

Amplificador de Potência

SEL 369 Micro-ondas/SEL5900 Circuitos de Alta Frequência

Amílcar Careli César
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da
EESC-USP

Atenção!

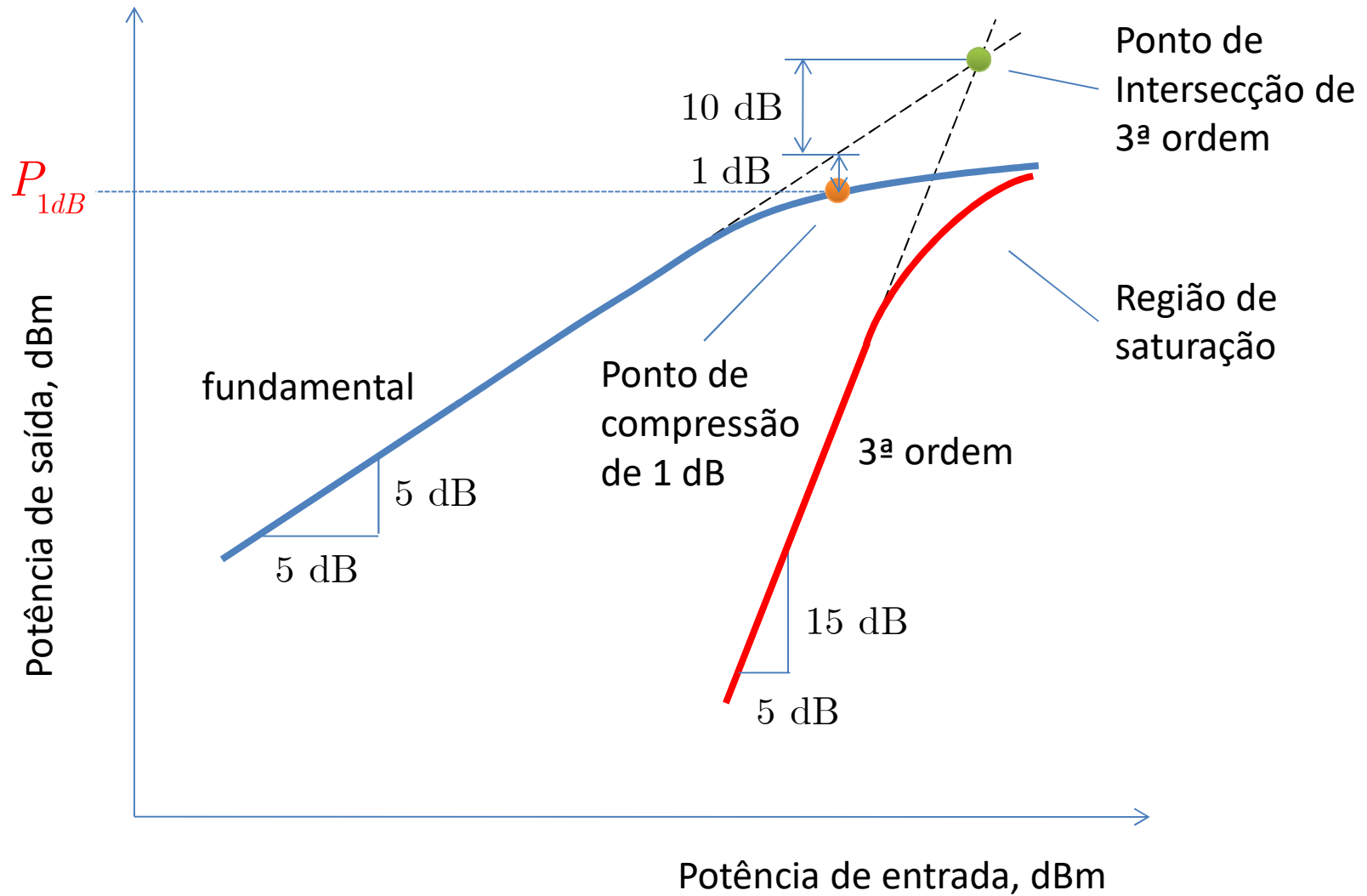


- ✓ Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de [SEL-369 Micro-ondas](#), oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia elétrica/eletrônica e [SEL-5900 Circuitos de Alta Frequência](#), oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de pós-graduação em engenharia elétrica.
- ✓ Não são permitidas a reprodução e/ou comercialização do material.
- ✓ solicitar autorização ao docente para qualquer tipo de uso distinto daquele para o qual foi planejado.

Amplificador de potência

- ✓ Parâmetros S de baixo sinal não são adequados para projeto de amplificador de potência
- ✓ Parâmetros S de sinal elevado não são bem definidos e são difíceis de serem medidos
- ✓ Informações para projetos de amplificadores de potência
 - Potência de saída e ganho no ponto de compressão de 1 dB
 - Coeficientes de reflexão e carga em função da potência

Pontos de compressão e intersecção de 3ª ordem



Ponto de compressão de 1 dB (1)

Ganho de potência para qual as não-linearidades reduzem o ganho em 1 dB em relação ao ganho linear (potências baixas)

$$G_{1dB} (dB) = G_0 (dB) - 1 (dB)$$

G_0 : ganho de potência para sinais baixos

Ponto de compressão de 1 dB (2)

Ganho de potência

$$G_p = \frac{P_s}{P_e} = \frac{P_s / P_{ref}}{P_e / P_{ref}} ; P_{ref} = 1 \text{ dBm}$$

$$10 \log(G_p) = 10 \log(P_s / P_{ref}) - 10 \log(P_e / P_{ref})$$

$$G_p \text{ (dB)} = P_s \text{ (dBm)} - P_e \text{ (dBm)}$$

$$P_s \text{ (dBm)} = P_e \text{ (dBm)} + G_p \text{ (dB)}$$

Ponto de compressão de 1 dB (3)

No ponto de compressão de 1 dB

$$P_{1dB} (dBm) = P_e (dBm) + G_{1dB} (dB)$$

$$P_{1dB} (dBm) - P_e (dBm) = G_{1dB} (dB)$$

Mas, $G_{1dB} (dB) = G_0 (dB) - 1 (dB)$

$$P_{1dB} (dBm) - P_e (dBm) = G_0 (dB) - 1 (dB)$$

Faixa dinâmica (DR) - 1

O ganho é linear entre
o ponto de compressão de 1 dB
e a mínima potência de sinal detetável
($P_{o,MDS}$)

Na entrada, a potência de sinal
correspondente a $P_{o,MDS}$ é $P_{i,MDS}$

A limitação é o ruído

Faixa dinâmica (DR) - 2

$$P_{No} = kTBG_A F \text{ W}$$

F : figura de ruído

$$kT = -174 \text{ dBm em } T = 290 \text{ K}$$

Supondo que o mínimo sinal está

X dB acima do ruído térmico

$$P_{i,MDS} = -174(\text{dBm}) + 10 \log(B) + F(\text{dB}) + X(\text{dB})$$

$X = 3$ dB é valor típico

$$P_{o,MDS} = P_{i,MDS} + G_A(\text{dB})$$

Distorção de sinal-1

causada por produtos de intermodulação

$$v_e(t) = A \cos(2\pi f_1 t) + A \cos(2\pi f_2 t)$$

sinal na entrada de amplificador

operando na região não-linear

$$v_o(t) = \alpha_1 v_e(t) + \alpha_2 v_e^2(t) + \alpha_3 v_e^3(t) + \dots$$

Distorção de sinal-2

$$v_o(t) = \alpha_1 v_e(t) + \alpha_2 v_e^2(t) + \alpha_3 v_e^3(t) + \dots$$

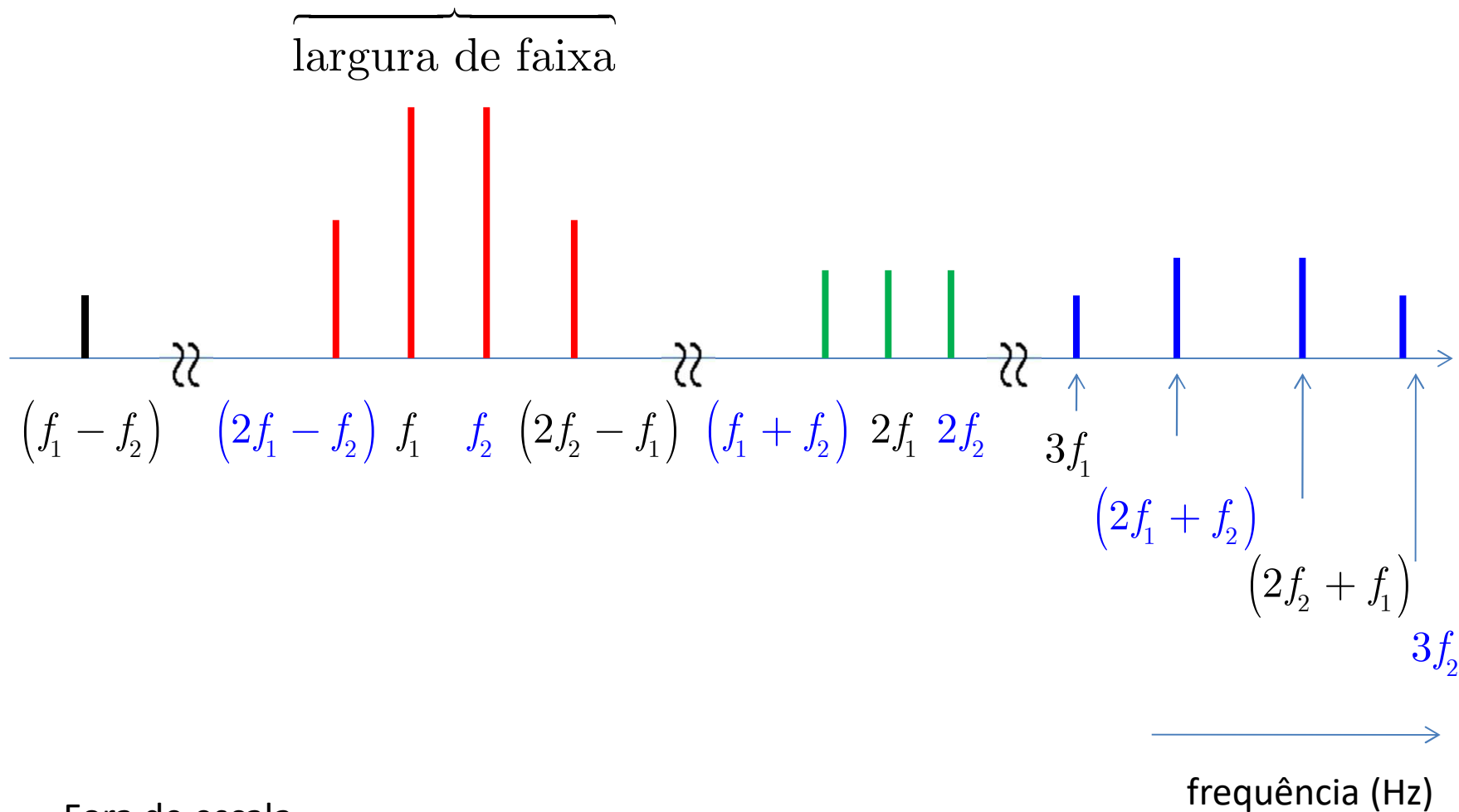
produtos de intermodulação

$$CC, f_1, f_2, 2f_1, 2f_2, 2f_1 \pm f_2 \dots$$

$$\pm m f_1 \pm n f_2 : 2^{\text{a}} \text{ ordem } (m = n = 1)$$

$$\pm m f_1 \pm n f_2 : 3^{\text{a}} \text{ ordem } (m = 2, n = 1)$$

Distorção de sinal-3



Ponto de intersecção de 3ª ordem

~ 10 dB acima do
ponto de compressão de 1 dB

$$P_{IP} (dBm) = P_{1dB} (dBm) + 10 (dB)$$

Faixa dinâmica

faixa dinâmica (DR)

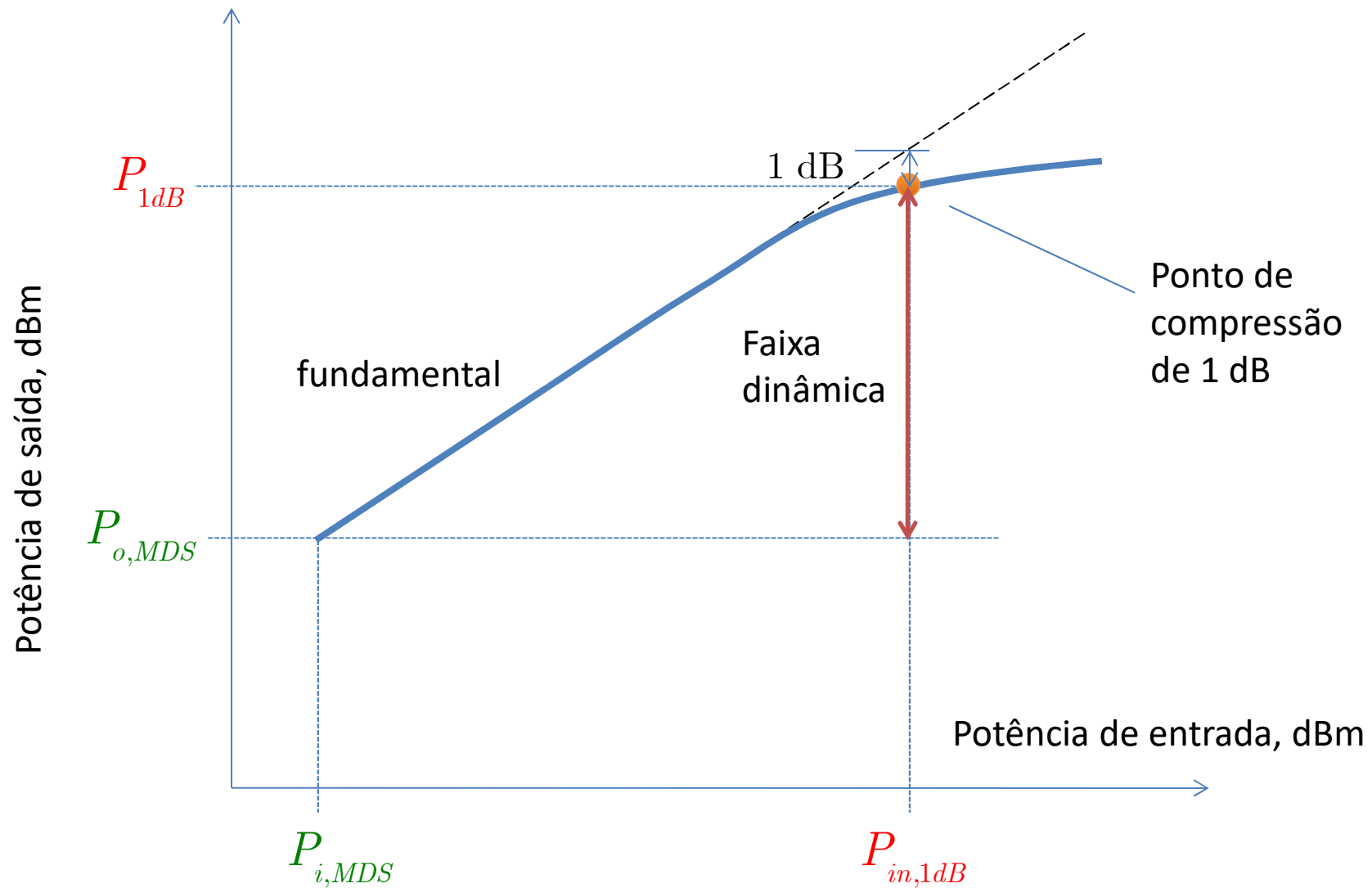
$$DR = P_{1dB} - P_{o,MDS}$$

faixa dinâmica livre de espúrios

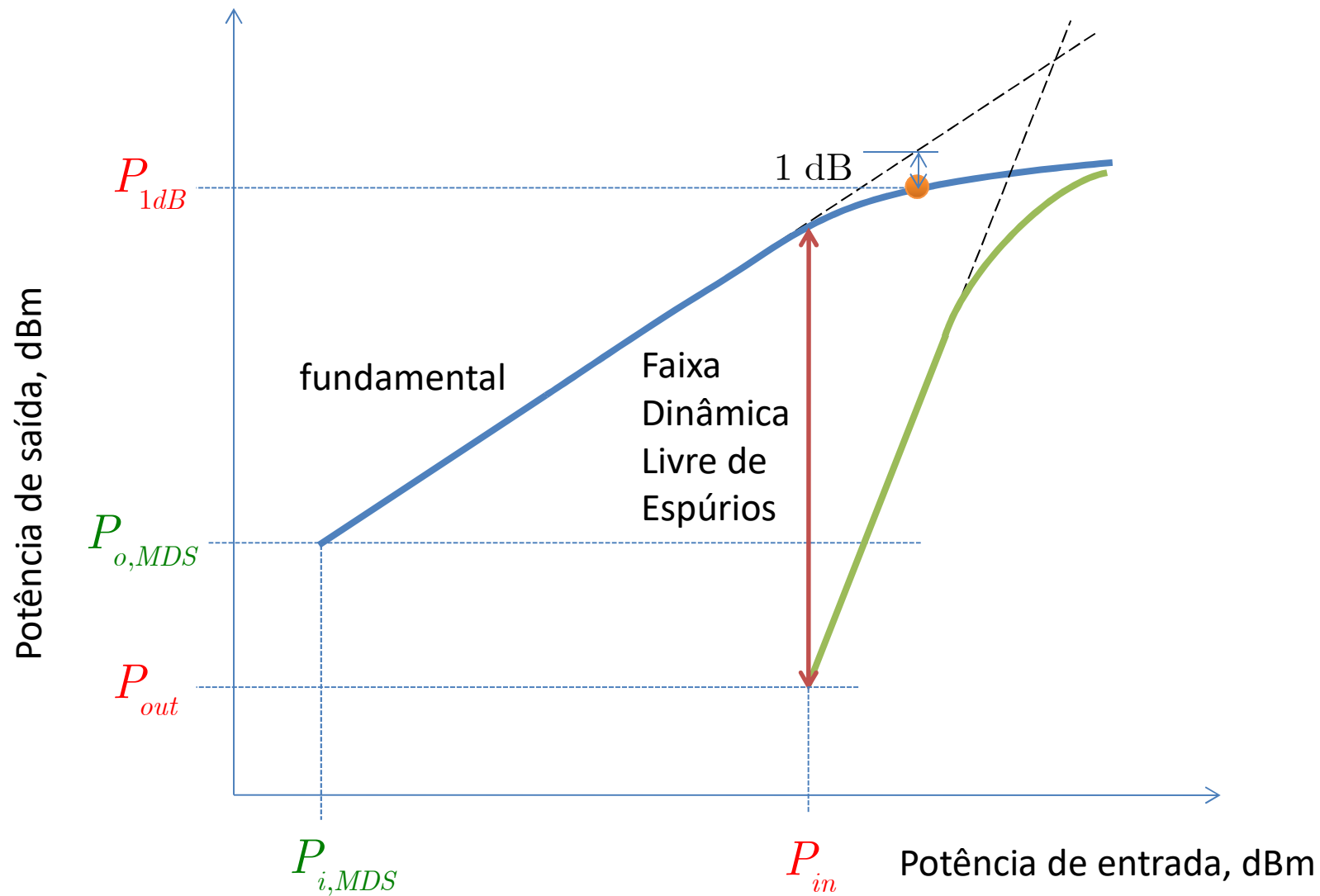
$$DRf = \frac{2}{3} (P_{IP} - P_{o,MDS})$$

$$DRf = \frac{2}{3} [P_{IP} + 174 (dBm) - 10 \log(B) (dB) - F (dB) - X (dB) - G_A (dB)]$$

Faixa dinâmica (DR)



Faixa dinâmica livre de espúrios (DRf)



Potência de saída constante vs. Impedância de carga

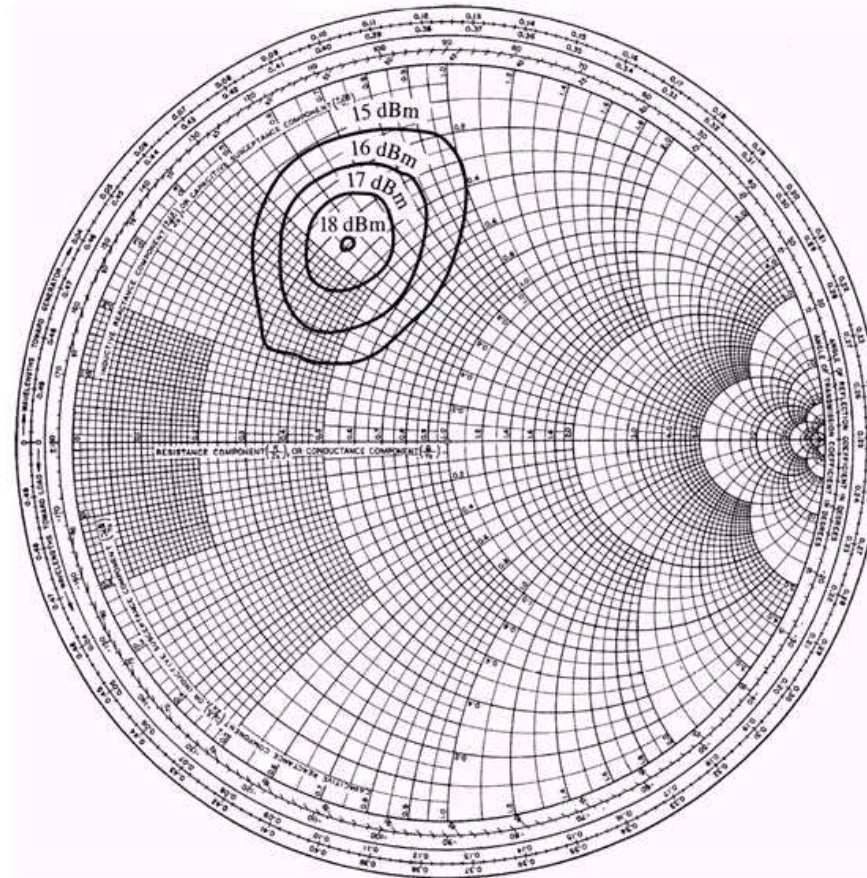


Figure 11-16 (p. 572)

Constant output power contours versus load impedance for a typical power FET.

Microwave Engineering, 3rd Edition by David M. Pozar
Copyright © 2004 John Wiley & Sons

Exemplo 4.7.2, G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers, 1984, p. 185,

PROJETO DE AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA

Enunciado

projetar um amplificador de potência em 2 GHz utilizando um BJT.

Os parâmetros S do transistor e as características de potência são

$$S_{11} = 0,64 \angle 153^\circ$$

$$S_{21} = 2,32 \angle 10^\circ$$

$$S_{12} = 0,07 \angle -8^\circ$$

$$S_{22} = 0,51 \angle -119^\circ$$

$$P_{1dB} = 29 \text{ dBm}$$

$$G_{1dB} = 11,5 \text{ dB}$$

Ref.: livro do Gonzalez, 1ª edição, p. 184

Contornos de potência de saída

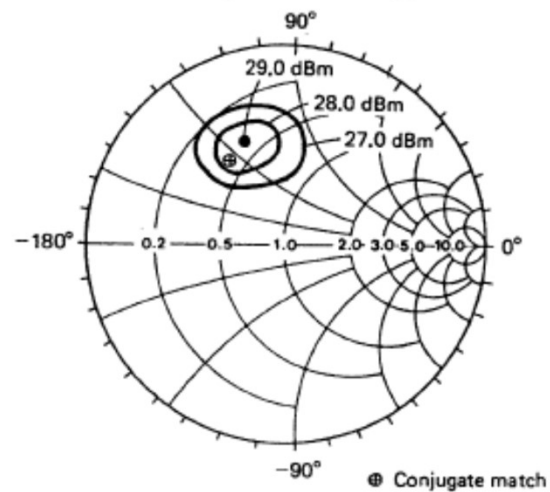


Figure 4.7.11 Output power contours at 2 GHz, $V_{CE} = 18$ V, and $I_C = 110$ mA. (From Ref. [4.12]; courtesy of Hewlett-Packard.)

G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers, p. 183, 1984

Rede de casamento de saída

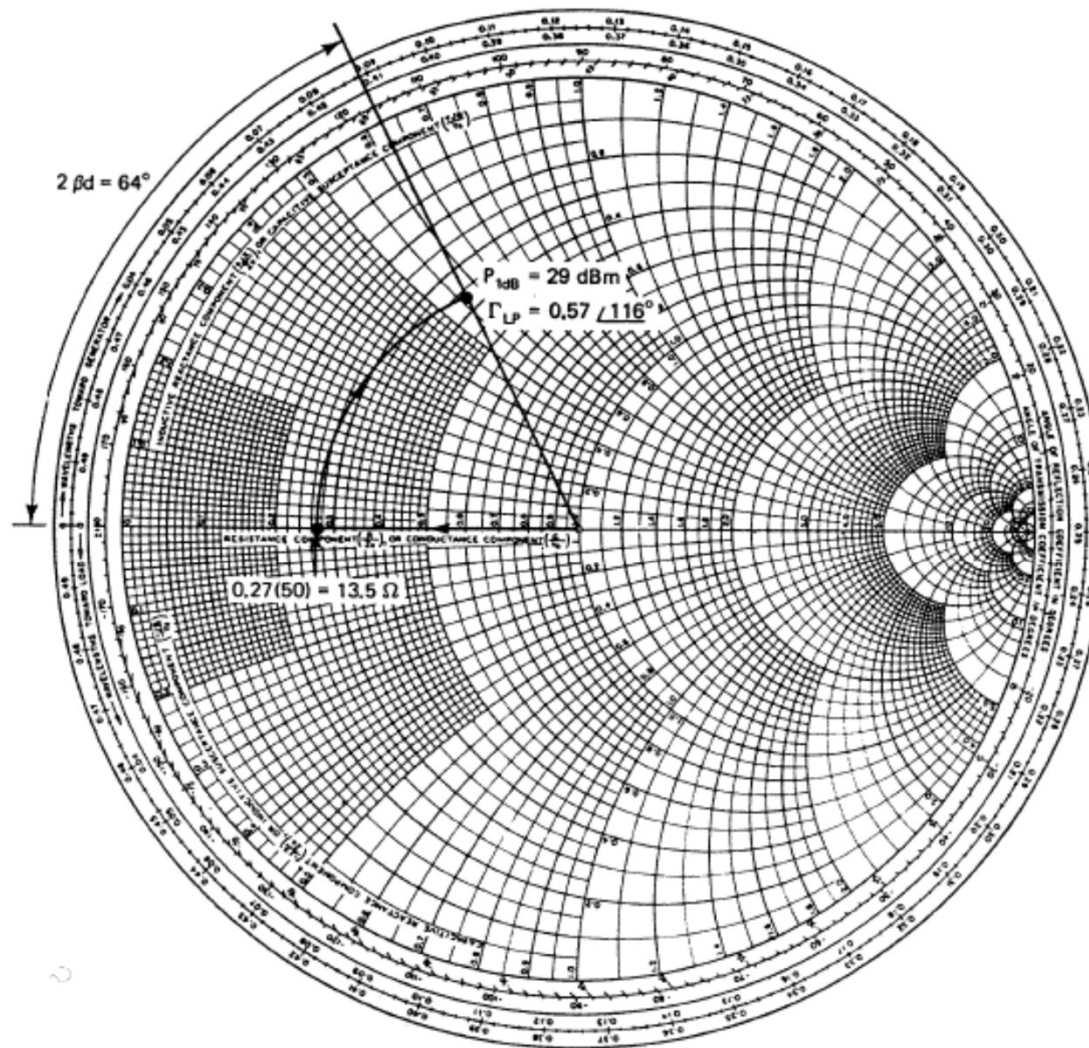


Figure 4.7.12 Design of the output matching network.

G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers, p. 184, 1984

Rede de casamento de entrada

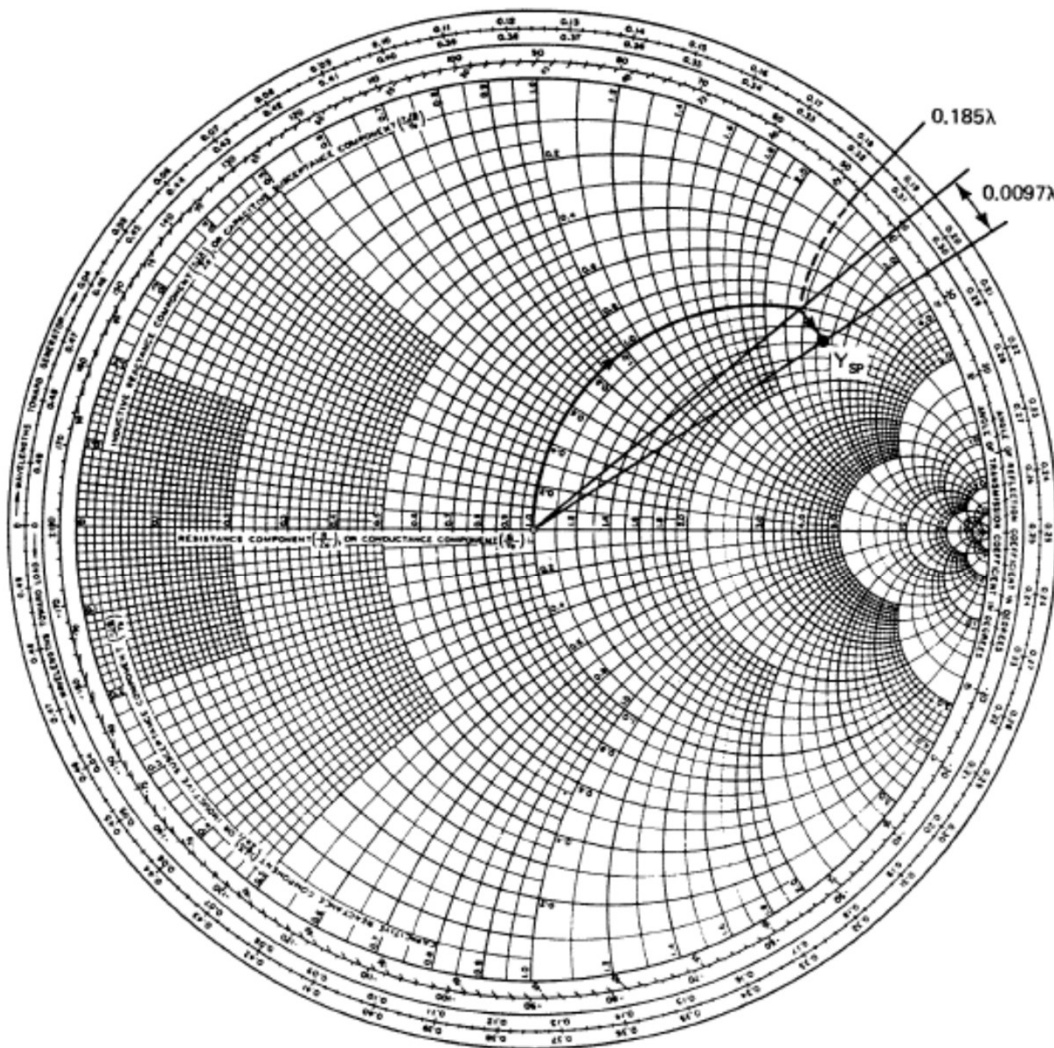


Figure 4.7.14 Design of the input matching network.

G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers, p. 186, 1984