

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
EEL 7319 - CIRCUITOS RF

PATRIK LOFF PERES
20103830

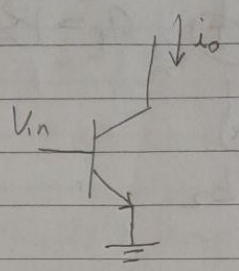
Relatório 9 - Distorção não Linear

FLORIANÓPOLIS
2023

1. Amplificador BJT - CE (modelo de componente ideal)

Para analisar as não linearidades do amplificador em emissor comum, considerando que ele opera com sinais fracos, foi feita a aproximação que a relação entre a saída e entrada pode ser escrita como um polinômio, neste caso foi truncado no terceiro grau por conta da consideração de operação com sinais fracos e independência da frequência.

Distorção:



$$i_o = I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$V_T = \frac{KT}{q}$$

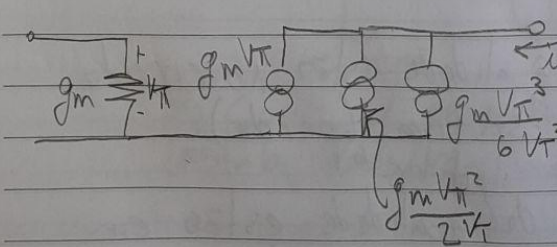
$$i_o = I_s e^{\frac{V_{BE} + V_{in}}{V_T}}$$

$$i_o = \underbrace{I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}}_{I_C} e^{\frac{V_{in}}{V_T}} \Rightarrow i_o = I_C e^{\frac{V_{in}}{V_T}}$$

$$\frac{\partial i_o}{\partial V_{in}} = \frac{I_C}{V_T} e^{\frac{V_{in}}{V_T}}, \quad \left. \frac{\partial i_o}{\partial V_{in}} \right|_{V_{in}=0} = \alpha_1 = \frac{I_C}{V_T} = g_m$$

$$\frac{\partial^2 i_o}{\partial V_{in}^2} = \frac{I_C}{V_T^2} e^{\frac{V_{in}}{V_T}}, \quad \left. \frac{\partial^2 i_o}{\partial V_{in}^2} \right|_{V_{in}=0} = \alpha_2 = \frac{I_C}{V_T^2}$$

$$\left. \frac{\partial^3 i_o}{\partial V_{in}^3} \right|_{V_{in}=0} = 6\alpha_3 = \frac{I_C}{V_T^3}$$

$$i_o = g_m V_{in} + \frac{1}{2} \frac{g_m}{V_T} V_{in}^2 + \frac{1}{6} \frac{g_m}{V_T^2} V_{in}^3$$


verificando os resultados com a simulação do QUCS, fazendo um *parameter sweep* variando V_{be} em 0.1V em torno de $V_{bias} = 0,7V$ e $V_{ce} = 3V$, e comparando-os:

Figura 1 - Coeficientes do polinomio pelo metodo das derivadas para o modelo de transistor ideal

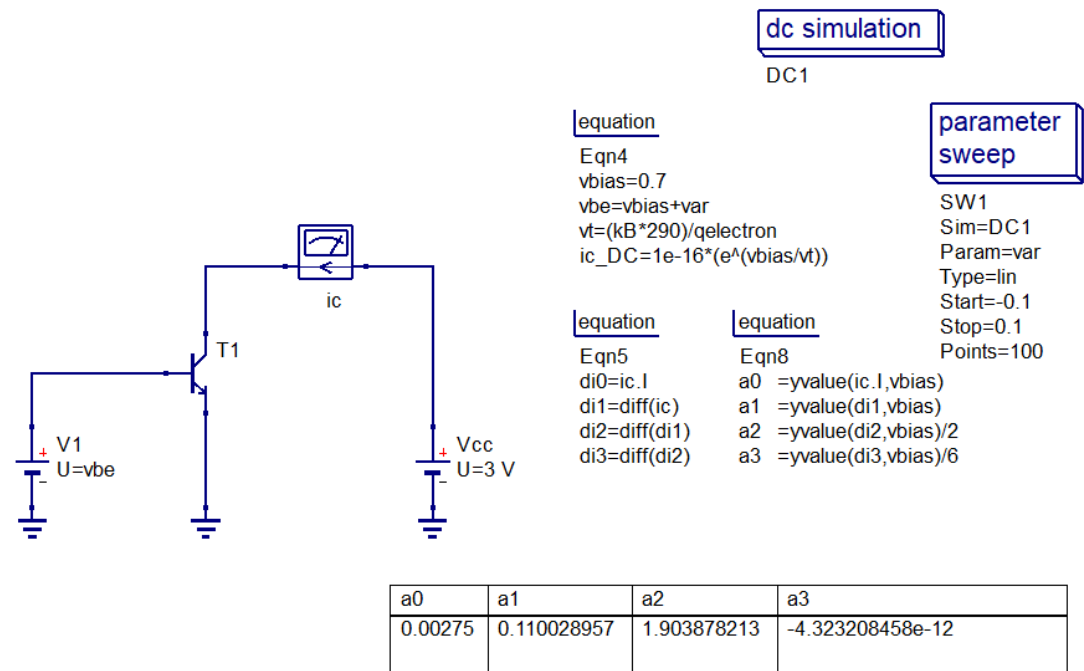
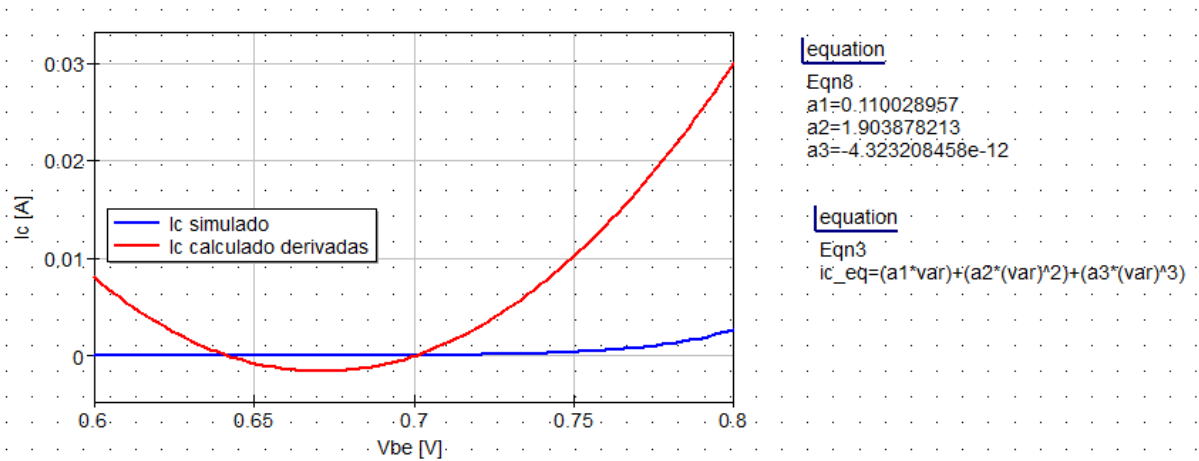


Figura 2 - Grafico da corrente simulada e calculada pelas derivadas para o modelo de transistor ideal



Os resultados da aproximação polinomial só é proxima do resultado real só muito proximo do ponto de referencia que foi 0,7V.

Com o metodo de 3 pontos, considera-se Vbias como uma referencia e mais dois valores distantes ΔV de Vbias. Desta forma é possivel aproximar a parabola $g(v)$ resultado da derivada de i_c (que é por hipotese um polinomio de terceiro grau) por v . Assim, é possivel determinar os valores de α_1 , α_2 e α_3 .

$$i_c = \alpha_1 V_{in} + \alpha_2 V_{in}^2 + \alpha_3 V_{in}^3 = \alpha_1 (V - V_{Bias}) + \alpha_2 (V - V_{Bias})^2 + \alpha_3 (V - V_{Bias})^3$$

$$g = \frac{di_c}{dV} = \alpha_1 + 2\alpha_2 (V - V_{Bias}) + 3\alpha_3 (V - V_{Bias})^2$$

$$\begin{cases} g(V_{Bias}) = \alpha_1 \\ g(V_{Bias} + \Delta V) = \alpha_1 + 2\alpha_2 \Delta V + 3\alpha_3 \Delta V^2 \\ g(V_{Bias} - \Delta V) = \alpha_1 - 2\alpha_2 \Delta V + 3\alpha_3 \Delta V^2 \end{cases}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = g(V_{Bias}) \\ \alpha_2 = \frac{g(V_{Bias} + \Delta V) - g(V_{Bias} - \Delta V)}{4\Delta V} \\ \alpha_3 = \frac{g(V_{Bias} + \Delta V) + g(V_{Bias} - \Delta V) - 2g(V_{Bias})}{6\Delta V^2} \end{cases}$$

Usando o qucs para calcular os valores numericos de α_1 , α_2 e α_3 .

Figura 3 - Coeficientes do polinomio pelo metodo dos 3 pontos para o modelo de transistor ideal

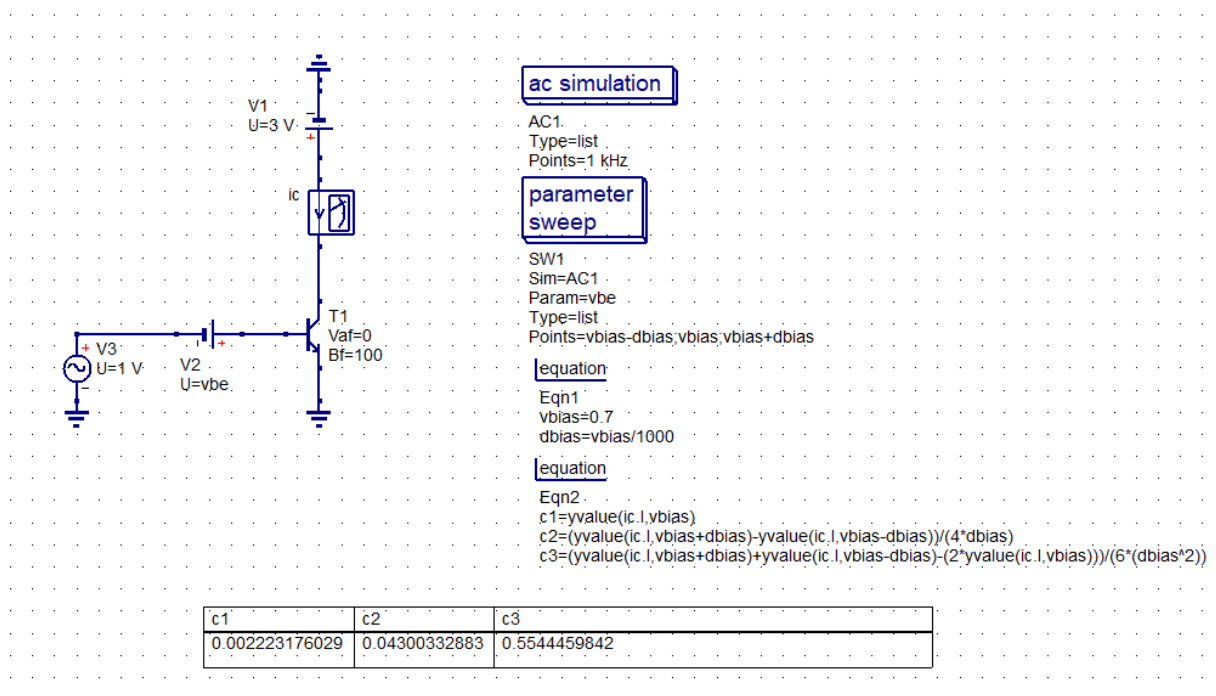
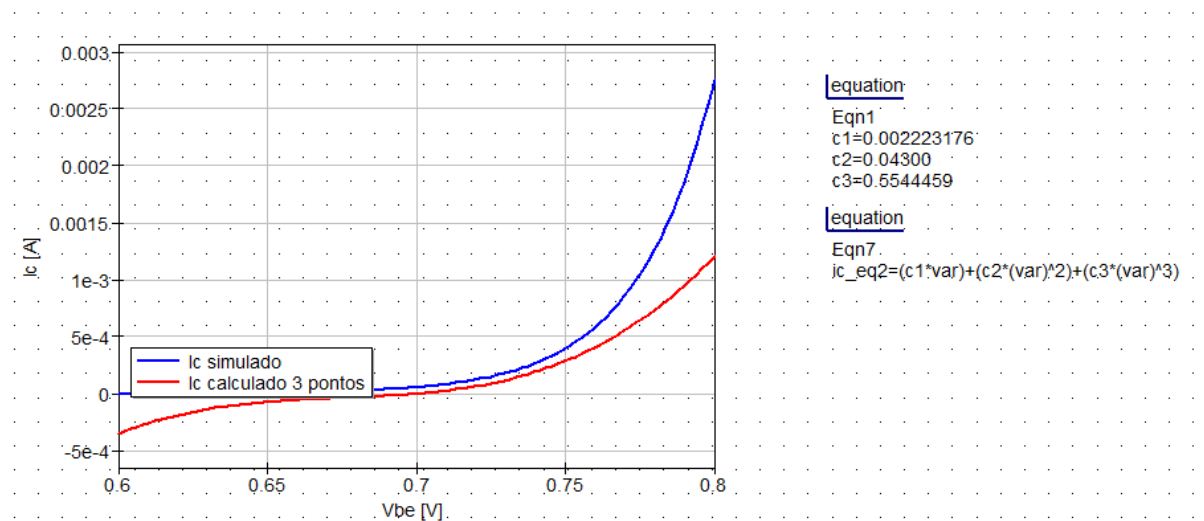
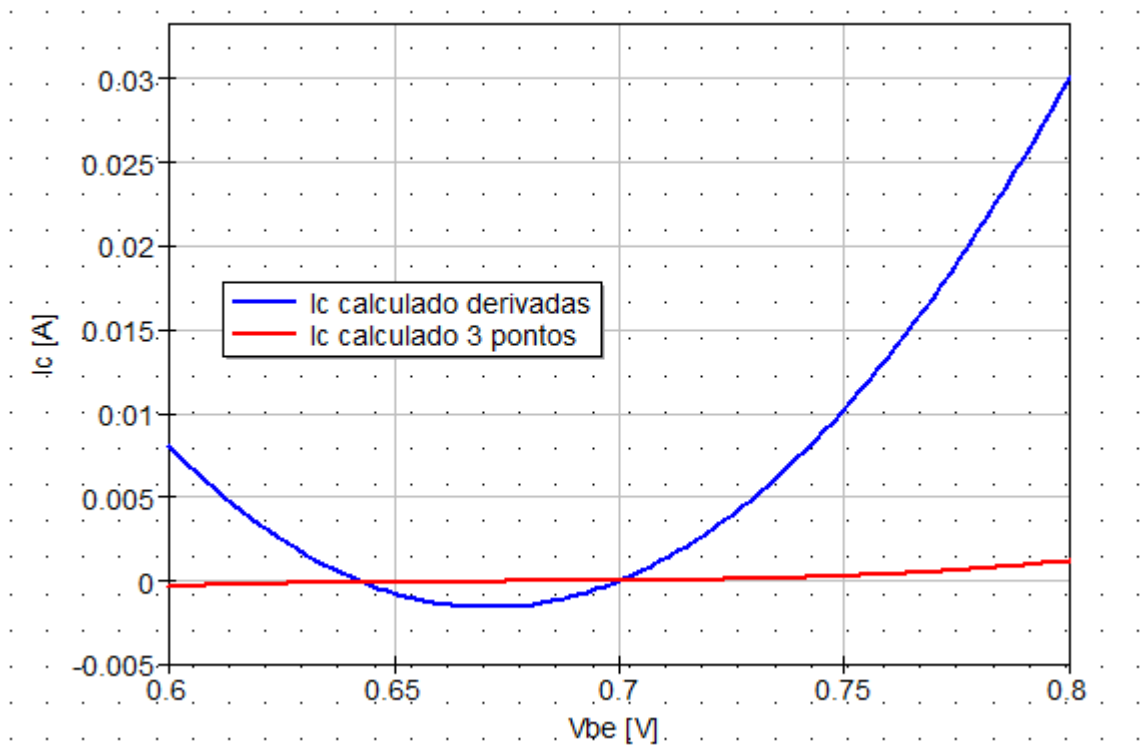


Figura 4 - Grafico da corrente simulada e calculada pelo metodo dos 3 pontos para o modelo de transistor ideal



Percebe-se que através deste método a aproximação polinomial se aproxima da corrente real em uma faixa maior que a aproximação pelas derivadas, além de modelar melhor a forte exponencial do aumento da corrente.

Figura 5 - Gráfico das correntes pelas derivadas e pelo método dos 3 pontos para o modelo de transistor ideal



A aproximação pelas derivadas tem aumento muito acentuado para valores distantes da referência $V_{bias} = 0,7V$.

Não sei como usar o componente EDD

2. Transistor BFU730

Aplicando exatamente o mesmo procedimento que o anterior, mas agora substituindo o modelo de transistor ideal pelo modelo do BFU730F obteve-se os resultados:

a1	a2	a3
0.05732133391	0.7262349538	-1.648681192e-12

c1	c2	c3
0.001701549394 / -8.080598817e-06°	0.03255460978 / -2.421123166e-06°	0.4108649949 / -2.527994734e-06°

Figura 6 - Grafico da corrente simulada e calculada pelas derivadas para o modelo do BF730F

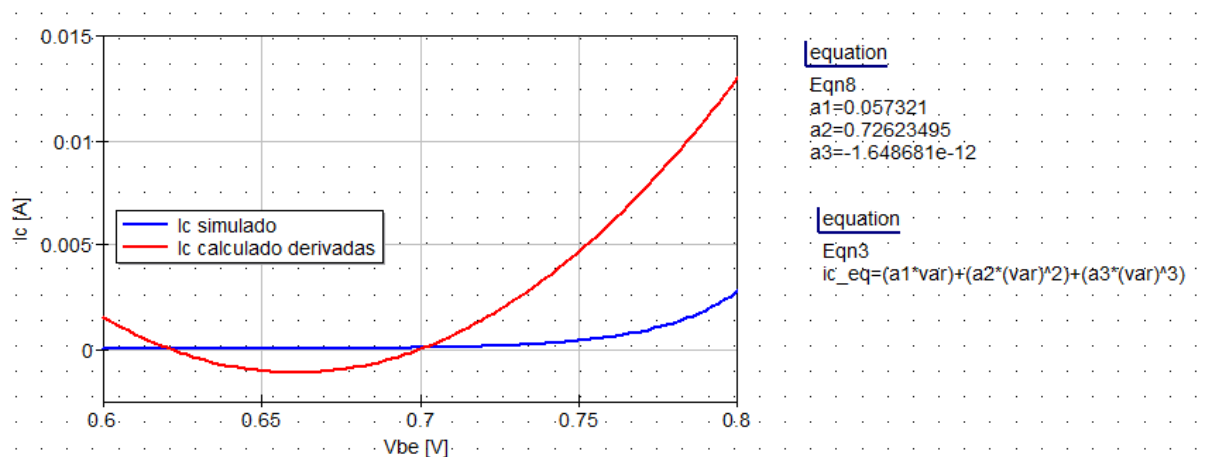


Figura 7 - Grafico da corrente simulada e calculada pelo metodo dos 3 pontos para o modelo do BF730F

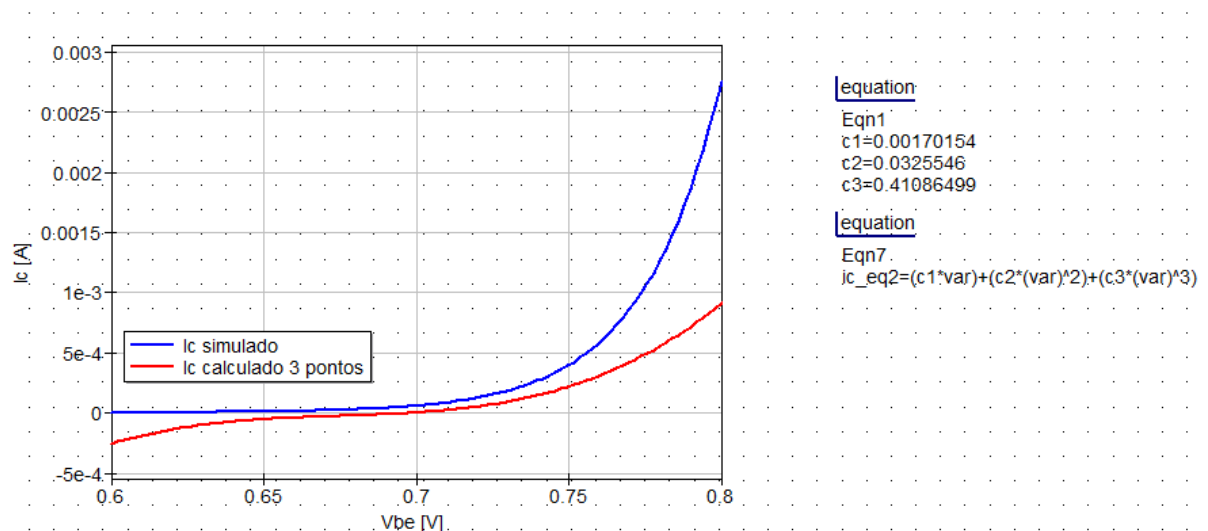
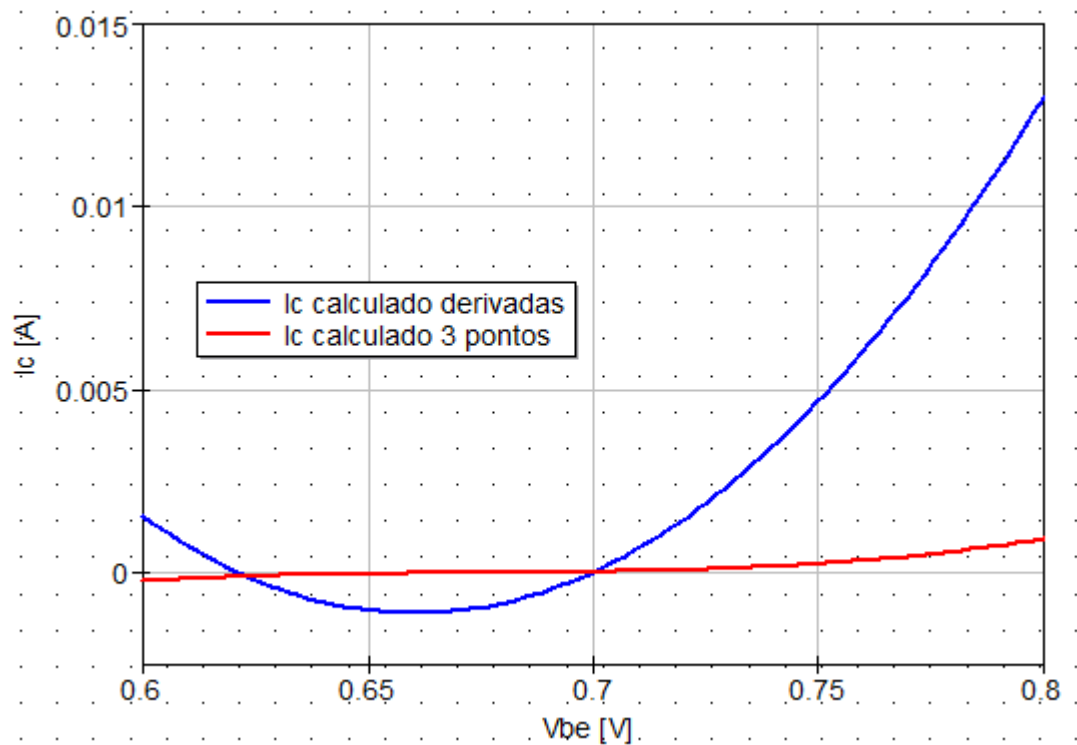


Figura 8 - Grafico das correntes pelas derivadas e pelo metodo dos 3 pontos para o modelo do BF730F

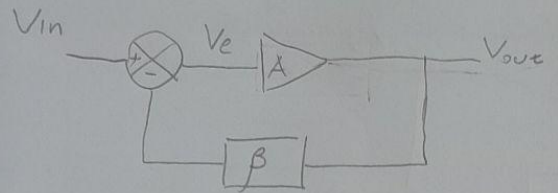


Os resultados usando o modelo do transistor BF730F foram muito proximas dos resultados obtidos com o modelo ideal de transistor.

3. Amplificador com resistor de degeneração

Considerando este amplificador (emissor comum) coloca em uma malha fechada, pode-se definir o novo V_{out} e refazer as derivadas para calcular os novos coeficientes do polinomio que relaciona saída e entrada (com base na consideração de que o circuito é sem memoria)

(2)



$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A}{1 + \beta A}$$

$$V_e = V_{in} - \beta V_{out}$$

$$V_{out} = \alpha_1 (V_{in} - \beta V_{out}) + \alpha_2 (V_{in} - \beta V_{out})^2 + \alpha_3 (V_{in} - \beta V_{out})^3$$

$$V_{out} = \alpha_1' V_{in} + \alpha_2' V_{in}^2 + \alpha_3' V_{in}^3$$

$$\left. \frac{dV_{out}}{dV_{in}} \right|_{V_{in}=0} = \alpha_1', \quad \left. \frac{d^2 V_{out}}{dV_{in}^2} \right|_{V_{in}=0} = 2\alpha_2', \quad \left. \frac{d^3 V_{out}}{dV_{in}^3} \right|_{V_{in}=0} = 6\alpha_3'$$

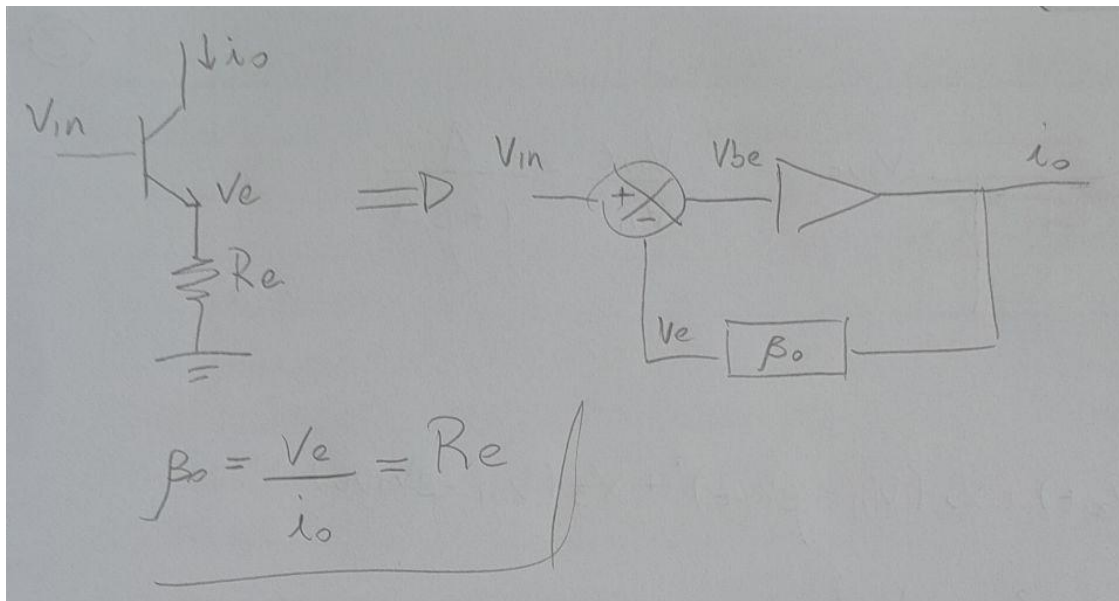
$$\frac{dV_{out}}{dV_{in}} = \alpha_1 \left(1 - \beta \frac{dV_{out}}{dV_{in}} \right) + 2\alpha_2 (V_{in} - \beta V_{out}) \left(1 - \beta \frac{dV_{out}}{dV_{in}} \right) + 3\alpha_3 (V_{in} - \beta V_{out})^2 \left(1 - \beta \frac{dV_{out}}{dV_{in}} \right)$$

$$\alpha_1' = \left. \frac{dV_{out}}{dV_{in}} \right|_{V_{in}=0, V_{out}=0} = \frac{\alpha_1}{1 + \beta \alpha_1}$$

$$\alpha_2' = \left. \frac{d^2 V_{out}}{dV_{in}^2} \right|_{V_{in}=0, V_{out}=0} = \frac{\alpha_2}{(1 + \beta \alpha_1)^3}$$

$$\alpha_3' = \left. \frac{d^3 V_{out}}{dV_{in}^3} \right|_{V_{in}=0, V_{out}=0} = \frac{\alpha_3}{(1 + \beta \alpha_1)^4} - \frac{2\alpha_2 \beta}{(1 + \beta \alpha_1)^5}$$

Para encontrar o valor de β verifica-se as tensões e correntes do transistor e identifica quais elas representam no sistema de malha fechada



Deseja-se diminuir o termo de terceiro ordem em 5 vezes

$$\alpha_3' = \frac{\alpha_3}{5} = \frac{\alpha_3}{(1 + R_e \alpha_1)^4} - \frac{2 \alpha_2^2 R_e}{(1 + R_e \alpha_1)^5}$$

Para encontrar o valor numero de Re foi aplicado o metodo de Newton para encontrar raizes de funções, ajustado ao problema em questão, utilizando os valores de α obtidos no metodo dos 3 pontos para o modelo do transistor BF730F.

```

1 alpha1 = 0.00170154
2 alpha2 = 0.0325546
3 alpha3 = 0.41086499
4 f = @(Re) (alpha3/(1+(Re*alpha1))^4) - (2*alpha2^2*Re/(1+(Re*alpha1))^5) - (alpha3/5)
5 x = 10
6 deltax = 0.1
7 k = 0
8 while abs(deltax)>1e-8 && k<500
9     k = k+1
10    flinhanum = (f(x+deltax)-f(x))/deltax;
11    deltax = -f(x)/flinhanum;
12    x = x + deltax;
13 end
14 Re = x

```

$$R_e \approx 131,01 \Omega$$

Figura 9 - Coeficientes do polinomio pelas derivadas para o modelo do BF730F com resistor de degeneração

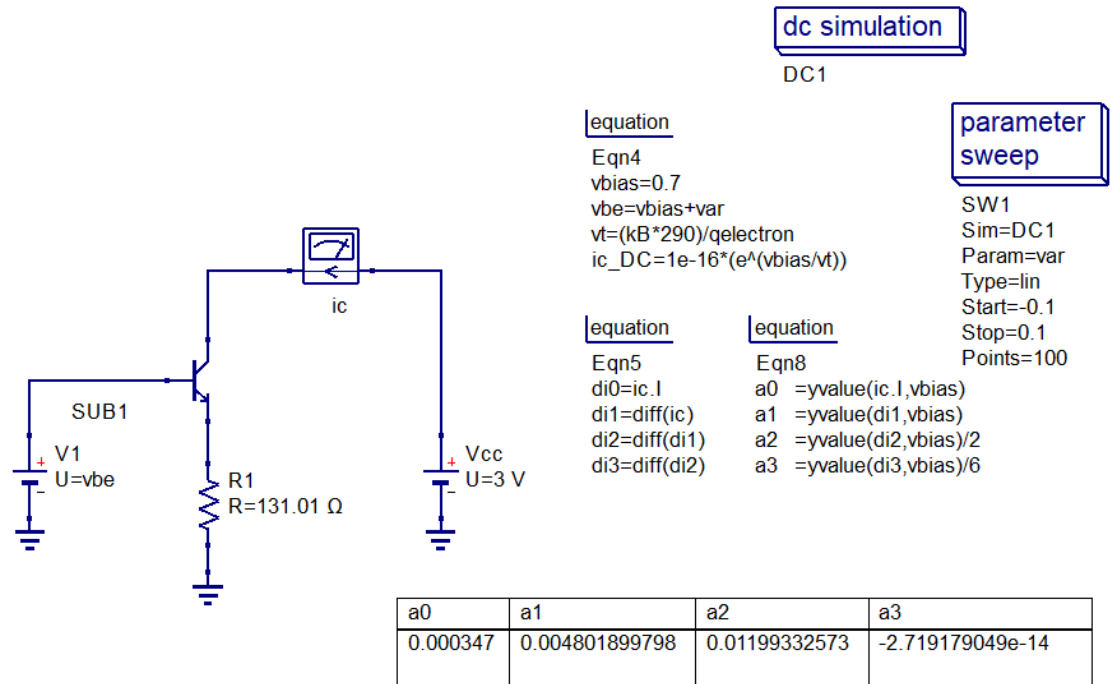


Figura 10 - Coeficientes do polinomio pelo metodo dos 3 pontos para o modelo do BF730F com resistor de degeneração

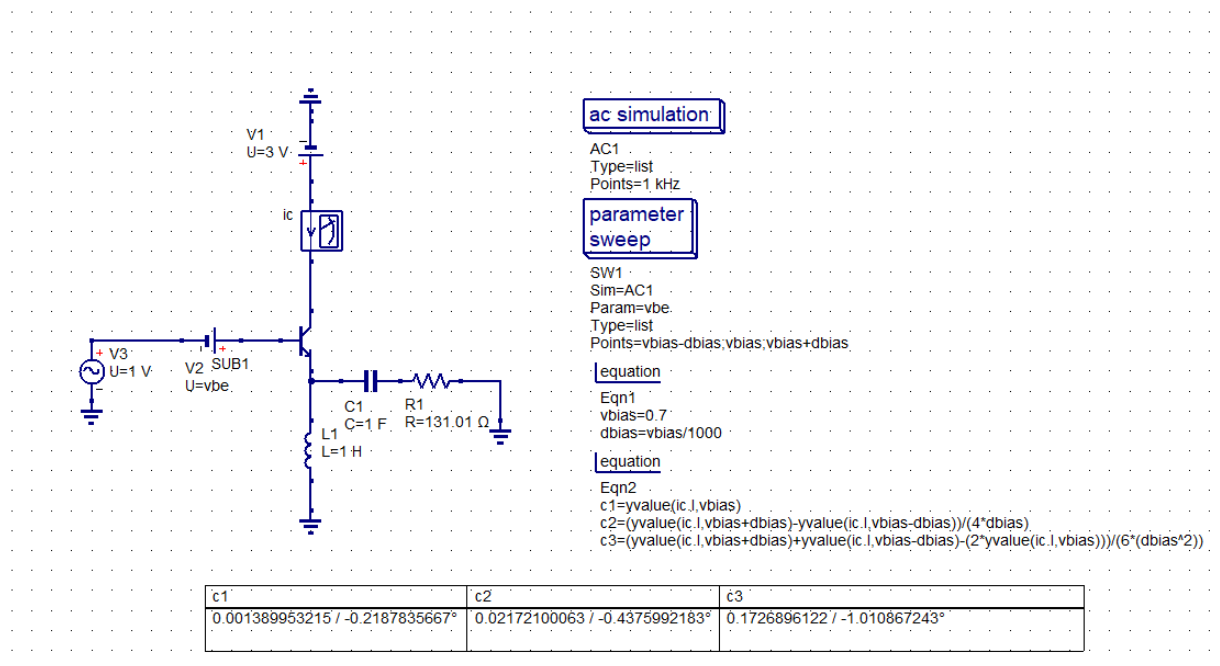


Figura 11 - Grafico da corrente simulada e calculada pelas derivadas para o modelo do BF730F com resistor de degeneração

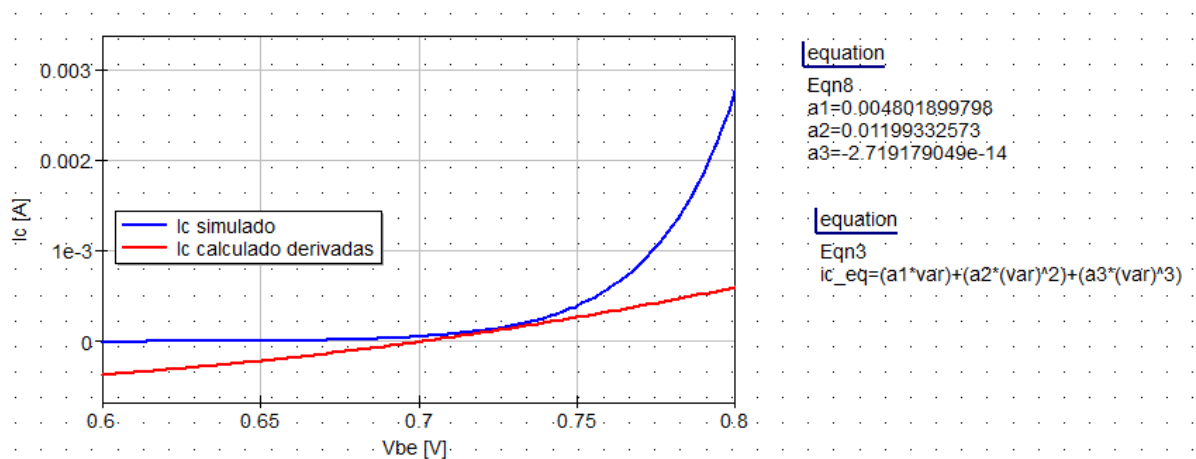


Figura 12 - Grafico da corrente simulada e calculada pelo metodo dos 3 pontos para o modelo do BF730F com resistor de degeneração

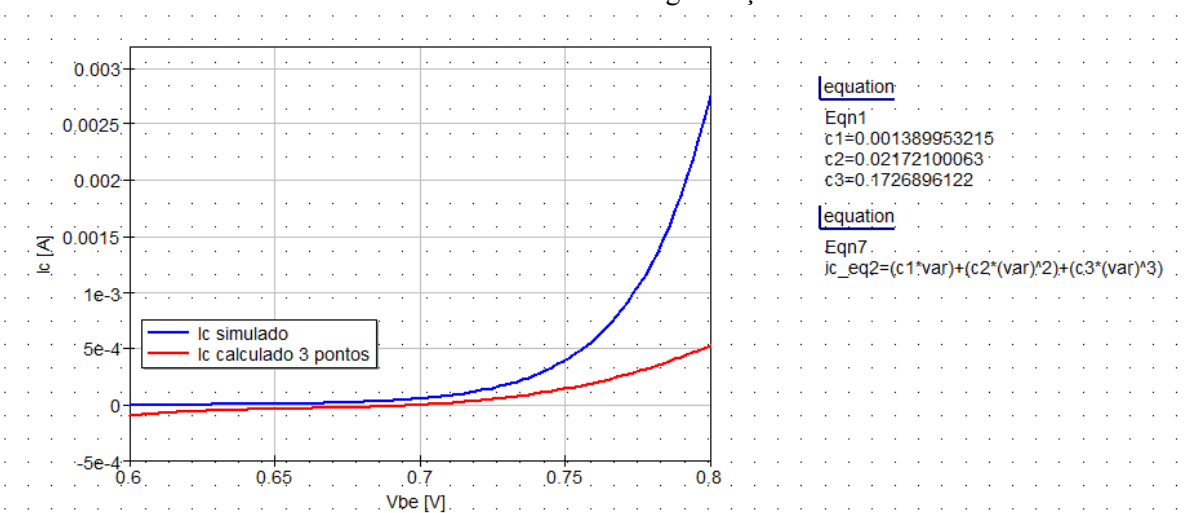


Figura 12 - Grafico das correntes pelas derivadas e pelo metodo dos 3 pontos para o modelo do BF730F com resistor de degeneração

