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 1 – 2018/02

Experiência Nº 04: TJBs - caracterização e ganho de emissor comum

I - Objetivos

O objetivo deste experimento é o estudo de transistores de junção bipolar (TJB). Em particular, serão realizadas medidas para a obtenção das curvas características $I_C \times V_{CE}$ e $I_C \times V_{BE}$ de um TJB.

Antes de começarem a preparar o pré-relatório, sugiro **fortemente** que assistam a esta excelente aula do prof. Adson Rocha, do ENE, sobre o TJB, "O transistor bipolar como chave", disponível em: https://youtu.be/g7FWZ32JBPk. Vejam que, no fundo, o funcionamento de um TJB pode ser analisado, aproximadamente, a partir de 2 diodos em série, como mostrado no vídeo. Não há desculpa para dizer que "não viram na teoria"! Mais informações da teoria encontram-se também no livro texto da disciplina. Em outras palavras, a responsabilidade de "ver na teoria" depende da iniciativa de vocês estudarem a teoria.

Outros links úteis 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 TIP31: 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 >.

  ➔ Neste experimento (parte I), serão levantados dados para que possamos traçar essas curvas ($I_C \times V_{CE}$ e $I_C \times V_{BE}$) a partir de dados experimentais.

- Najmabadi, F. **Bipolar-Junction (BJT) transistors**. 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/BJT1.pdf> Veja as sugestões de análise de circuitos com TJBs.

  ➔ Veja um exemplo de curva $I_C \times V_{CE}$ no final da página 80 destas notas de aula.

- Notas de aula do curso Signals & Systems (part 2), sobre transistores de junção bipolar. Disponível em: <http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/aero2_signals&systems/transistor%20circuit%20notes.pdf>.

  ➔ Veja um exemplo de curva $I_C \times V_{BE}$ na página 3 destas notas de aula, e um exemplo de curva $I_C \times V_{CE}$ na página 4 destas notas de aula. **Neste experimento serão levantados dados para que estas duas curvas possam ser traçadas a partir de dados experimentais. Portanto, faça as medições deste experimento com cuidado.**

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

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 diodos e das apostilas sugeridas acima.

Pré-relatório - INDIVIDUAL

O pré-relatório consistirá na resposta a perguntas propostas ao longo do texto. 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, como viram no Experimento 1.

Este roteiro foi preparado com base no texto e figuras do capítulo sobre Transistores Bipolares de Junção (TBJ) do livro do Sedra e Smith de Microeletrônica, listado no plano de ensino do curso. Mas vocês podem utilizar qualquer livro texto na área de eletrônica para responder as questões a seguir.

Um transistor de junção bipolar é formado pela junção de três seções de semicondutores com diferentes dopagens. A seção intermediária é normalmente bem mais estreita e uma das outras regiões costuma ser bem mais dopada (emissor). O transistor pode ser PNP ou NPN, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Estruturas ilustrativas e símbolo de circuito para transistores NPN e PNP.Figura 1: Estruturas ilustrativas e símbolo de circuito para transistores NPN e PNP.

1. (1,0 pt) Na aula do prof. Adson sobre "O transistor bipolar como chave", listado acima, por que se têm $V_0 = 15$ V quando $V_i = 0$V, mas $V_0 = 0$V quando $V_i = 5$ V no exemplo inicial? Inclua em sua resposta os circuitos equivalentes em cada caso e os respectivos textos explicativos, explicando o que está sendo mostrado em cada circuito equivalente.
2. (0,25 pt) Consulte o datasheet do transistor BC548. Este é um transistor NPN ou PNP?
3. (0,25 pt) Consulte o datasheet do transistor TIP31. Este é um transistor NPN ou PNP?
4. (1,5 pt) O roteiro pede para, no experimento 1, utilizar o transistor BC548 ou equivalente. Compare o datasheet de cada um dos seguintes transistores e comente se são ou não equivalentes ao BC548:

   (a) BC558; (b) BC549; (c) BC338.

   Justifique sucintamente sua resposta em cada caso, indicando as semelhanças e/ou as diferenças encontradas.
5. (0,5 pt) Os TJBs TIP31 e TIP32 podem ser considerados como equivalentes? Justifique sucintamente sua resposta.

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 2 mostra um transistor NPN polarizado para operar no modo ativo. Nestas condições, o responda as questões 6 a 10:

6. (0,5 pt) Neste circuito, a junção emissor-base está polarizada diretamente ou reversamente? Justifique sucintamente sua resposta.
7. (0,5 pt) Neste mesmo circuito, a junção coletor-base está diretamente ou reversamente polarizada? Justifique sucintamente sua resposta.
8. (0,5 pt) Porque se diz que, nestas condições, o transistor está operando no modo ativo? Em um transistor NPN, o fluxo de corrente se dá prioritariamente por elétrons ou lacunas? Explique sucintamente sua resposta.
9. (0,5 pt) Na região ativa, a tensão base-emissor determina a corrente de coletor. Explique sucintamente como isso acontece, em termos da polarização da junção base-emissor.
10. (0,5 pt) Na aula do prof. Adson, ele comenta que, na prática, não se pode conectar diretamente uma fonte de tensão entre a base e emissor, como a fonte V_{BE} da Figura 2, para que o transistor opere na região ativa. Por que não? Qual seria uma solução, apresentada pelo professor? Inclua, obrigatoriamente, em sua resposta os termos "tensão de junção p-n", "polarização direta", "base", "emissor", "0.7 V", "controle da corrente de polarização".

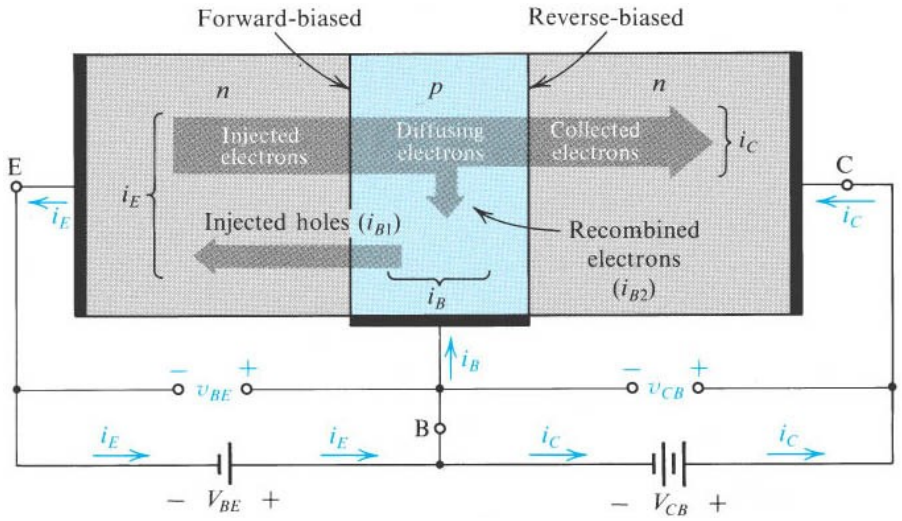


Figura 2: Fluxo de corrente em um transistor NPN polarizado para operar no modo ativo. (As componentes das correntes reversas devidas à deriva dos portadores minoritários gerados termicamente não estão mostrados.)

Observe que, nestas condições, $i_E = i_C + i_B$. A região ativa de operação é desejada em projetos de amplificadores. Um parâmetro muito útil é o **ganho de corrente de emissor comum** β_{DC}, definido como:

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1-\alpha} >> 1,$$

onde $\alpha = I_C / I_E$ é chamado de **ganho de corrente em base comum**.

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

Um valor típico para transistores NPN gerais é um valor de β_{DC} na faixa de 100 a 200, podendo eventualmente ser da ordem de 1000 para dispositivos especiais. Para $\beta = 100$, da equação anterior obtém-se que $\alpha \cong 0{,}99$. Como observado no livro texto, pequenas variaões em α correspondem a grandes variações em β.

O circuito a ser montado neste experimento está representado na Figura 3. Este circuito pode ser utilizado para a caracterização aproximada de transistores NPN de sinal. Considere que tanto V_{CC} como V_{BB} são fontes de tensão com valor positivo ou negativo. Dispondo de medições de R_E, R_C, V_{BE}, V_{CE}, V_{CC} e V_{BB}, responda:

11. (1,0 pt) Determine as **fórmulas literais** para as correntes I_B e I_C, com base nas medições disponíveis. **Estas fórmulas serão necessárias para a realização do experimento**. Assim, lembre-se de tê-las disponíveis no laboratório.
12. (1,0 pt) Suponha que, em regra geral, a impedância de entrada de um voltímetro digital seja maior do que a impedância de entrada de um osciloscópio digital. Sabendo disso, dispondo apenas de um osciloscópio e de um voltímetro, qual desses instrumentos seria mais apropriado para medir V_{BE}? E para medir V_{CE}? Justifique sucintamente sua resposta.
13. (1,0 pt) Em um simulador de circuitos de sua escolha, como o LTspice ou o PSpice, calcule o ganho de emissor comum β de um transistor NPN. Utilize os valores das resistências e tensões indicadas na Experiência 2 da Parte Experimental.
14. (0,5 pt) Proponha um circuito similar para caracterizar transistores PNP.
15. (0,5 pt) Inclua as referências bibliográficas utilizadas no formato ABNT.

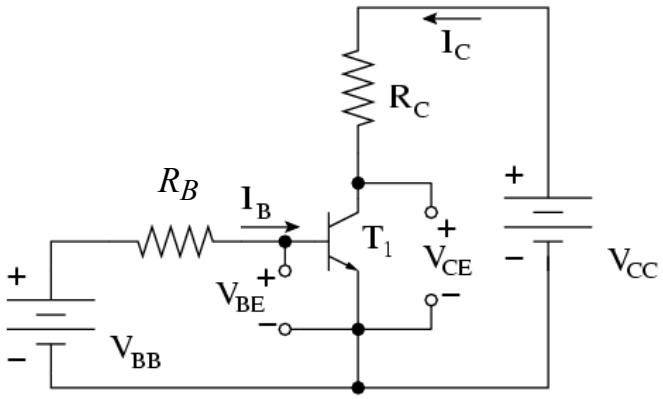


Figura 3: Circuito de caracterização de transistores NPN.

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

As respostas a estas perguntas devem ser enviadas ao professor de laboratório por email, em arquivo **pdf**, com nome, matrícula, data, turma 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**.

Pré-relatórios não recebidos até este prazo terão desconto de 2 pontos por dia de atraso.

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 1

Experiência Nº 04: TJBs – Caracterização e ganho de emissor comum - 2018/02

Turma: _____ **Data:** _____

Alunos:_____ Matrícula:_____

_____ Matrícula:_____

III - Procedimento Experimental

Material necessário

2 transistores BC548 ou equivalente
2 transistores TIP31 ou equivalente
1 resistor 10 KΩ / 0,25 W
1 resistor 330 Ω / 0,25 W
1 resistor 100 Ω / 0,25 W
Equipamentos: osciloscópio de dois canais, fonte de alimentação, multímetro digital

Experiências

Experiência 1 (3,0 pts). Monte o circuito da Figura 3, com R_B = 10 KΩ, R_C = 100 Ω e T_1 = BC548. Antes de montar o circuito, meça com o ohmímetro e anote os valores de R_B e R_C. Faça com que V_{BB} assuma cada um dos seguintes valores: -2V, -1V, 0V, 0.5V, 1V, 2V, 3V ou 5V. Para cada valor de V_{BB}, faça inicialmente V_{CC} igual a 10V e construa uma tabela de medições de V_{BE}, V_{CE}, I_B (calculado – vide item 11 do pré-relatório) e I_C (calculado – vide item 11 do pré-relatório). Repita o mesmo procedimento para V_{CC} = 5V e V_{CC} = 0V. Assim, assumindo **todas as combinações possíveis** de V_{BB} e V_{CC}, construa uma tabela de medições de V_{BE}, V_{CE}, I_B e I_C. **Mostre a tabela obtida ao professor/monitor**. (Sugestão de tabela ao final deste roteiro)

Importante: Costuma ser mais conveniente e, às vezes, mais preciso a determinação das correntes do circuito medindo-se as tensões nos terminais dos resistores e utilizando-se a lei de Ohm. **Assim, antes de começar a montar o circuito, meça com um ohmímetro o valor real das resistências que estão sendo utilizadas, com a maior precisão possível**. **Não utilize, em hipótese alguma, o amperímero para medição das correntes!**

Sugestões: (i) Meça V_{BE} com um voltímetro digital e V_{CE} com um osciloscópio ("Medidas" → "Vavg"). (ii) Utilize as fórmulas obtidas na questão 11 do pré-relatório para determinar I_B e I_C. (iii) **Meça R_E e R_C com um ohmímetro para melhor estimar I_B e I_C**.

Experiência 2 (2,0 pts). Considere o circuito da Figura 3 com R_B = 10 KΩ, R_C = 330 Ω e V_{CC} = 10V. Novamente, antes de montar o circuito, meça com o ohmímetro e anote os valores de R_B e R_C. A seguir:

(a) Para dois transistores T_1 e T_2 do tipo BC548 distintos, faça medições de I_B e I_C através das tensões sobre as resistências, seguindo este procedimento: *para cada transistor, a tensão V_{BB} deve ser ajustada de forma que V_{CE} seja igual a 5V*. A seguir, anote na tabela a seguir os valores obtidos para V_{CC}, V_{CE}, V_{BB} e V_{BE}.

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

	V_{CC} (V)	V_{CE} (V)	V_{BB} (V)	V_{BE} (V)	R_B (medido)	R_C (medido)	I_C (mA) (calc.)	I_B (mA) (calc.)
T_1								
T_2								

(b) Repita o item anterior para dois transistores T_1 = TIP31 distintos. **Mostre o funcionamento do circuito ao professor/monitor**. Siga as mesmas sugestões mencionadas no item anterior.

	V_{CC} (V)	V_{CE} (V)	V_{BB} (V)	V_{BE} (V)	R_B (medido)	R_C (medido)	I_C (mA) (calc.)	I_B (mA) (calc.)
T_1								
T_2								

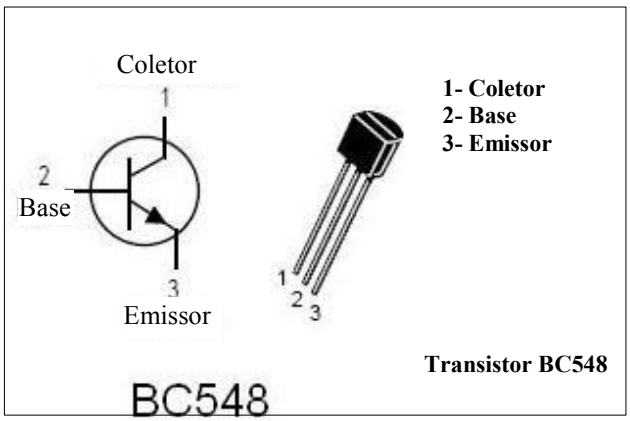
Questões experimentais e discussão

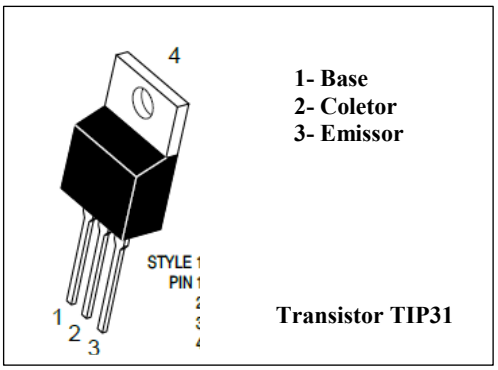
Questão 1 (4,0 pts). Construa **dois** gráficos distintos a partir dos dados obtidos na Experiência 1: I_C (mA) × V_{BE} (V), com uma curva para cada valor de V_{CC}, na mesma figura, e I_C (mA) × V_{CE} (V), com uma curva para cada valor de V_{BB}, na mesma figura. Ilustre nos gráficos em quais regiões de operação se encontra o transistor. **Comente** as figuras obtidas, descrevendo sucintamente a influência das tensões V_{BE}, V_{CE} , V_{BB} e V_{CC} sobre I_C.

Questão 2 (1,0 pts). Estime β a partir das medições de I_B e I_C obtidas na Experiência 2 para os transistores BC548 e TIP31. O que você observa com respeito à variabilidade das estimativas? **Comente** acerca das semelhanças/discrepâncias entre valores de β obtidos com dados experimentais e com os dados simulados (questão 13 do pré-relatório).

Lembre-se de apresentar os resultados, explicando sucintamente os passos seguidos no experimento. Sempre comente em seu relatório quaisquer ajustes necessários e outros comentários importantes para explicar os seus resultados obtidos e conclusões tomadas.

Encapsulamentos





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

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

Experimento 1 – Sugestão de tabela:

R_B medido com ohmímetro = Ω

R_C medido com ohmímetro = Ω

V_{CC} = 10 V

V_{BB} (V)	V_{BE} (V)	V_{CE} (V)	I_C (mA) (calculado: fórmula do pré-relatório)	I_B (mA) (calculado: fórmula do pré-relatório)
-2.00				
-1.00				
0.00				
0.50				
1.00				
2.00				
3.00				
5.00				

V_{CC} = 5 V

V_{BB} (V)	V_{BE} (V)	V_{CE} (V)	I_C (mA) (calculado: fórmula do pré-relatório)	I_B (mA) (calculado: fórmula do pré-relatório)
-2.00				
-1.00				
0.00				
0.50				
1.00				
2.00				
3.00				
5.00				

V_{CC} = 0 V

V_{BB} (V)	V_{BE} (V)	V_{CE} (V)	I_C (mA) (calculado: fórmula do pré-relatório)	I_B (mA) (calculado: fórmula do pré-relatório)
-2.00				
-1.00				
0.00				
0.50				
1.00				
2.00				
3.00				
5.00				