

**Objetivo:** Obter a curva característica para o transistor.

**Teoria**

Apesar do grande uso de circuitos integrados, o transistor “discret transistor” é indispensável no projeto de circuitos. Nesta prática, consta o uso do transistor tanto como amplificador quanto o uso do transistor como chave.

Desde que o transistor permite a amplificação de sinais, ele é dito ser um componente ativo. Dispositivos tais como resistores, capacitores, indutores e diodos não amplificam e, portanto são conhecidos como componentes passivos.

Existem dois tipos de transistor em uso:

- (a) O bipolar ou transistor de junção
- (b) O unipolar ou transistor de efeito de campo (FET).

Usualmente quando falamos transistor, é entendido o bipolar ou transistor de junção por ser este tipo mais usado que o unipolar. Bipolar significa que o funcionamento do transistor depende da circulação de electrons e da circulação de lacunas. Unipolar significa que a operação do transistor depende da circulação de electrons ou de lacunas, mas não de ambos.

Cada transistor é identificado por um código, fig.1. A “American manufacture” usa um código que começa com 2N. Para diodos o código começa com 1N. A “European manufacturers” usa um código que indica o tipo de semiconductor, silício ou germânio, e a destinação do transistor.

Por exemplo, para o BC 108, a primeira letra refere-se ao material semiconductor; “A” significa germânio e B significa silício. A segunda letra indica o uso apropriado do transistor; a letra “C” indica que ele pode ser usado como um amplificador de áudio freqüência. A letra “S” significa que o transistor é de uso apropriado como chave; e a letra “F” para radio freqüência.

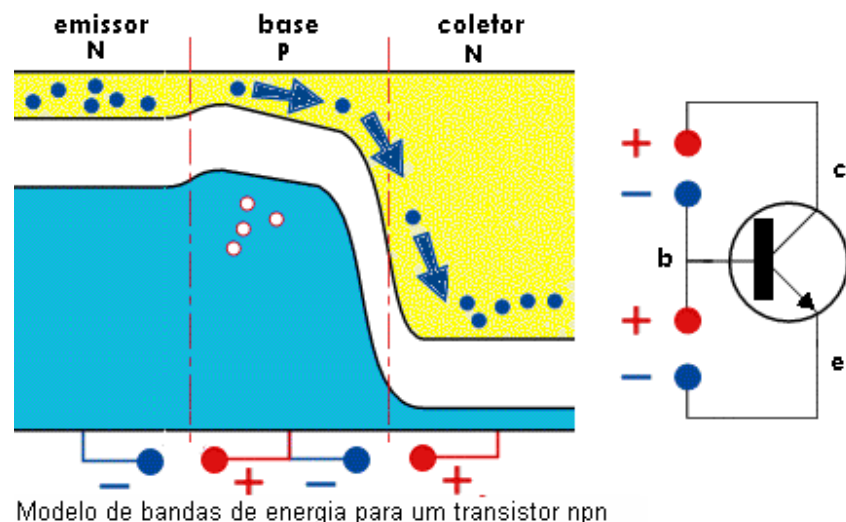
**Nota:** - Consultar catálogo adequado\*

Note que cada transistor tem três terminais. Estes terminais são chamados base, coletor e emissor. No caso do transistor TO3, o coletor está na casca metálica. O popular transistor BC107 tem sua casca metálica conectada internamente com o coletor.

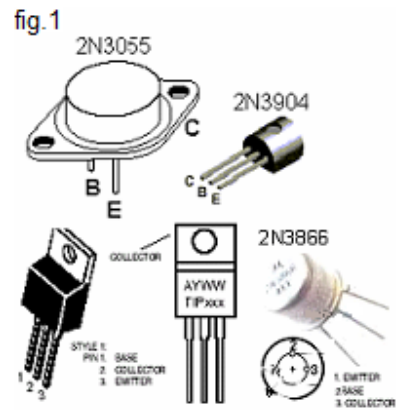
Existem dois tipos de transistores: o npn e o pnp. O símbolo eletrônico, estrutura e modelo de bandas de energia para o transistor são mostrados na fig.2.

Desde que o transistor bipolar é composto de duas junções p-n, é útil imaginar o transistor como dois diodos conectados juntos como mostra a fig.2 “diode model”.

Este modelo permite identificar um transistor desconhecido. Os circuitos equivalentes dos transistores bipolares npn e pnp estão compostos por diodos e se segue o mesmo procedimento para testar diodos retificadores.

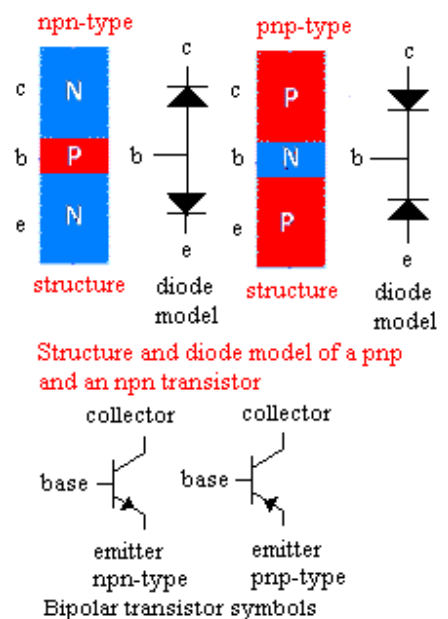


Modelo de bandas de energia para um transistor npn



Aparência de alguns transistores de silício

fig.2



Bipolar transistor symbols

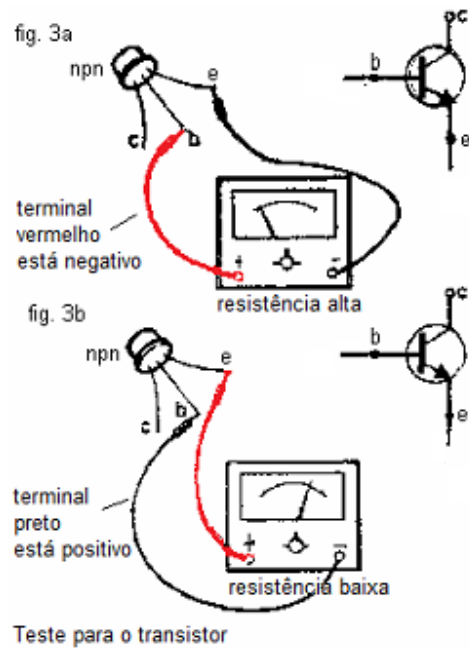
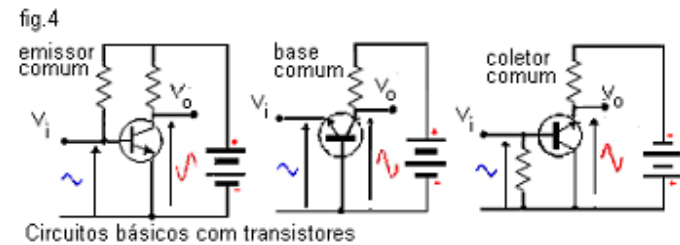
### Teste para o transistor

O teste é realizado entre o terminal da base “b” e os terminais “e” e “c”. Portanto se o transistor é do tipo npn, o diodo interno entre a base e o coletor, ou entre a base e o emissor está reversamente polarizado pela primeira conexão (alta resistência) como mostra a fig.3a e diretamente polarizado pela segunda conexão (baixa resistência) fig.3b.

Os transistores devem ser corretamente conectados em um circuito. O diagrama da fig.3 mostra como identificar o emissor, base e o coletor dos transistores comumente usados. Para isto, “switch” o multímetro na escala ohms x 1 ou ohms x 10. Note que o terminal vermelho tem polaridade negativa e o terminal preto tem polaridade positiva quando o multímetro analógico é “switched” em ohms.

### Configurações básicas

Polarização adequada para um amplificador classe A transistorizado, não importa a configuração, consiste de polarização direta para o circuito emissor-base e polarização inversa para o circuito coletor-base fig 4.



O circuito em emissor comum e seguidor de emissor funcionam, muito bem, nas frequências baixas, de audiofrequência, mas à medida que a frequência sobe, o surgimento de alguns efeitos compromete o funcionamento do transistor como amplificador. Sempre que é necessário um bom funcionamento do transistor em altas frequências ou um grande ganho de tensão, o circuito em base comum é o mais indicado.

### Retas de carga

É importante selecionar o valor de **Rb** para um amplificador de modo que não haja distorção do sinal amplificado. Mediante a linha de carga da característica de saída do transistor, o “circuit designer” pode selecionar o valor de **Rb** de modo a assegurar que a distorção seja minimizada.

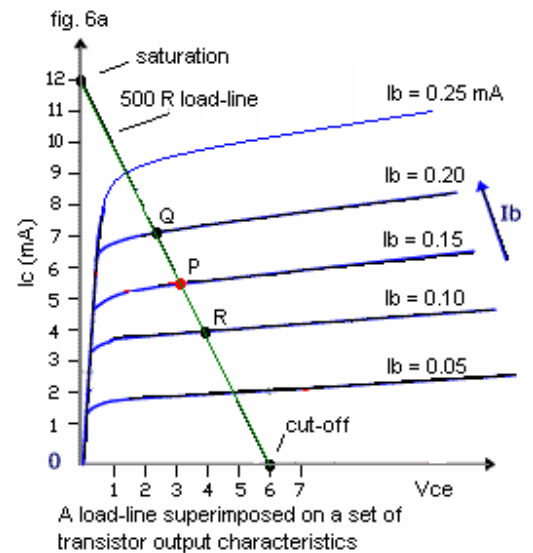
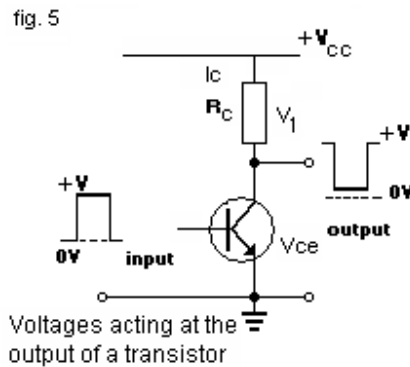
A fig.5 mostra as correntes e as voltagens no circuito de saída de um transistor. A voltagem da fonte,  $V_{cc}$ , está dividida entre o transistor e o resistor de carga  $R_c$ . Portanto:

$$V_{cc} = V_1 + V_{ce} \text{ ou } V_{ce} = V_{cc} - V_1. \text{ Como } V_1 = I_c \cdot R_c$$

$$\text{Então } V_{ce} = V_{cc} - V_1 = V_{cc} - I_c \cdot R_c$$

A equação  $V_{ce} = V_{cc} - I_c \cdot R_c$ , representa a equação do traço do gráfico, logo, os pares de pontos  $I_c$  e  $V_{ce}$ , estão contidos na reta. Esta linha é mostrada na fig.6a para o caso de  $R_c = 500 \Omega$  e  $V_{cc} = 6V$ , e é conhecida como linha de carga assim ela indica as condições de operação do transistor quando circula corrente no resistor de carga do coletor.

Mais acuradamente, esta linha é conhecida como “500Ω load-line”, desde que ela represente a relação entre  $V_{ce}$  e  $I_c$  para a resistência de carga  $R_c$  de 500Ω.



Note os seguintes pontos da fig 5.

- (a) Quando  $V_{ce} = 0$ ,  $V_c = I_c \cdot R_c$ . Portanto  $I_c = 6V/0.5K\Omega = 12 \text{ mA}$ . Realmente  $V_{ce}$  nunca atinge zero, mas 12mA é tomado como a máxima corrente de coletor, conhecida como saturação do transistor.
- (b) Quando  $V_{ce} = 6V$ ,  $I_c \cdot R_c = 0$ , ou  $I_c = 0$ . Esta é a condição conhecida como “cut-off” quando não há corrente circulando no transistor.

**Ponto de operação**

O ponto de operação do transistor deve estar na interseção da linha de carga com a curva característica do transistor. No caso, suponha que o “d.c. operating point” coincida com **P** na curva característica **Ic / Vce** mostrada na fig 6a. Neste ponto, note que  $I_c \cong 5\text{mA}$ ,  $I_b = 0.15\text{mA}$  e  $V_{ce} \cong 3.5\text{V}$ .

Agora suponha que em decorrência de uma variação de voltagem na junção base-emissor  $V_{be}$  a corrente de base aumente,  $I_b = 0.20\text{mA}$ . Desde que o transistor deve sempre operar sobre a linha de carga como também sobre a curva característica, o “d.c. operating point” está agora em **Q**; e se a corrente de base cair para  $0.1\text{mA}$ , causada pelo declínio de voltagem na junção base-emissor,  $V_{be}$ , o ponto de operação é movido para **R**.

Note, novamente, que o transistor opera como um “current-amplifier”; uma pequena variação em  $I_b$  dá origem a uma larga variação de  $I_c$ . A corrente de base é uma fração das correntes de coletor e emissor. Uma pequena corrente de base,  $I_b$ , controla uma corrente maior,  $I_c$ , corrente de coletor.

O “a.c. current gain” ( $h_{FE}$ ) é a razão entre a variação de  $I_c$  e a variação de  $I_b$ .

Isto pode ser calculado da fig.6a.

A variação da corrente de base entre os pontos Q e R é de  $0.1\text{mA}$ ; a variação da corrente de coletor entre os pontos Q e R é de  $3\text{mA}$ ;

portanto  $h_{FE} = 3 / 0.1 = 30$

Compare este valor com “d.c. current gain” em P.

O ganho em voltagem é a razão entre a variação da tensão de saída e a variação da tensão de entrada.

É necessário conhecer a característica tanto de saída quanto de entrada do transistor para achar o ganho em voltagem **A**. No caso,  $V_{ce}$  varia de  $2\text{V}$  quando o ponto de operação varia entre R e Q. Assumindo que este transistor tem a característica de entrada mostrada na fig.9, a uma variação em  $I_b$  de  $0.1\text{mA}$  corresponde a uma variação em  $V_{be}$  em cerca de  $0.04\text{V}$ . Assim, o ganho em voltagem

$$A = 2\text{V} / 0.04\text{V} = 50.$$

**Valor para o resistor de base.**

Estes resultados mostram que um amplificador com ganho de voltagem 50 pode ser construído usando um transistor com ganho de corrente **33**. Suponha que este transistor seja usado no circuito amplificador de áudio mostrado na fig. 6b .  $R_b$  deve ser escolhido de modo que  $I_b = 0.15\text{mA}$ . A queda de tensão no resistor  $R_b$ , é igual a  $(6 - 0.7)\text{V} = 5.3\text{V}$  desde que  $V_{be} = 0.7\text{V}$ . Portanto o valor de  $R_b$ , é  $(5.3\text{V} / 0.15\text{mA})\text{V} = 33\text{K}\Omega$ , aproximadamente.

O ponto P é escolhido de modo que, na ausência do sinal de entrada,  $V_{ce} = 3\text{V}$  (ou próximo), isto é a metade da tensão da fonte. Nesta condição, a voltagem de saída pode variar por cerca de  $2\text{V}$  para mais ou para menos sem distorção.

**Questão:**

-Desenhe o modelo de bandas de energia de um transistor **npn** em equilíbrio e convenientemente polarizado para operação como transistor.

**Conceitos examinados**

Impurezas doadoras, impurezas aceitadoras, banda de valência, banda de condução, intervalo de energia proibida, “doping”, junção p-n, nível de Fermi, transistor NPN, transistor PNP.

**Material**

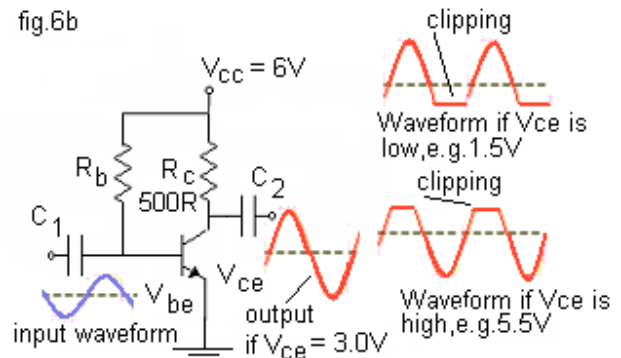
- Resistores- 22R/15W, 1K, 2K7
- Resistor variável (VR) - 100R/1W, 1K
- Transistor- 2N3053 ( ou outro de uso geral)
- Fonte de tensão ( bateria) - 12V
- Lâmpada- 12V/10W
- Multímetro
- Conectores

$$h_{FE} = \frac{\text{change in collector current}}{\text{change in base current}}$$

$$\beta \text{ (or } h_{FE}) = \frac{\text{steady collector current}}{\text{steady base current}} = 5 / 0.15 = 33$$

$$A = \frac{\text{change in output voltage}}{\text{change in input voltage}} = \frac{\text{change in } V_{ce}}{\text{change in } V_{be}}$$

fig.6b



The output waveform is distorted if the resistor does not have the right value

**Experimento 1. Ganho de corrente DC para o transistor.**

O circuito da fig.7 mostra como um amperímetro deve ser conectado para medir a corrente de base e a corrente de coletor.

**Procedimento**

- 1.Monte no “board” o circuito da fig.7
- 2.Selecione no multímetro a função corrente em 100mA ( ou próximo) e faça a conexão em série com a lâmpada.
- 3.Com a bateria conectada no circuito, ajuste o potenciômetro até que a lâmpada atinja seu brilho máximo. Meça e anote a corrente de coletor, **I<sub>c</sub>**.
- 4.Remova o miliamperímetro e reconecte a lâmpada no circuito.
- 5.Conecte o miliamperímetro na base do circuito como mostra a fig 7.
- 6.Ajuste o potenciômetro lentamente e observe o brilho da lâmpada. Assim que a lâmpada atingir o brilho máximo, meça e anote a corrente de base, **I<sub>b</sub>**.
- 7.Com o resultado de suas anotações determine o ganho de corrente d.c. do transistor.

Nota – A corrente de base é muito menor que a corrente de coletor, assim, é necessário selecionar uma escala de menor alcance (3mA ou próximo). Note que é muito importante medir a corrente de base logo que o transistor “switches on” a máxima de coletor, **I<sub>c</sub>**. Se a corrente de base continuar aumentando o brilho da lâmpada permanecerá inalterado. A corrente de coletor é dita ser saturada.

**Característica tensão-corrente para o transistor bipolar.**

As características de um transistor são gráficos que mostram as relações entre as várias correntes e tensões quando o transistor é usado como chave ou amplificador. O gráfico permite ao “circuit designer” decidir qual o melhor uso para o transistor.

Três gráficos mostrando estas características para um transistor npn podem ser obtidos com o circuito esquematizado na fig.8. O circuito permite que quatro quantidades sejam avaliadas:

- I<sub>b</sub> the base current
- I<sub>c</sub> the collector current
- V<sub>be</sub> the base-emitter voltage
- V<sub>ce</sub> the collector-emitter voltage

As três características que podem ser obtidas com este circuito são:

- “Input characteristic”
- “Output characteristic”
- “Transfer characteristic”

**Experimento 2. “The input (or base) characteristic.”**

A “input characteristic” mostra a relação entre a corrente de base, **I<sub>b</sub>** e a tensão base-emissor, **V<sub>be</sub>**. A característica de entrada é obtida sendo mantida a tensão coletor-emissor, **V<sub>ce</sub>**, constante e medindo-se **V<sub>be</sub>** para vários valores de **I<sub>b</sub>**.

**Procedimento**

- 1.Conecte no board o circuito da fig.8
- 2.Ajuste o potenciômetro **VR2** até obter a tensão **V<sub>ce</sub> = 3V** ( ou próximo)
- 3.Com o potenciômetro **VR1** varie a tensão **V<sub>be</sub>** em “steps” de 0.1 V , mantendo constante, **V<sub>ce</sub>**.
- 3.Meça e anote na tabela de dados os correspondentes valores da corrente de base.
- 4.Construa a característica de entrada do transistor.

Um típico resultado para um transistor de silício é mostrado na fig.9.

**Experimento 3. “The output (or collector) characteristic”**

A “output characteristic”, fig.6a mostra a relação entre a corrente de coletor, **I<sub>c</sub>**, e a tensão coletor - emissor, **V<sub>ce</sub>**. A característica de saída é obtida sendo mantida a corrente de base, **I<sub>b</sub>**, constante e medindo-se **I<sub>c</sub>** para vários valores de **V<sub>ce</sub>**.

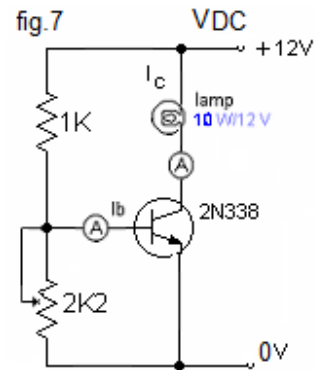


fig.7 Circuito prático para obter o “d.c. current gain” de um transistor npn

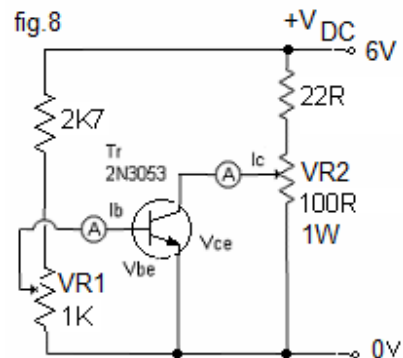


fig.8 Circuito prático para obter característica do transistor

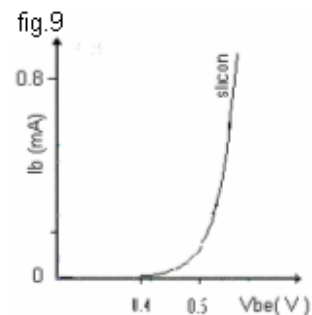


fig.9 Característica de entrada para o transistor de silício

data table I<sub>b</sub> versus V<sub>be</sub>

V <sub>be</sub> (V)
I <sub>b</sub> (mA)

**Procedimento**

1. Conecte no “board” o circuito da fig. 8.
2. Ajuste o potenciômetro **VR1** até obter a corrente de base  $I_b = 0 \text{ mA}$ .
3. Com o potenciômetro **VR2** varie a tensão **Vce** em “steps” de 1V mantendo constante  $I_b$ .
4. Meça e anote na tabela os valores de  $I_c$  correspondentes.
5. Repita os “steps” 3-4 para outros valores da corrente de base.

data table	$I_c$ versus $V_{ce}$
$I_b = 0 \text{ mA}$	
$V_{ce}$	
$I_c$	

data table	$I_c$ versus $V_{ce}$
$I_b = 0.05 \text{ mA}$	
$V_{ce}$	
$I_c$	

data table	$I_c$ versus $V_{ce}$
$I_b = 0.1 \text{ mA}$	
$V_{ce}$	
$I_c$	

data table	$I_c$ versus $V_{ce}$
$I_b = 0.15 \text{ mA}$	
$V_{ce}$	
$I_c$	

6. Construa a característica de saída do transistor. Um típico gráfico para um transistor de silício é mostrado na fig.6a “The transfer characteristic”

O gráfico da fig.10 é obtido com a variação de  $I_b$ , sendo mantido  $V_{ce}$  constante. O traço do gráfico é quase uma linha reta indicando que  $I_c$  é proporcional a  $I_b$  e amplificado por um fator chamado “a. c. current gain”  $h_{FE}$ :

$$h_{FE} = (\text{change in } I_c / \text{change in } I_b)$$

Note que há pouca diferença entre “a. c. current gain” e “d. c. current gain”.

\*www.datasheetcatalog.com

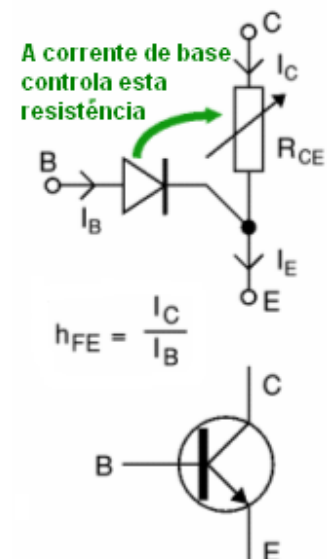
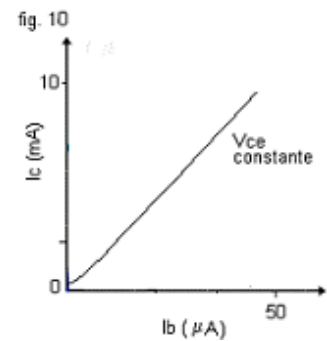
Nota adicional

**Modelo funcional para o transistor NPN**

- . A junção base-emissor comporta-se como um diodo
- . A corrente de base  $I_B$  circula somente quando a voltagem  $V_{BE}$  na junção base-emissor é 0.7V ou mais.
- . A pequena corrente de base controla uma corrente maior, a corrente de coletor  $I_C$
- .  $I_C = h_{FE} I_B$  ( exceto para o transistor “ful on” e saturado)
- .  $h_{FE}$  é o ganho de corrente ( DC current gain ), um típico valor para  $h_{FE}$  é 100
- . A resistência coletor-emissor  $R_{CE}$  é controlada pela corrente de base  $I_B$
- .  $I_B = 0$   $R_{CE}$  é infinita transistor “off”
- .  $I_B$  pequeno  $R_{CE}$  reduzida transistor parcialmente “on”
- .  $I_B$  aumentado  $R_{CE} = 0$  transistor full on ( saturado )
- . Frequentemente é necessário a conexão em série com a base de um resistor para limitar a corrente de base  $I_B$ .
- . Um transistor que está “full on” ( com  $R_{CE} = 0$  ) é dito está saturado.
- . Quando o transistor está saturado a voltagem coletor-emissor  $V_{CE}$  é reduzida a próximo de 0V
- . Quando um transistor está saturado a corrente de coletor  $I_C$  é determinada pela voltagem da fonte e pela resistência externa do circuito coletor, não mais pelo ganho de corrente do transistor.
- . A corrente de emissor  $I_E = I_C + I_B$ , como  $I_C$  é muito maior que  $I_B$ ,  $I_E \approx I_C$

**Referências:**

Brophy J. Eletrônica básica, Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro - RJ 1978.  
 Plant, Macolm. Basic Eletronics, London, SCDC Publications  
 Harowitz P.; Hill W. The Art of Eletronics, USA, Cambridge University Press, 1989.



Professor: Franklin Cruzio