 + 2 a_2 e_0(t) e_m(t)$$

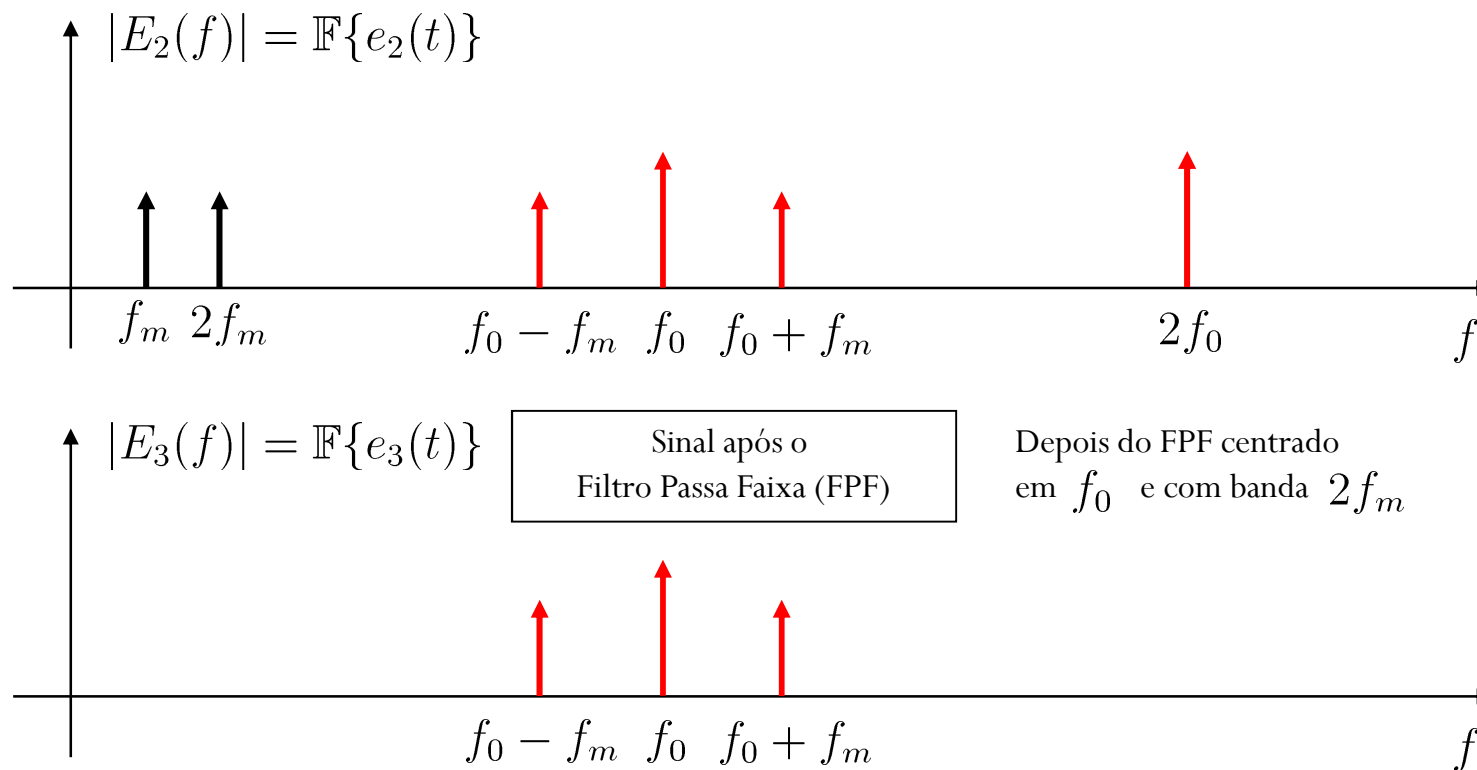
$$\text{Sinal Desejado} \longrightarrow k_1 e_0(t) + k_2 e_0(t) e_m(t)$$

$$e_2(t) = \boxed{a_1 e_0(t) + 2 a_2 e_0(t) e_m(t)} + a_1 e_m(t) + a_2 e_0(t)^2 + a_2 e_m(t)^2$$

$$E_2(f) = \mathbb{F}\{e_2(t)\}$$

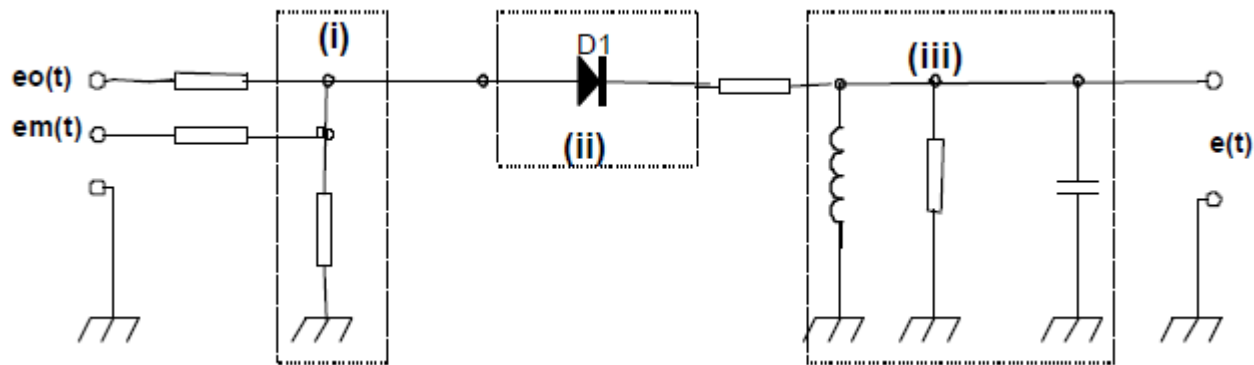
GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 2 – Modulação por Elemento Quadrático
- Espectro de $e_2(t)$:



GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

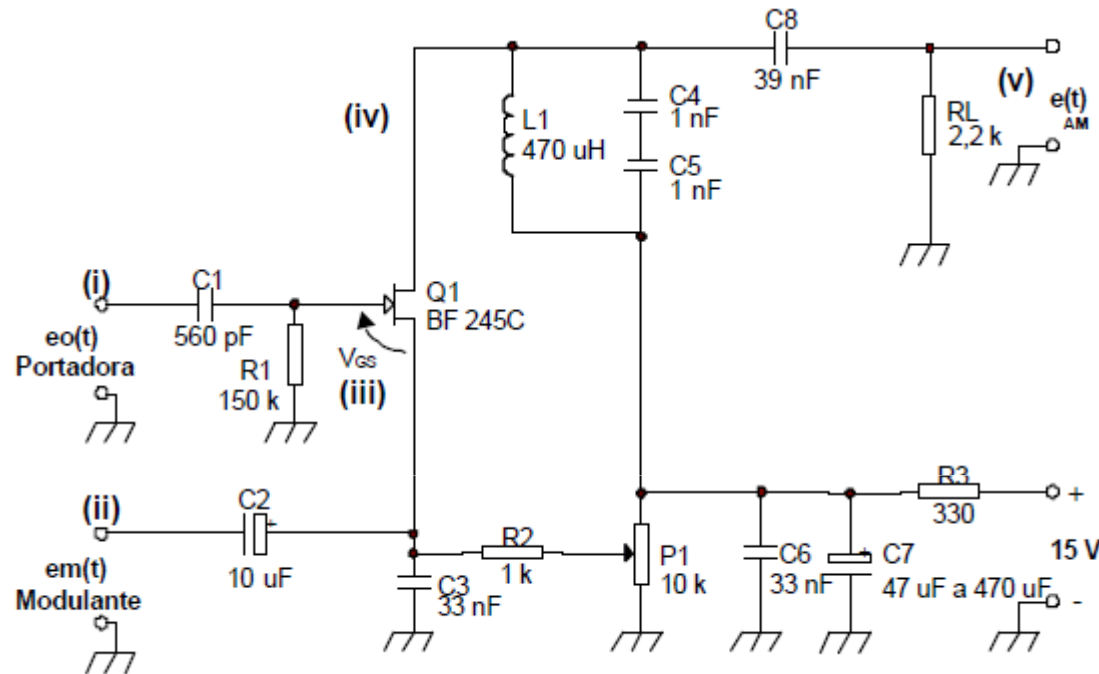
- 2 – Modulação por Elemento Quadrático



- $e_m(t)$ e $e_o(t)$ se somam em (i)
- o resultado da soma passa por um dispositivo não linear (que implementa a lei quadrática) (ii)
- antes de ir para a saída do circuito o sinal passa por um FPF (iii)

GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

2 – Modulação por Elemento Quadrático



- $e_m(t)$ e $e_o(t)$ se somam em (iii), na tensão V_{GS}
- o resultado da soma, tensão V_{GS} , gerará, pelo efeito do transistor (dispositivo não-linear), uma corrente de dreno em (iv)
- a corrente de dreno tem uma característica quadrática expressa por:

$$I_D = I_{dss} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$

onde:

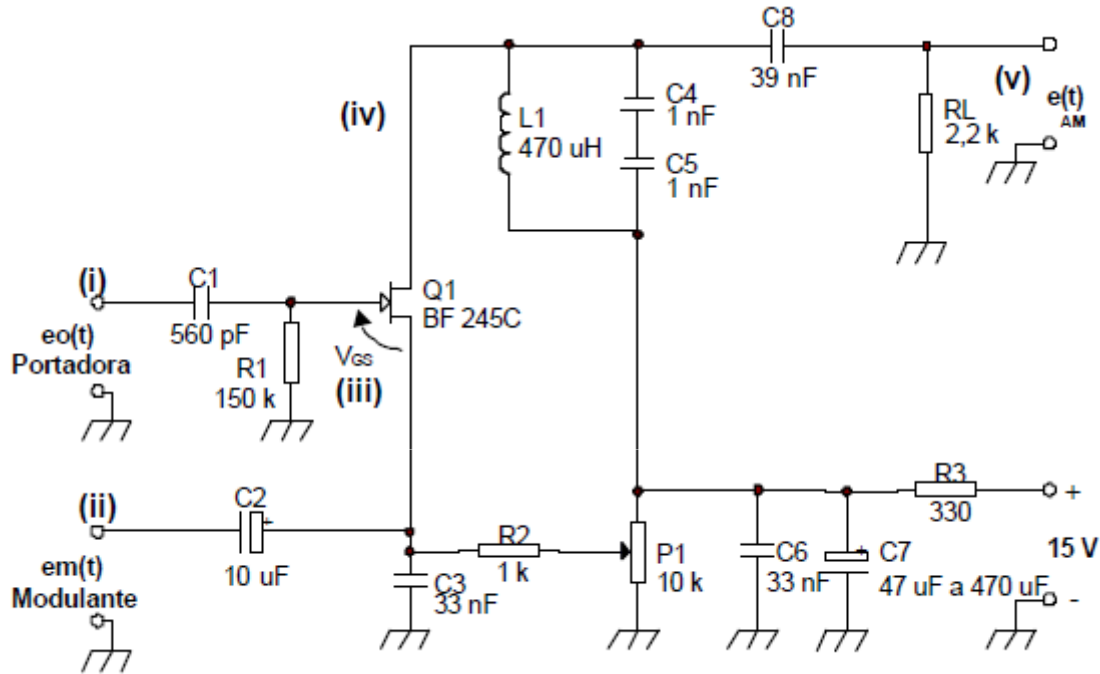
I_d = corrente no dreno

I_{dss} = corrente para dreno com $V_{GS}=0$

V_p = tensão V_{GS} para $I_D=0$

GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

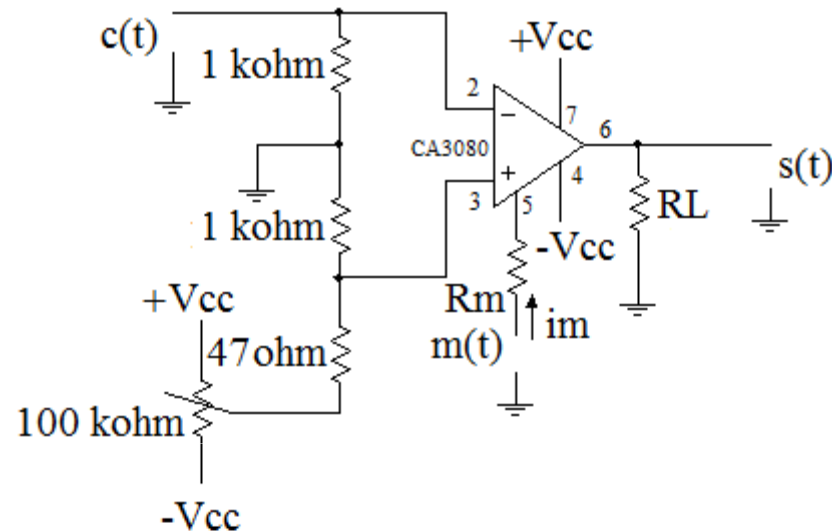
- 2 – Modulação por Elemento Quadrático



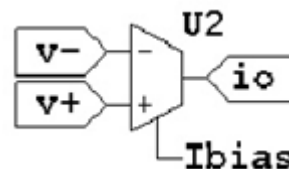
- Na corrente de dreno são encontradas as componentes da modulação AM-DSB. Além das componentes do AM-DSB existem outras componentes que são eliminadas pelo filtro passa-faixa (v) antes de deixar o circuito como sinal modulado AM-DSB.

GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 3 - Modulação por Variação de Ganho



- O CA 3080 é um Amplificador operacional de transcondutância.
- Como o próprio nome sugere este amplificador transforma a diferença entre as tensões de entrada em uma corrente de saída.
- Possui uma entrada capaz de ajustar o ganho do amplificador
- $i_o = g_m(v^+ - v^-)$ $g_m = k \cdot i_m$



GERAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- 3 - Modulação por Variação de Ganho

$$Z_o = R_L \quad V_o = V_i g_m R_L \quad g_m = 20i_m$$

$$i_m = \frac{(A_m + V_{CC} - 0,6)}{R_m}$$

- Projetar um Modulador AM-DSB, com as seguintes características:

$f_c = 250 \text{ K Hz}$, $f_m = 5 \text{ K Hz}$, $A_m = 1 \text{ V}$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $v_i = 50 \text{ m V}$,

$v_o = 1 \text{ V}$, $Z_o = 10 \text{ K ohm}$

DEMODULAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

- A Demodulação é o processo de recuperação do sinal modulante, a partir do sinal modulado, e é feita transladando-se o sinal modulante $e_m(t)$ para a posição em torno do zero hertz (banda base).
- Matematicamente isto é feito multiplicando-se o sinal AM-DSB por $\cos(\omega_0 t)$, que é o sinal de portadora.

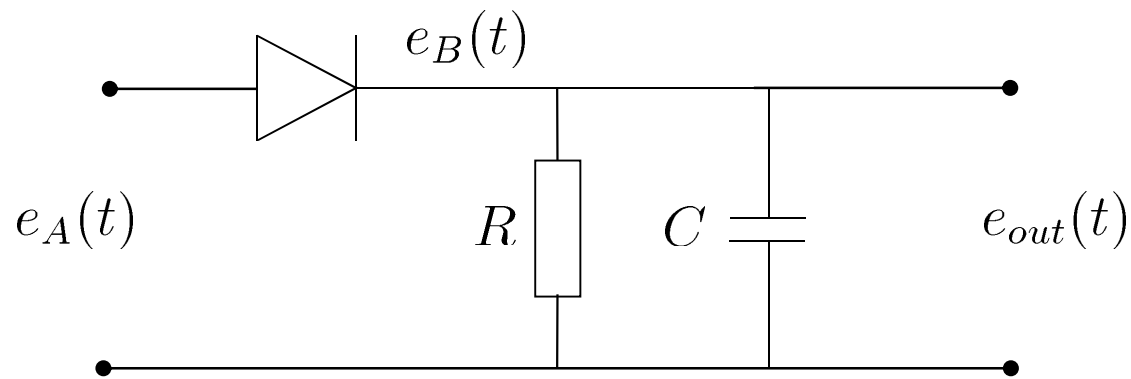
$$\cos(\omega_0 t) \cdot \cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2\omega_0 t) = \frac{1}{2} [1 + \cos(2\omega_0 t)]$$

↑
Termo que elimina a
portadora transladando
para 0 Hz

↑
Translação para $2\omega_0$

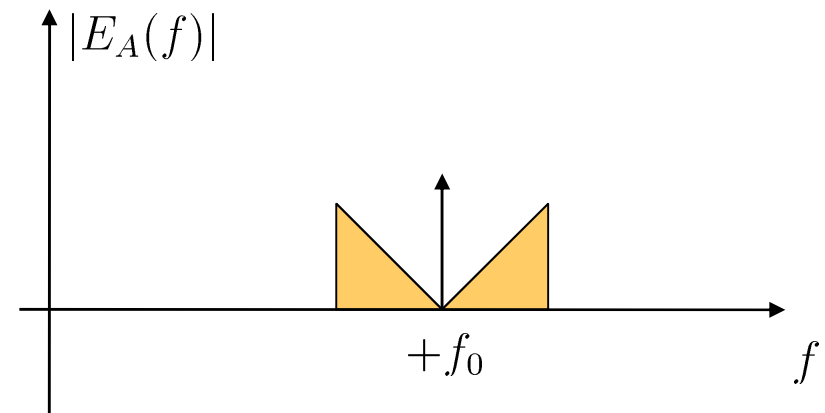
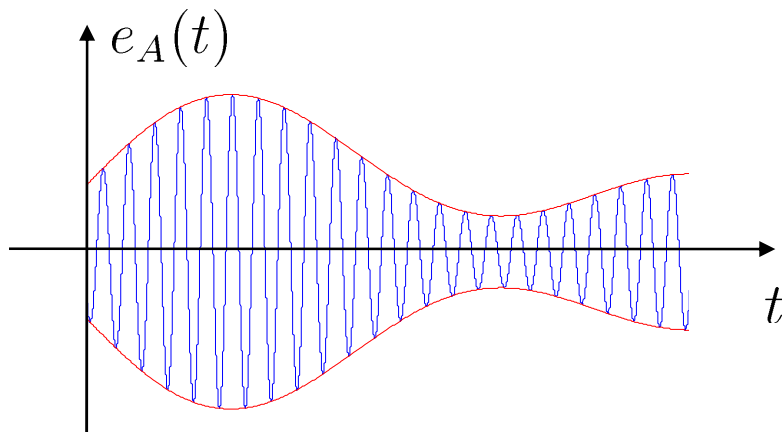
DEMODULAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

DETETOR DE ENVOLTÓRIA



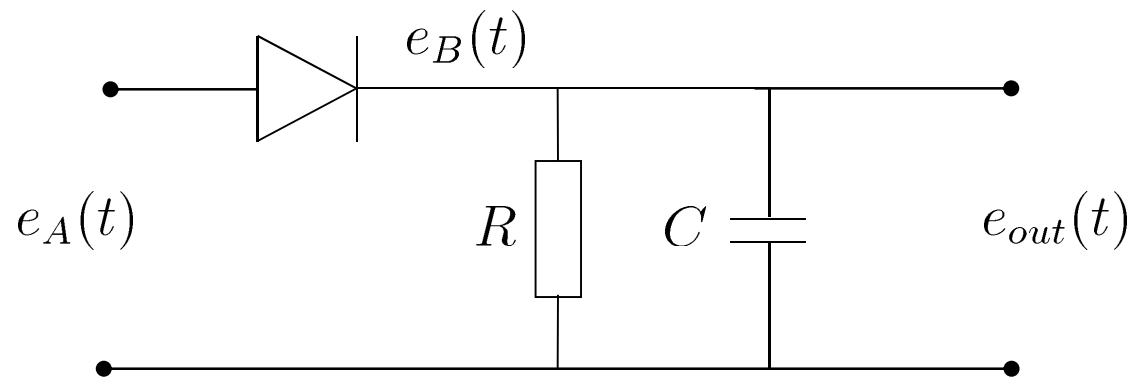
$$e_A(t) = E_0 [1 + m \cdot e_m(t)] \cos(\omega_0 t)$$

$$E_A(f) = \mathbb{F}\{e_A(t)\}$$

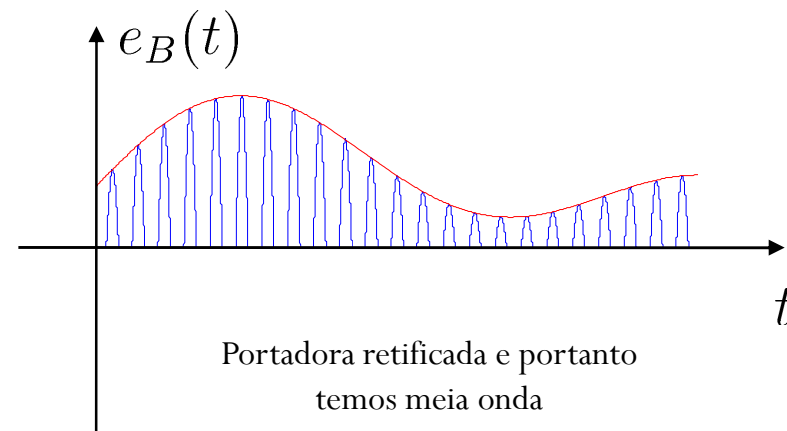
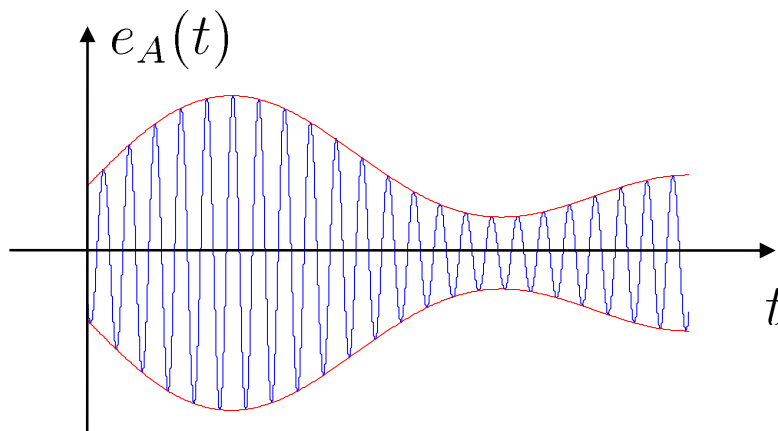


DEMODULAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

DETETOR DE ENVOLTÓRIA



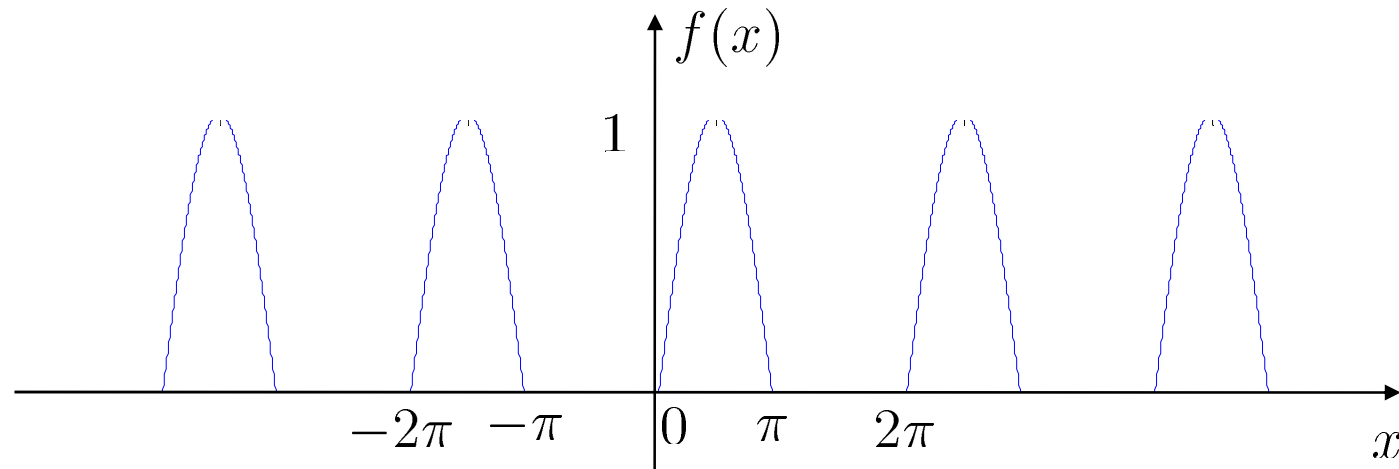
Passando pelo diodo, fica apenas a parte superior da onda:



DEMODULAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

DETETOR DE ENVOLTÓRIA

A série de Fourier para meia onda é dada por:



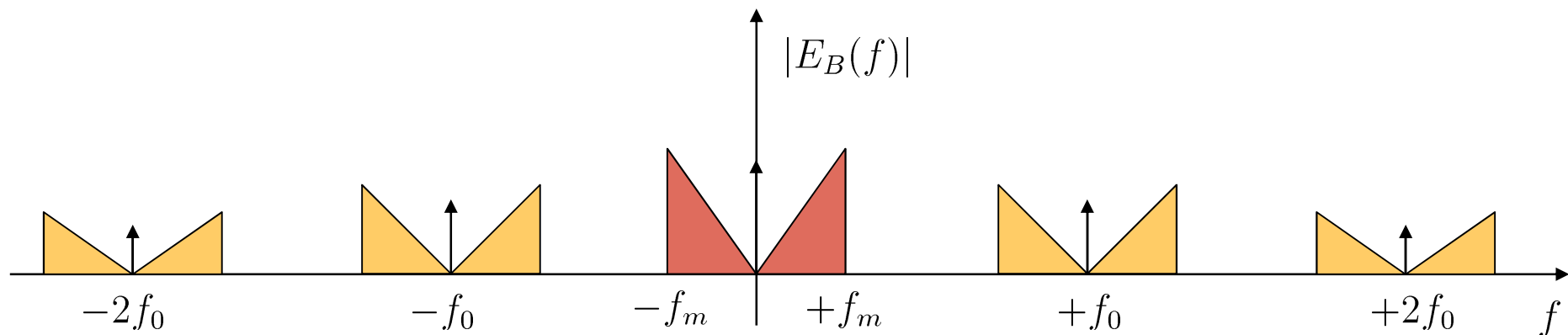
$$f(x) = \frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin(x) - \frac{2}{\pi} \left(\frac{\cos(2x)}{1 \cdot 3} + \frac{\cos(4x)}{3 \cdot 5} + \frac{\cos(6x)}{5 \cdot 7} + \dots \right)$$

$$e_B(t) = [1 + m \cdot e_m(t)] \cdot e_{MO}(t)$$

DEMODULAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

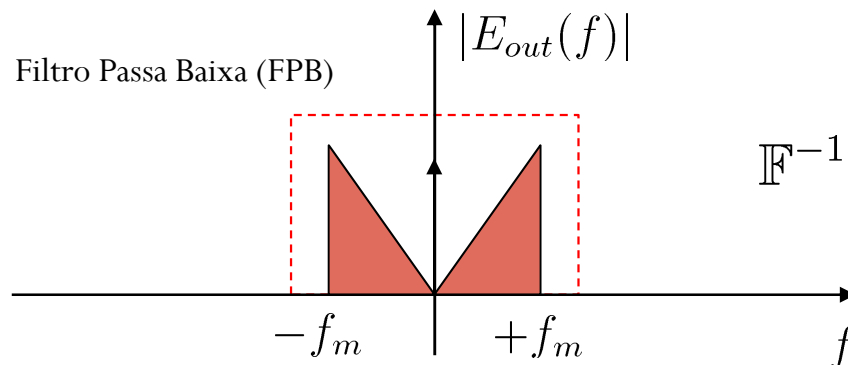
DETETOR DE ENVOLTÓRIA

Calculando $E_B(f) = \mathbb{F}\{e_B(t)\}$ temos:



Podemos verificar que o sinal original $e_m(t)$ está presente em $e_B(t)$.

Passando pelo filtro passa baixa (FPB) podemos recuperar a informação original.



$$\mathbb{F}^{-1}\{E_{out}(f)\} = e_{out}(t) = 1 + m e_m(t)$$

Sinal Recuperado

DEMODULAÇÃO DE SINAIS AM-DSB

DISPOSITIVO NÃO-LINEAR

$$v_2(t) = a_1 v_1(t) + a_2 [v_1(t)^2]$$

$a_1, a_2 \longrightarrow$ constantes

Resposta do Elemento
Não Linear

$$v_1(t) = E_0 [1 + m e_m(t)] \cos(2\pi f_0 t)$$

$$v_2(t) = a_1 E_0 [1 + m e_m(t)] \cos(2\pi f_0 t) +$$

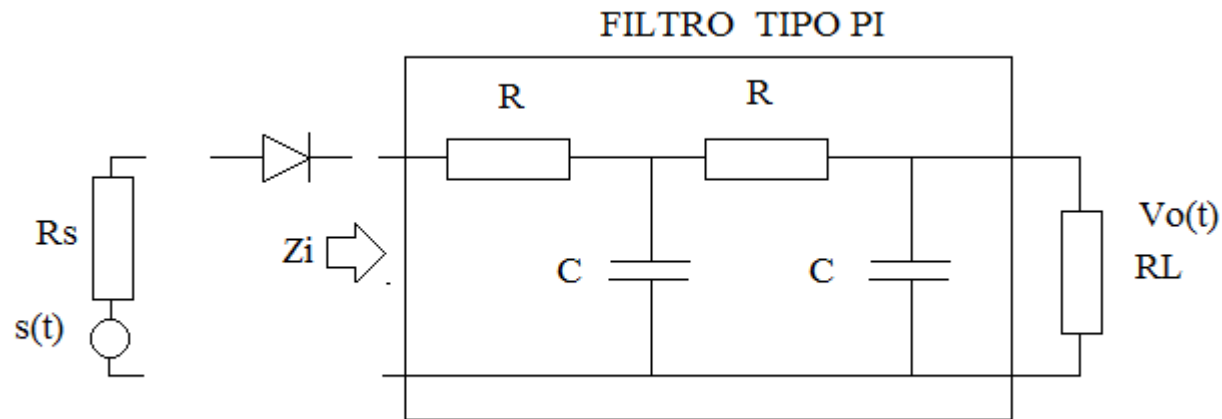
$$\frac{1}{2} a_2 E_0^2 [1 + 2 m e_m(t) + m^2 e_m^2(t)] \cdot [1 + \cos(4\pi f_0 t)]$$

$$a_2 E_0^2 m e_m(t) \rightarrow \text{Sinal Desejado}$$

$$\frac{1}{2} a_2 E_0^2 m^2 e_m^2(t) \rightarrow \text{Sinal Indesejado}$$

$$\frac{2}{m e_m(t)} = \frac{\text{Razão entre Sinal Desejado e Indesejado}}$$

DEMODULAÇÃO DE SINAIS AM-DSB



$$10K \leq R_L \leq 47K$$

$$Z_i = 2,4R \quad \text{se} \quad \frac{R}{R_L} = 0,1$$

$$f_{CORTE} = \frac{1}{6\pi[1 + \frac{R_s}{R}]RC}$$