

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

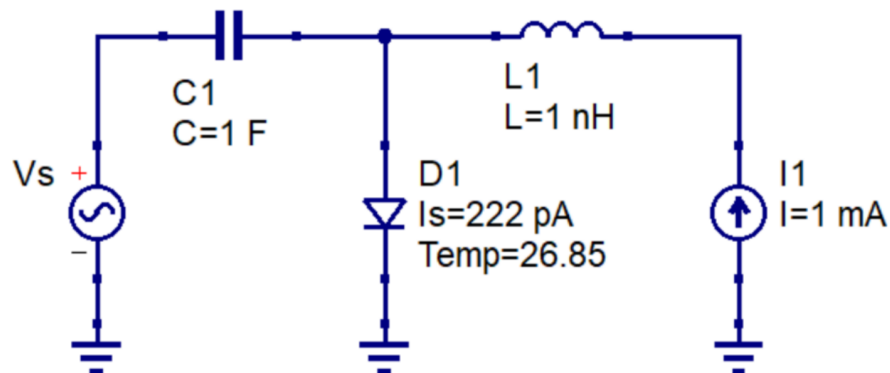
Relatório 1 - Revisão sobre simulação de circuitos

FLORIANÓPOLIS
2023

Atividades

1. Considerando o circuito da figura 1

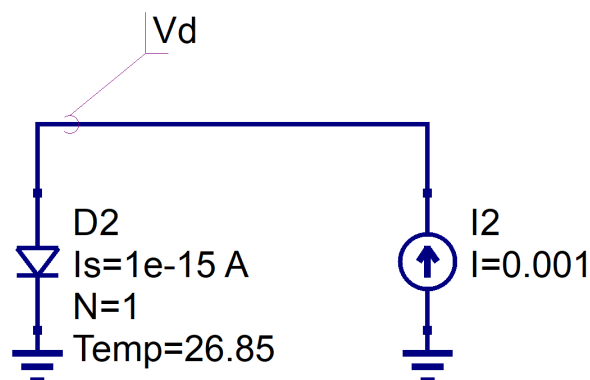
Figura 1: Circuito completo



(i) Encontre o ponto de operação analiticamente

Para tanto, basta fazer a análise DC do circuito da figura 1. Sabendo que, em corrente contínua capacitores se comportam como circuitos aberto e indutores como curto-circuitos, o circuito a ser analisado é apresentado na figura 2

Figura 2: Análise DC



Por inspeção é possível concluir que a corrente do diodo é igual a corrente da fonte, ou seja,

1mA, e segundo a equação de Shockley $I_d = I_s (e^{\frac{qV_d}{nkT}})$, onde:

I_d = corrente do diodo

I_s = corrente máxima reversa

q = carga elétrica ($1,6e-19$)

k = constante de Boltzmann ($1,38e-23$)

T = temperatura

V_d = tensão no diodo

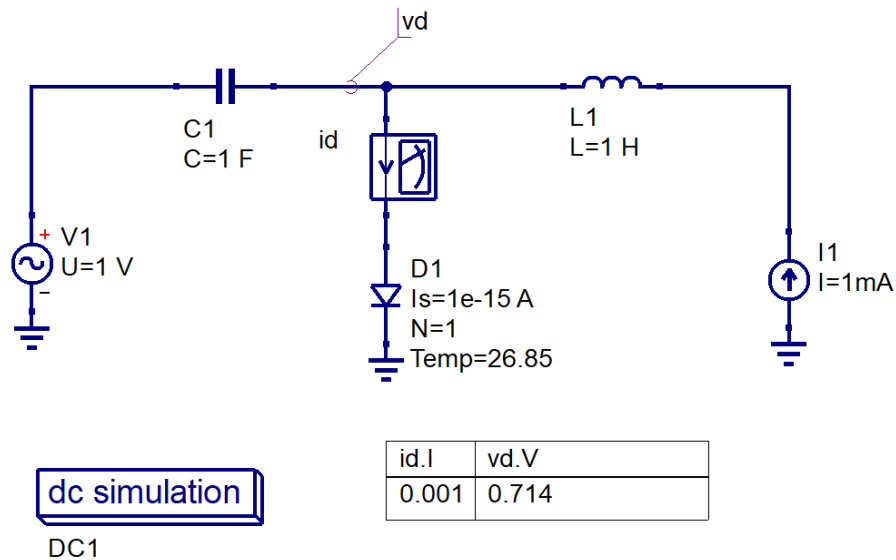
Portanto, isolando V_d na equação temos que:

$$V_d = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_d}{I_s}\right) = 741,32V$$

(ii) verifique o ponto de operação por simulação

Realizando a análise DC no circuito completo (figura 1) obteve-se os resultados apresentados na figura 3

Figura 3: Simulação DC

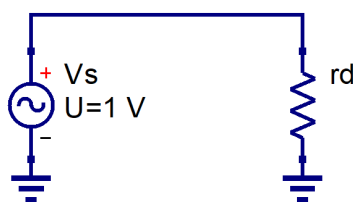


Nota-se que o resultado da simulação é o mesmo do previsto analiticamente.

(iii) encontre o modelo de pequenos sinais equivalente (analiticamente)

Para a análise do circuito em AC, considera-se (nesse caso) que o indutor é um circuito aberto (assim como a fonte contínua de corrente), que o capacitor é um curto circuito e que o diodo é uma resistência r_d .

Figura 3: Análise AC



Sabe-se que,

$$g_d = \frac{\delta I_d}{\delta V_d} = \frac{\delta}{\delta V_d} \left(I_s \left(e^{\frac{qV_d}{nkT}} \right) \right) = \frac{q}{nkT} I_d = \frac{1}{r_d}$$

$$\text{Portanto, } r_d = \frac{nkT}{qI_d} = 25,85\Omega$$

Assumindo que a corrente do diodo pode ser dividida em parte DC e parte AC, então temos que:

$$I_{diodo} = I_d + i_d, \text{ onde } i_d \text{ é a parte AC da corrente.}$$

Mas, aplicando a equação de Shockley, $I_{diodo} = I_s (e^{\frac{qV_d}{nkT}})$ e expandido I_{diodo} em uma série de Taylor em torno de $V_d + v_d$ obtemos:

$$I_{diodo} = I_{diodo}(V_d) + v_d \frac{q}{nkT} I_d + \frac{v_d^2 (\frac{q}{nkT})^2 I_d}{2!} + \dots$$

Para que a condição de pequenos sinais seja satisfeita,

$$\frac{v_d^2 (\frac{q}{nkT})^2 I_d}{2} \ll v_d \frac{q}{nkT} I_d$$

O que implica que,

$$v_d \ll \frac{2nkT}{q} \Rightarrow v_d \ll 0,05V$$

Como $I_{diodo}(V_d) = I_d$ Conclui-se que,

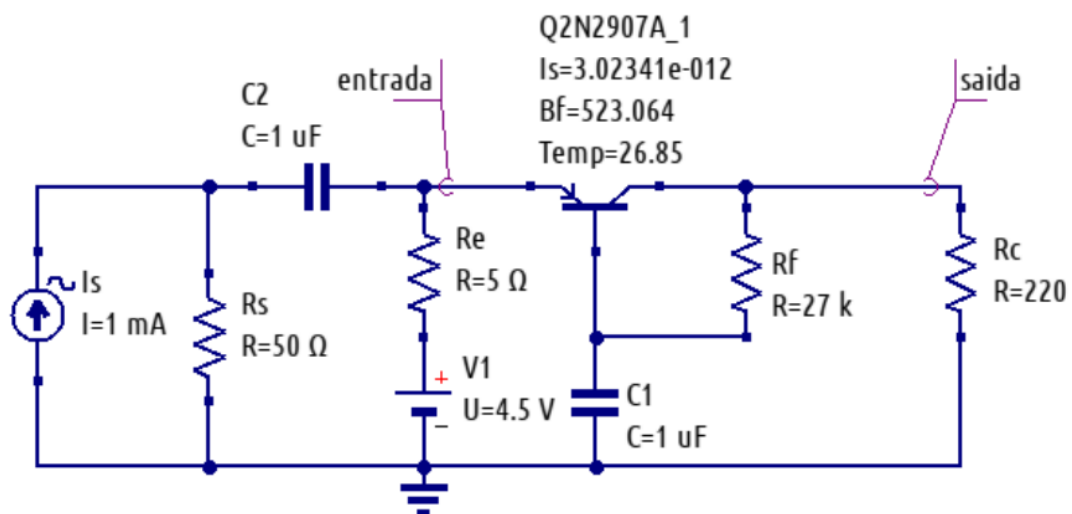
$$I_{diodo} = I_d + \frac{v_d}{r_d}$$

(iv) verifique o modelo AC por simulação

Não consegui.

2. Considerando o circuito da figura 4

Figura 4: Circuito amplificador



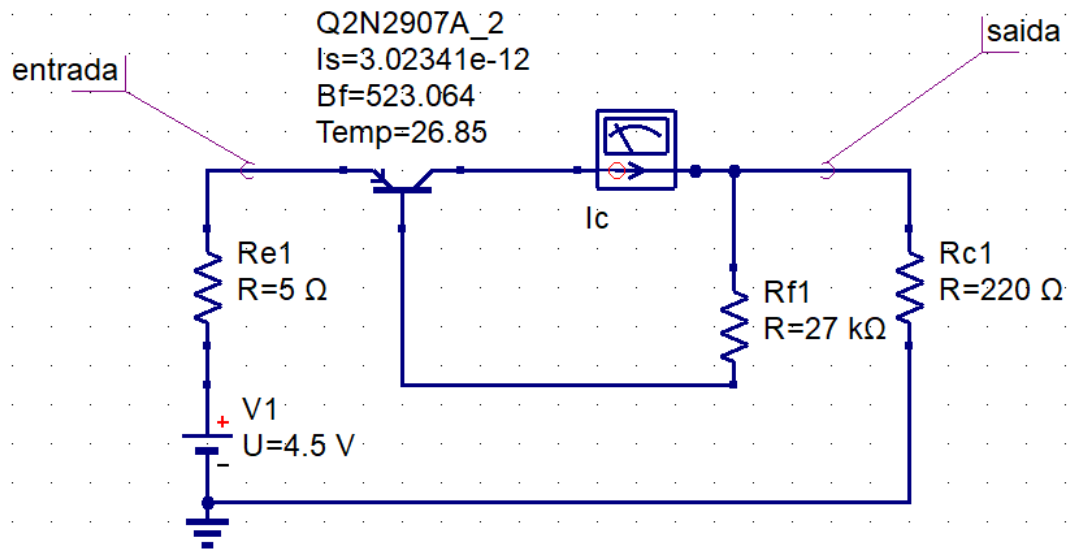
(i) explique a estratégia de polarização

A polarização é realizada pela fonte de tensão V1 ligada ao emissor através de Re. Também é importante notar a importância do resistor Rf entre a base e o coletor do transistor, pois ele garante maior estabilidade do circuito em torno do ponto de operação desejado, tendo em vista que, caso haja variações no parâmetro β do transistor, que acarretaria no aumento da corrente de coletor (e porventura viesse a retirar o transistor do ponto de operação) a queda de tensão no resistor Rf iria diminuir, assim como a corrente de base, fazendo com que a corrente de coletor fosse diminuída também. Desta forma, é criado um esquema de *feedback* que deixa o circuito mais robusto a variações de β .

(ii) encontre o ponto de operação (analiticamente)

Realizando a análise DC do circuito temos que:

Figura 5: Análise DC - amplificador



Aplicando LKC temos,

$$R_e I_e + R_f I_b + R_c (I_c + I_b) + V_{be} = V_1$$

Sabendo as relações entre as correntes e tensões do BJT,

$$I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

$$I_e = \frac{(\beta+1)I_c}{\beta}, \text{ como } \beta = 523,064 \text{ considera-se que } I_e \simeq I_c$$

$$V_{be} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right)$$

Sendo assim, obtemos:

$$R_e I_c + \frac{R_f}{\beta} I_c + R_c \left(I_c + \frac{I_c}{\beta}\right) + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) = V_1$$

Resolvendo numericamente a equação com auxílio de software matemático, tem-se que a corrente de emissor:

$$I_c \simeq 14,1694 \text{ mA}$$

E a tensão base-emissor:

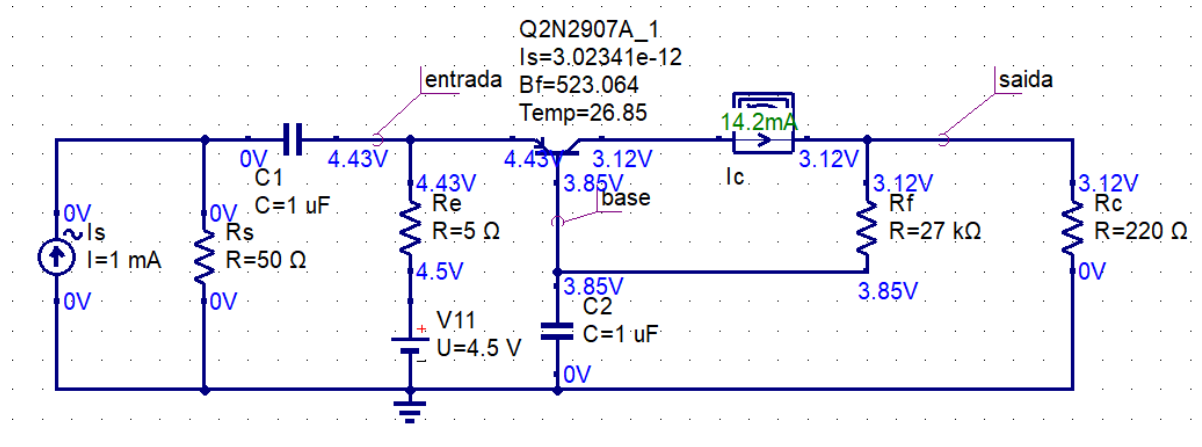
$$V_{be} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) = 575,67 \text{ mV}$$

E a tensão na saída:

$$V_{saída} = R_c \left(I_c + \frac{I_c}{\beta}\right) = 3,12 \text{ V}$$

(iii) Verifique o ponto de operação por simulação, comparando-o com os resultados do item anterior

Figura 5: simulação análise DC - amplificador



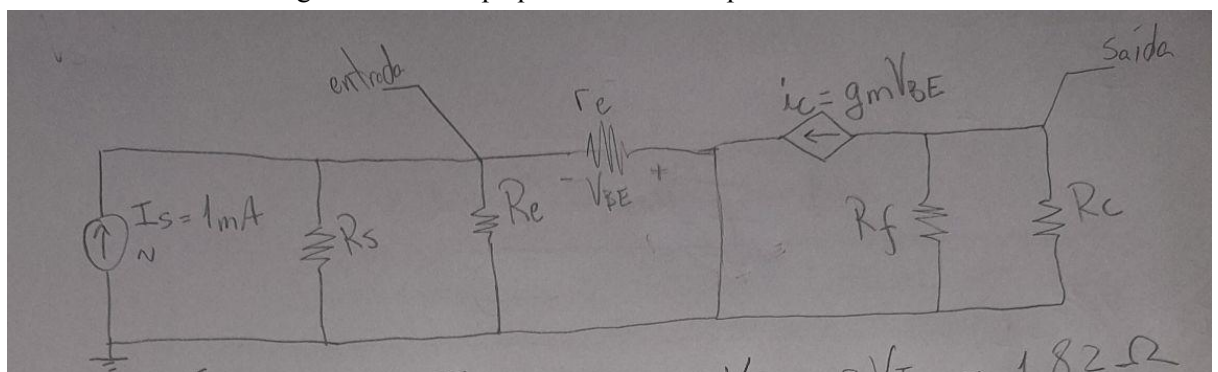
Podemos observar que os resultados obtidos analiticamente foram muito próximos dos obtidos por simulação

	Teoria	Simulação	Desvio[%]
I_c	14,1694 mA	14,2mA	0,21
V_{be}	575,67mV	580 mV	0,8
$V_{saída}$	3,12V	3,12V	0

(iv) Encontre o modelo pequenos sinais equivalente (analiticamente)

Assumindo que o capacitor é um curto-circuito em AC, e usando o modelo T do BJT, temos o circuito equivalente e seus parâmetros na figura 6 abaixo.

Figura 6: modelo pequenos sinais - amplificador



Sabendo a equação dos parâmetros do modelo de pequenos sinais do BJT, temos:

$$g_m = \frac{I_c}{V_T}, V_T = \frac{kT}{q} \rightarrow g_m = 0,548 S$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_e} = \frac{\beta V_T}{(\beta+1)I_c} = 1,82\Omega$$

(v) Encontre o ganho de tensão, a impedância de entrada e a impedância de saída (pequenos sinais)

Por inspeção, é possível inferir que a tensão de entrada (v_{in}) é igual a $-V_{be}$. Daí aplicando

LKC ao nó de saída temos que:

$$\frac{v_{out}}{R_c} + \frac{v_{out}}{R_f} + g_m V_{be} = 0, V_{be} = -v_{in}$$

$$\frac{v_{out}}{R_c} + \frac{v_{out}}{R_f} = g_m v_{in} \Rightarrow V_{out} \left(\frac{R_c + R_f}{R_c R_f} \right) = g_m v_{in}$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m R_c R_f}{R_c + R_f}$$

O ganho de tensão $A_v = 119,58 = 41,55 \text{ dB}$

Aplicando LKC ao nó de entrada obteve-se a impedância de entrada Z_{in}

$$-i_{in} + \frac{v_{in}}{R_s} + \frac{v_{in}}{R_e} + \frac{v_{in}}{r_e} = 0 \Rightarrow v_{in} \left(\frac{R_s r_e + R_s R_e + R_e r_e}{R_s R_e r_e} \right) = i_{in}$$

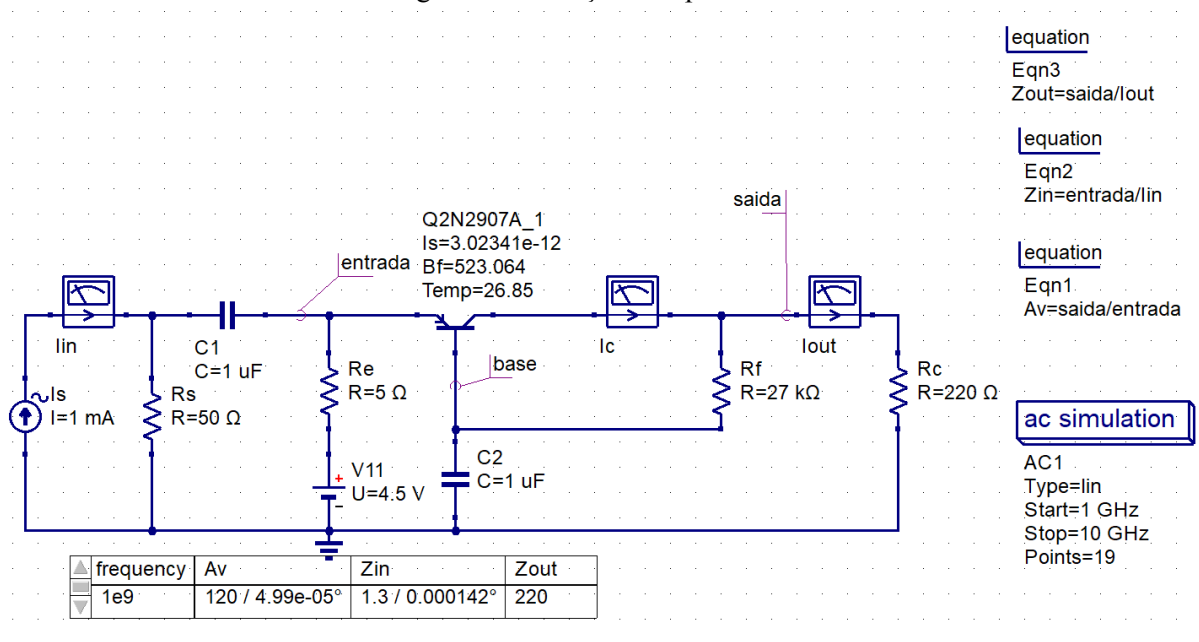
$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{R_s R_e r_e}{R_s r_e + R_s R_e + R_e r_e} = 1,3 \Omega$$

Para calcular a impedância de saída, anula-se a fonte de entrada, porém ao fazer isso nota-se que $V_{be} = 0$, logo a fonte controlada de corrente do modelo de pequenos sinais do transistor também se anula. Sendo assim, a impedância de saída Z_{out} é simplesmente o paralelo entre R_f e R_c .

$$Z_{out} = \frac{R_f R_c}{R_f + R_c} = 218,22 \Omega$$

(vi) Simule o circuito e verifique a análise a partir dos resultados.

Figura 6: simulação - amplificador



A tabela abaixo mostra um comparativo entre os resultados teóricos e a simulação

	Teoria	Simulação	Desvio[%]
A_v	119,58	120	0,35
Z_{in}	$1,3\Omega$	$1,3\Omega$	0
Z_{out}	$218,22\Omega$	220Ω	0,81

É possível notar que os resultados foram muito próximos, porém é importante destacar que tanto os cálculos teóricos quanto a simulação supracitada foram realizados pressupondo componentes ideais, apenas com os parâmetros expostos nas figuras 4 a 6 definidos (I_s , β e temperatura). Portanto, é esperado que simulações com componentes reais ou experimentos em laboratório possam ter resultados que divergem do descrito na tabela.

3. Questões

1) No circuito da Figura 2, qual a função dos resistores R_e e R_f ?

R_f funciona como *feedback*, caso haja uma variação no parâmetro β que aumente a corrente de coletor, a queda de tensão em R_f iria diminuir fazendo com que a corrente de coletor diminua também, garantindo maior estabilidade em torno do ponto de operação desejado.

2) No circuito da Figura 2, qual é a carga do amplificador?

Nesse circuito, o resistor R_c está sendo a carga pois está conectado nos terminais de saída do amplificador

3) Como o circuito da Figura 2 deve ser modificado para que se possa ter como carga uma antena dipolo com impedância característica de 220Ω , sem que suas propriedades se alterem?

Substituindo o resistor R_c pela antena, tendo em vista que eles têm a mesma impedância, não alteraria nada no circuito.

4) Disserte sobre o que aprendeu com esta atividade. Que nível de dificuldade você atribui a este exercício ?

Ao realizar a atividade tive que revisar conceitos de eletrônica e circuitos um pouco esquecidos, além de entender melhor como funciona a polarização de um transistor e como analisá-la.

Também, foi o primeiro contato com um *software* novo, então ao longo da atividade foi necessário entender seu funcionamento.