Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Avenida L3 Norte, CEP 70.910-900, Brasília - DF
Caixa postal 4386, fone +55 61 3307 2300, fone/fax +55 61 3273 8893, ftd@unb.br, www.ft.unb.br

Laboratório de Eletrônica – 2018/02

Experiência Nº 05: TJBs – amplificador em emissor comum

I - Objetivos

O objetivo deste experimento é estudar o uso de transistores de junção bipolar (TJB) em circuitos amplificadores. Em termos de teoria, para entender este experimento, é preciso que tenham realizado o experimento anterior e tenham entendido as curvas obtidas (há explicações bem detalhadas no livro texto e em vários sites na internet), e que saibam analisar circuitos elétricos (lei de Ohm, teoremas de Thévenin etc). Em outras palavras, aqui também não há desculpa para dizer que "não viram na teoria"! Mais informações da teoria encontram-se também no livro texto da disciplina. Em suma, a responsabilidade de "ver na teoria" depende da iniciativa de vocês de estudar a teoria.

Uma outra fonte bastante útil é a aula do prof. Adson Rocha, do ENE, sobre TJB, que estudaram para o experimento 4 (https://youtu.be/g7FWZ32JBPk), além das aulas do prof. Gabriel V. Maganha, listadas no site do curso (post de 4/10/2018). Se não estudaram essas aulas ainda, agora é a hora! Na aula do prof. Adson, após a análise do funcionamento de um TJB, o professor explica bem detalhadamente a curva $v_0 \times v_i$ do circuito amplificador com TJB e a região desta curva em que o TJB deve estar operando para que possa ser utilizado como um amplificador. Veja que, para usar o TJB nessa região, a tensão de entrada DC deve ser a tensão de polarização (ou tensão quiescente – o ponto Q da curva mostrada), que irá manter a tensão V_{BE} (a parte DC da tensão v_{BE}) na região ativa da curva (veja a curva mostrada nos últimos 10 mins, aproximadamente, da aula do prof. Adson – essa figura é do livro do Sedra, no capítulo sobre amplificadores com TJB). O sinal AC que se quer amplificar será então sobreposto a esta tensão quiescente (ponto Q da curva mostrada), como explica o prof. Adson. Essas são as condições do circuito a ser montado em laboratório.

Maiores informações acerca do transistores de junção bipolar a serem utilizados neste experimento podem ser encontradas em:

- Datasheet do TJB BC548: https://www.fairchildsemi.com/datasheets/BC/BC547.pdf
- Datasheet do TJB BC338: https://www.fairchildsemi.com/datasheets/BC/BC338.pdf
- Datasheet do TJB TIP31 (NPN) e TIP32 (PNP): http://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/343/TIP31-pdf.php
- Cutri, Rodrigo. **PSpice: Simulação de circuitos analógicos e digitais. Guia passo-a-passo**. Apostila sobre o uso do PSpice para a simulação de circuitos. Veja o exemplo do item 2.5, que explica como obter no PSpice a curva característica de um transistor de junção. Disponível em: < http://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE640/Material%20Auxiliar/PSpice_Guia_Passo_a_Passo.pdf>
- Najmabadi, F. **Transistor amplifiers: Biasing and small signal model**. Notas de aula sobre transistores de junção bipolar do curso ECE65, da Universidade da Califórnia, San Diego, semestre de inverno de 2006. Disponível em: <http://aries.ucsd.edu/NAJMABADI/CLASS/ECE65/06-

Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Avenida L3 Norte, CEP 70.910-900, Brasília - DF
Caixa postal 4386, fone +55 61 3307 2300, fone/fax +55 61 3273 8893, ftd@unb.br, www.ft.unb.br

W/NOTES/BJT2.pdf> Veja as sugestões de análise de circuitos com TJBs. *Este tipo de análise é fundamental para o projeto de circuitos amplificadores*.

- Najmabadi, F. **BJT amplifier circuits**. Notas de aula sobre transistores de junção bipolar do curso ECE65, da Universidade da Califórnia, San Diego, semestre de inverno de 2006. Disponível em: <http://aries.ucsd.edu/NAJMABADI/CLASS/ECE65/06-W/NOTES/BJT3.pdf> Veja as sugestões de análise de circuitos com TJBs. Aqui o professor utiliza as análises apresentadas na aula anterior (link acima) e *faz o projeto de circuitos amplificadores*.
- O livro texto, no capítulo correspondente a transistores de junção bipolar.

II – Preparação para o laboratório

Sugestão de leitura prévia: Para responder às perguntas propostas, consulte o capítulo do livro texto referente a transistores, além dos datasheets dos transistores e das apostilas sugeridas acima.

Pré-relatório - INDIVIDUAL

O pré-relatório consistirá na resposta às perguntas propostas. Suas respostas serão baseadas na leitura do livro texto, das apostilas sugeridas e de outras fontes que encontrarem, **mas não devem ser diretamente copiadas de nenhuma fonte**. Isso é considerado plágio e é muito sério. Leia este post na página do curso de Laboratório de Circuitos 1:
https://sites.google.com/site/labcircuitos1unb/classroom-news/introducaoteoricacuidadocomplagio

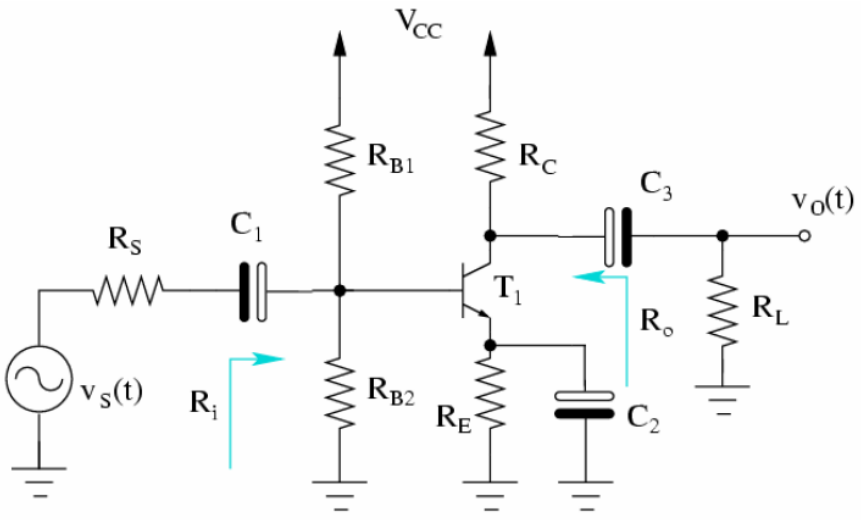


Figura 1: Amplificador transistorizado.

1. (0,5 pt) Consulte o datasheet dos transistores BC548 e BC338. Estes transistores podem ser considerados equivalentes? Justifique sucintamente sua resposta, indicando as semelhanças e/ou as diferenças encontradas. Não serão consideradas respostas sem justificativa.
2. (0,5 pt) Os transistores TIP31 e TIP32 podem ser considerados como equivalentes? Justifique sucintamente sua resposta. Não serão consideradas respostas sem justificativa.

Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Avenida L3 Norte, CEP 70.910-900, Brasília - DF
Caixa postal 4386, fone +55 61 3307 2300, fone/fax +55 61 3273 8893, ftd@unb.br, www.ft.unb.br

A figura 1 ilustra um amplificador transistorizado em emissor comum. Para este circuito:

3. (1,0 pt) Apresente o circuito equivalente AC. Considere que as capacitâncias correspondentes são suficientemente altas em comparação às frequências do sinal de entrada para que possamos considerá-las em curto circuito. **Veja nas aulas do prof. Najmabadi (links acima) e no livro texto os procedimentos para se chegar no circuito solicitado**.
4. (3,0 pt) Determine as formas literais da saída $v_0(t)$, das resistências de entrada R_i e de saída R_0 do circuito equivalente AC. Sua resposta vai ficar em função das resistências do circuito da figura 1 e dos parâmetros do circuito equivalente AC (como g_m e/ou β), além da tensão v_{BE} (ou, alternativamente, da corrente i_b). Será atribuído 1,0 pt para cada uma das três fórmulas, apresentadas de forma explícita.
5. (2,0 pt) Calcule o ganho de pequeno sinal, considerando $\beta = 100$ e $\beta = 800$. Para esta questão, utilize os valores dos parâmetros do experimento (Tabela 1 do Procedimento Experimental). Lembre-se de, **primeiramente**, determinar o **ponto de operação DC** do circuito (ponto quiescente). Neste caso, considere V_{BE} da ordem de 0,7V e determine a corrente de base para cada valor de β. A partir destes valores, sugere-se utilizar o modelo π-híbrido do transistor (análise de pequenos sinais, ou análise AC). Neste caso, considere $V_T = 25$ mV e determine os parâmetros g_m e r_π para cada valor de β. Finalize a análise do circuito, lembrando que o ganho para pequenos sinais é dado por: $A_v = \frac{v_0}{v_i} = \frac{v_0}{v_s}$. Lembre-se de determinar o ganho de pequenos sinais para cada valor de β. **Uma consulta ao livro do Sedra ou de outro livro texto será bastante útil neste item**.
6. (1,5 pt) Em seguida, **simule** o circuito com sinal de entrada adequado e ilustre o sinal de saída, com base nos valores dos componentes da Experiência 1 da Parte Experimental. Para isso, utilize um programa de simulação de circuitos. Uma sugestão são os programas **LTspice** e **PSpice**, disponíveis em diversos sites para download (o programa para estudantes é gratuito). A apostila do prof. Rodrigo Cutri (citada acima) será útil nesta etapa. Sugere-se instalar o LTspice ou PSpice e acompanhar os exemplos da apostila, para ver se está entendendo cada etapa. Veja que o exemplo "2.5 – Curva característica do transistor" vai resultar nas curvas de i_C x v_{CE}, semelhantes às que obtiveram no experimento 4.

   Após esta etapa de familiarização com o PSpice, essa aula pode ser útil: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571771934/Sim-Caract-TBJ.pdf

   Critério para pontuação total deste item: mostrar diagrama do circuito simulado; ter simulado o circuito corretamente; mostrar os gráficos de simulação.
7. (1,0 pt) O circuito da figura 2 inclui um estágio de saída *push-pull*. O que é um estágio *push-pull*?
8. (0,5 pt) Inclua as referências bibliográficas utilizadas.

Lembrem-se: o pré-relatório é indivudual. Questões respondidas "em grupo" terão sua pontuação devidamente descontadas.

As respostas a estas perguntas devem ser enviadas ao professor de laboratório por email, em arquivo **pdf**, com nome, matrícula, data, e título do experimento, com o enunciado das perguntas, além de suas respostas, **até as 23:59 do dia imediatamente anterior ao primeiro dia deste experimento**.

Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Avenida L3 Norte, CEP 70.910-900, Brasília - DF
Caixa postal 4386, fone +55 61 3307 2300, fone/fax +55 61 3273 8893, ftd@unb.br, www.ft.unb.br

Laboratório de Eletrônica

Experiência Nº 05: TJBs – amplificador em emissor comum - 2018/02

Turma: _____ **Data:** _____

Alunos:_____ Matrícula:_____

_____ Matrícula:_____

III - Procedimento Experimental

Material necessário

1 transistor BC548 ou BC338.
1 transistor TIP31.
1 transistor TIP32.
1 resistores 1 kΩ / 0,25 W.
2 resistores 4,7 kΩ / 0,25 W.
2 resistores 47 kΩ / 0,25 W.
1 resistor 36 kΩ / 0,25 W.
1 resistor 56 kΩ / 0,25 W.
2 resistores 100 kΩ / 0,25 W.
2 capacitores 4,7 µF / 16V.
1 capacitor 47 µF / 16V.
1 capacitor 220 µF / 25V.
1 microfone de eletreto.
1 alto-falante de 8Ω e pequena potência
Equipamentos: osciloscópio de dois canais, gerador de sinais, fonte de alimentação, multímetro digital

Experiências

Experiência 1 (4,0 pts). Monte o circuito da Figura 1, com os valores dos componentes apresentados na Tabela 1. Seja $v_s(t)$ uma onda senoidal de amplitude 20mV e frequência 1kHz. Realize **e documente** os seguintes experimentos:

(a) Se o sinal de saída saturar, reduza a amplitude da entrada até que o transistor esteja fora das zonas de corte ou de saturação. **Relate os seus procedimentos** até obter um sinal de entrada adequado. O que acontece com a componente AC da saída $v_o(t)$? Capture a forma de onda de $v_s(t)$ e $v_o(t)$.

(b) Aumente a amplitude do sinal $v_s(t)$. Capture a forma de onda de $v_s(t)$ e $v_o(t)$. O que acontece com a componente AC da saída $v_o(t)$?

(c) Volte às condições do item (a), utilizando o mesmo sinal de entrada daquele item. Faça $R_s = 0\Omega$. O que acontece com a componente AC da saída $v_o(t)$?

(d) Volte inicialmente às condições do item (a), utilizando o mesmo sinal de entrada e o mesmo valor de R_S daquele item. O que acontece com a componente AC da saída $v_o(t)$ quando $R_L = \infty\Omega$?

(e) Volte inicialmente às condições do item (a). A seguir, para estimar a faixa de operação do amplificador, varie a frequência do sinal de entrada entre 1Hz e 200KHz. Relate suas observações a respeito da faixa de operação do amplificador. Sugestão: Capture a forma de onda da entrada $v_s(t) \times t$ e da saída $v_o(t) \times t$ para alguns valores de frequência (**no mínimo, 10 valores**) de modo a

Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Avenida L3 Norte, CEP 70.910-900, Brasília - DF
Caixa postal 4386, fone +55 61 3307 2300, fone/fax +55 61 3273 8893, ftd@unb.br, www.ft.unb.br

ilustrar suas observações.

Importante: Para que valor de frequência vocês observaram uma queda no ganho de $\frac{1}{\sqrt{2}}$? Observe que $20log\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = -3$ dB. Por que este valor de frequência, onde há uma queda de −3 dB em relação ao valor do ganho em baixas frequências, é importante? Como se chama esta frequência? Qual a defasagem entre as ondas de entrada e saída para esta frequência observada no osciloscópio? Mostre esta figura em seu relatório, devidamente explicada e citada no texto.

Sugestão: Para ter certeza que estão utilizando os valores corretos das resistências, antes de começarem a montar o circuito, além de checarem o código de cores dos resistores escolhidos, meça com um ohmímetro o valor das resistências que estão sendo utilizadas.

Tabela 1. Parâmetros para o experimento 1.

Vcc	R_{B1}	R_{B2}	R_E	R_C	R_S	R_L	C_1	C_2	C_3	T_1
12V	56K	36K	4,7K	4,7K	1K	47K	4,7µF	47µF	4,7µF	BC548

Experiência 2 (2,0 pts). Acrescente ao amplificador estágios de entrada e de saída como mostra a Figura 2. Com grandes simplificações, podemos dizer que este é um amplificador de sinais de voz. Use de sua imaginação para testar algumas características deste amplificador. Relate e explique os procedimentos adotados**.**

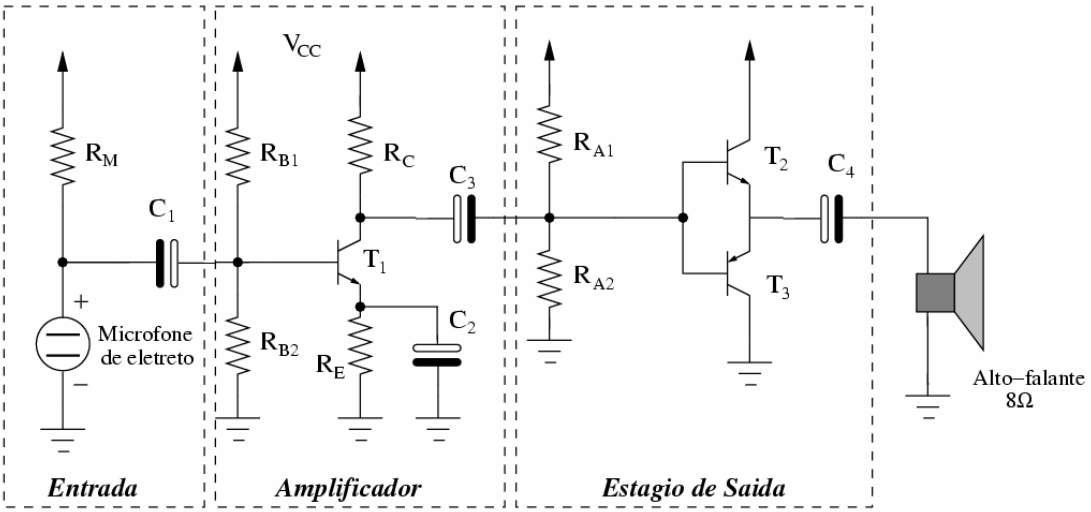


Figura 2: Amplificador de sinais de voz com estágio de saída *push-pull*.

Tabela 2. Parâmetros para o experimento 2.

C_4	R_M	R_{A1}	R_{A2}	T_2	T_3
220µF	1K	100K	100K	TIP31	TIP32

Questões experimentais e discussão

Questão 1 (3,0 pts). Em relação ao Experimento 1, responda:

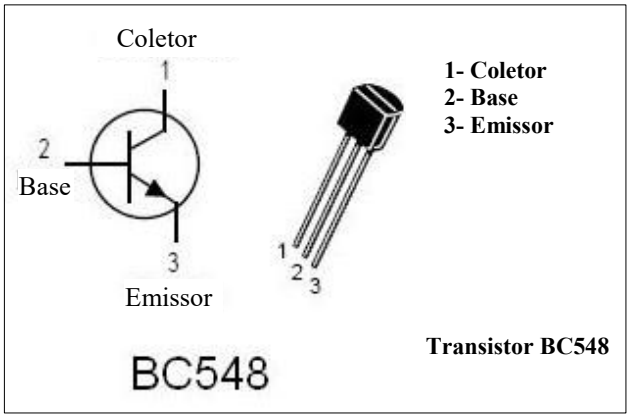
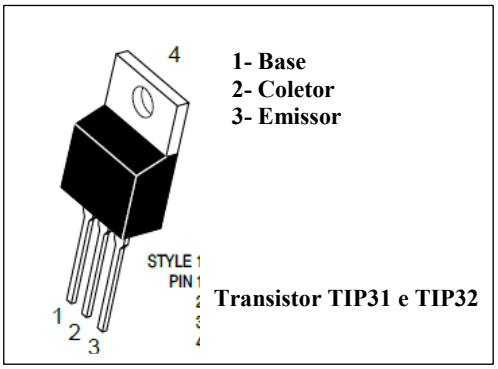
Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Gleba A, Avenida L3 Norte, CEP 70.910-900, Brasília - DF
Caixa postal 4386, fone +55 61 3307 2300, fone/fax +55 61 3273 8893, ftd@unb.br, www.ft.unb.br

(a) O ganho obtido em 1(a) está entre os valores obtidos no item 5 da parte teórica? Discuta.

(b) Explique o que acontece com a componente AC da saída $v_0(t)$ nos itens 1(b), (c) e (d), e procure justificar com base em seu conhecimento acerca do funcionamento do circuito.

(c) Explique porque o amplificador possui a faixa de operação obtida no item 1(e).

Questão 2 (1,0 pts). Enumere e explique alguns dos problemas observados no amplificador de áudio projetado no Experimento 2.

Lembre-se de colocar o **nome** e a **matrícula** de cada componente do grupo, além da **turma**.

Encapsulamentos