

Laboratório 5: Pequenos Sinais TBJ para Emissor-Comum

Larissa Kelmer de Menezes Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
lariskelmer@gmail.com

Rychardson Ribeiro de Souza
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
rychard.ribeiro.souza@hotmail.com

Andres Ortiz Salazar
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
andres@dca.ufrn.br

I. INTRODUÇÃO

Nesse sentido, o presente relatório objetiva abordar sobre o conteúdo discutido na disciplina que motiva este projeto, “DCA0213.0 – Eletrônica – Laboratório”, sob orientação do professor Dr. Andres Ortiz Salazar. O foco, aqui, é fazer um estudo aplicado do funcionamento e aplicação de transistores bipolares de junção. O método utilizado para tanto será o software de simulação gráfica LTSpice, da empresa Analog Devices, que permite a simulação e análise de circuitos analógicos.

II. ABORDAGEM TEÓRICA

A. Transistor Bipolar de Junção

O transistor bipolar de junção, ou TBJ, é um semiconductor de três terminais, no qual o fluxo de corrente corre bidirecionalmente. Esse tipo de dispositivo pode ser utilizado como amplificador, o que significa um sinal de saída maior que o de entrada. Inicialmente, utilizar-se-á a configuração emissor-comum e, em seguida, a de amplificador com divisor de tensão na base.

1) *Transistor BJT para pequenos sinais:* Para analisar o funcionamento do transistor como amplificador é conveniente substituir este dispositivo por uma representação dele em modelo linearizado. É importante ressaltar que tal modelo só é válido para dados de ponto de polarização e de sinais de entrada e saída suficientemente pequenos, a fim de que não alterarem o ponto quiescente. Assim, esses transistores têm sua operação na região linear da curva $I_E \times V_{BE}$.

III. EXPERIMENTOS

Nesta prática laboratorial, utilizamos o Software LTSpice para auxiliar nas simulações, tendo como base a faixa de frequência $20 \leq f \leq 20\text{KHz}$. Nas nossas simulações, utilizamos um valor de 50Hz para a frequência. Além disso, antes de começarmos, é importante definirmos algumas equações que serão úteis posteriormente.

Equação para o cálculo da impedância de entrada para o circuito do experimento A:

$$Z_{eA} = R1 || R2 || \beta_{re} \quad (1)$$

Equação para o ganho de corrente:

$$I_c = \beta \times I_b \quad (2)$$

$$Z_s = R_C \quad (3)$$

$$h_{re} = \frac{V_{be}}{V_{ce}} \quad (4)$$

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b} \quad (5)$$

$$h_{ie} = \frac{VT}{i_c} \times h_{fe} \quad (6)$$

$$h_{oe} = \frac{1}{r_o} \quad (7)$$

Assim, na parte 1 era pedido que se determine os capacitores de acoplamento e desacoplamento (C1, C2 e C3), conforme:

- Com os capacitores calculados, calcule teoricamente os parâmetros básicos do amplificador: ganho de tensão (A_v), impedância de entrada (Z_E) e impedância de saída do circuito (Z_S);
- Usando o simulador calcule o ganho de tensão, impedância de entrada e impedância de saída do circuito e compare com os resultados do item a);
- Com o simulador, trace a curva de resposta em frequência do amplificador e verifique a largura de banda. Caso a frequência mínima de resposta não coincida com o valor de 50 Hz ajuste empiricamente C1 e C2.;

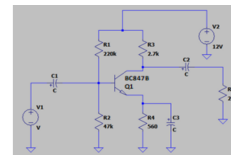


Fig. 1. Imagem 1 das instruções experimentais do professor Andrés Ortiz.

A segunda prática pedia a montagem do circuito2 no LTSpice, com a retirada do C3, como em 1, para construir o Amplificador B, seguindo:

- Calcular, teoricamente, os parâmetros básicos do amplificador: ganho de tensão (A_v), impedância de entrada (Z_E) e impedância de saída do circuito (Z_S);

- b) Calcular o ganho de tensão, impedância de entrada e impedância de saída do circuito e comparar com os resultados do item "a";
- c) Traçar a curva de resposta em frequência do amplificador e verifique a largura de banda. Caso a frequência mínima de resposta não coincida com o valor de 50 Hz, ajustar empiricamente C1 e C2;

A terceira prática pedia a construção de um amplificador a partir dos amplificadores da parte I e II, ligados em cascata, como em 2 e repetindo os passos "a", "b" e "c" dos amplificadores anteriores:

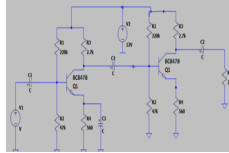


Fig. 2. Imagem 2 das instruções experimentais do professor Andrés Ortiz.

IV. RESULTADOS

Para a parte 1, primeiramente:

- a) Com as informações fornecidas pelo datasheet do transistor BC847B e resolvendo as equações descritas em Eq.2, 3, 4, 5, 6 e 7, temos que: $I_b = 6.25\mu A$, $h_{ie} = 4k\Omega$, $h_{fe} = 320$, $h_{oe} = 0.0004S$, $h_{re} = 0.14V$, $Z_e = 3625.6$, $Z_s = R_c = 2.7k$

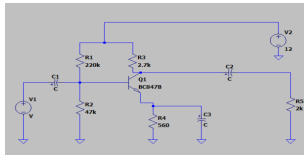


Fig. 3. Circuito para o amplificador A.

Primeiramente devemos calcular os capacitores (C1, C2 e C3) de acoplamento e desacoplamento, para isso, utilizaremos as seguintes fórmulas:

Equação para o primeiro capacitor em acoplamento:

$$C1 = \frac{10}{2 \times \pi \times f_m \times (R_{ig} + Z_E)}$$

Equação para o segundo capacitor em acoplamento:

$$C2 = \frac{10}{2 \times \pi \times f_m \times (R_L + Z_S)}$$

Equação para o terceiro capacitor de desacoplamento:

$$C3 = \frac{4}{2 \times \pi \times f_m \times R_E}$$

Equação para ganho de tensão do circuito da parte A:

$$A_{vA} = A_i \times R_L Z_e$$

Substituindo os valores obtidos anteriormente nas Eq.4, 5, 6 e 7, em Eq.8, 9 e 10, temos que: $C1 = 5.66 \mu F$, $C2 = 6.77 \mu F$, $C3 = 22.7 \mu F$, $A_{vA} = 7.714$

- b) Em posse de todos os valores encontrados anteriormente, podemos começar a "alternativa b" do primeiro experimento.

Na primeira parte do nosso experimento, temos um circuito pré-amplificador, que terá sua saída ligada a um amplificador de maior potência, na fonte V1 usamos uma

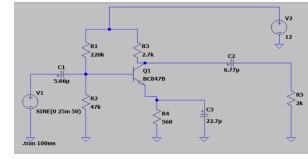


Fig. 4. Circuito montado no LTSpice.

fonte senoidal para assim podermos simular o gráfico do ganho de tensão.

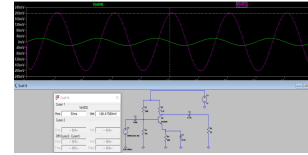


Fig. 5. Ganho de tensão para o primeiro experimento.

Para traçar a curva de resposta à frequência, faremos uma análise AC com uma fonte senoidal em V1 e verificamos um valor muito próximo dos 50Hz, como podemos ver na figura 7.

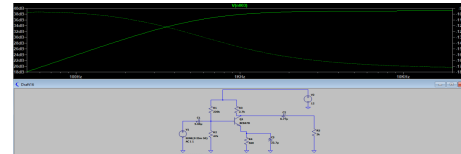


Fig. 6. Resposta em frequência do experimento da parte.

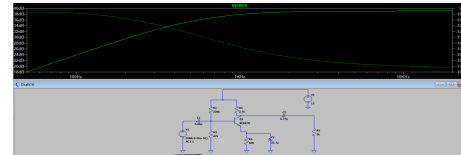


Fig. 7. Resposta em frequência do experimento da parte.

Começaremos definindo algumas equações importantes para o experimento B.

Equação para a impedância de entrada para o circuito da parte B:

$$Z_{eB} = R1 || R2 || \beta(r_e + R_E) \quad (8)$$

Equação para ganho de tensão do circuito do experimento B:

$$A_{vb} = \frac{-(R_L || R_C)}{R_E} \quad (9)$$

Nesta parte do experimento, devemos retirar o capacitor de desacoplamento, o C3, encontrarmos os parâmetros básicos do amplificador, como ganho de tensão (A_v), impedância de entrada (Z_e) e impedância de saída (Z_s), simular o ganho de tensão, impedância de entrada e de saída, além de traçar o gráfico com a resposta em

frequência, semelhante ao que foi feito no “experimento A” deste mesmo relatório, para isso, usaremos as equações Eq. 3, 8 e 9 para encontrarmos os parâmetros básicos, chegando a:

$$Z_{eB} = 31968.7;$$

$$Z_s = 2700$$

Desta forma, substituindo esses valores nas Eq. IV, IV e 9, teremos os capacitores e o ganho de tensão do circuito, que coincidem com os valores simulados.

$$C1 = 0.94\mu F \quad C2 = 6.77\mu F \quad A_{vB} = 2.05$$

Por fim, podemos gerar os gráficos para o ganho de tensão e a resposta em frequência nas figuras 8 e 9 respectivamente.

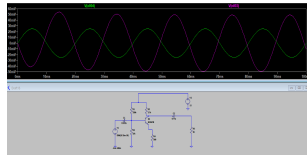


Fig. 8. Ganho de tensão para o experimento B.

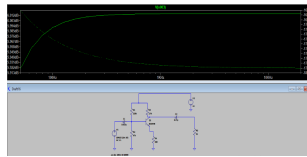


Fig. 9. Resposta em frequência para o experimento B.

Para o experimento C, na figura 8, temos a combinação dos amplificadores dos experimentos A e B e também objetivamos encontrar os mesmos parâmetros dos itens anteriores. No cálculo do ganho, devemos considerar que para o terceiro experimento, o $Z_e = Z_s$. Para calcular o ganho do circuito, usaremos a equação: $A_{vC} = A_{vA} \times A_{vB}$ $A_{vC} = 2.05 \times 7.714 = 15.814$

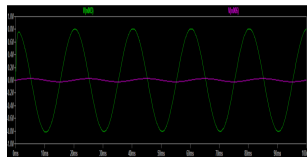


Fig. 10. Ganho de tensão para o experimento C.

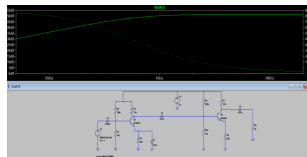


Fig. 11. Resposta em frequência para o experimento C.

Podemos verificar na simulação da figura 10 que a resposta em frequência fica a esperada próximo de 50Hz.

V. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Foi-se observado que nem sempre os resultados teóricos batem com o simulado, podendo haver variações, também é observado a importância do processo de acoplar e desacoplar, no experimento B, quando desacoplamos o capacitor C3, houve uma redução no ganho de tensão, o que nos diz que esse processo é importante para o controle da amplificação em um circuito.

REFERENCES

- [1] BOYLESTAD, Roberto. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. PHB, Rio de Janeiro, 1999.
- [2] Philips. Datasheet: BC847B. NPN general purpose transistors. 2004. Disponível em <https://pdf1.alldatasheetpt.com/datasheet-pdf/view/197561/PHILIPS/BC847B.html>. Acesso em 20 de maio de 2022.
- [3] Braga, Newton C. Acoplamento e Desacoplamento (ART1604), Disponível em <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/projetos/13993-acoplamento-e-desacoplamento-art1604.html>. Acesso em 01 de abril de 2022.