



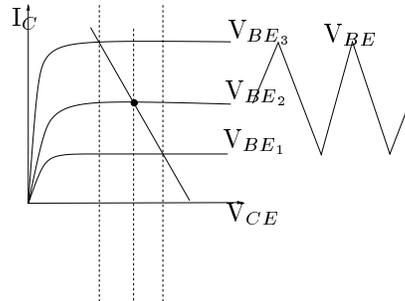
## Experimento III – Transistores Bipolares

### 1 Objetivo

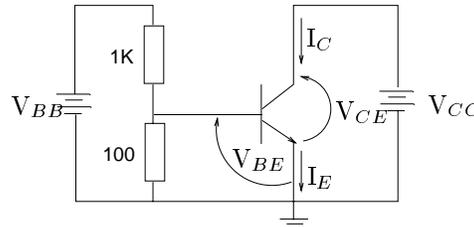
Levantar a família de curvas características de um transistor e saber identificar através dela as três principais regiões de operação. Familiarizar-se com os principais parâmetros nominais fornecidos pelos fabricantes. Conhecer alguns métodos de polarização. Aplicar este dispositivo em circuitos amplificadores.

### 2 Estudo Dirigido

1. Esboce a família de curvas de coletor de um transistor ( $I_C \times V_{CE}$ ) para distintos valores de tensão de polarização  $V_{BE}$ , indicando a região ativa e a região de saturação. Em qual região a corrente  $I_C$  praticamente independe da tensão  $V_{CE}$ ?
2. Caracterize as três (quatro) regiões de operação (corte, saturação, ativa (e ativa reversa)) de um transistor em termos da polarização das junções BC e BE de um transistor.
3. O que você entende por um ponto de operação, ou ponto quiescente, de um transistor?
4. Como se pode traçar uma curva de transferência ( $I_C \times V_{BE}$ ) para uma específica tensão  $V_{CE}$  a partir de uma família de curvas de coletor de um transistor?
5. Como se determina a partir da curva de transferência de um transistor a sua transcondutância  $g_m$  num ponto quiescente específico?
6. Esboce o sinal de saída  $V_{CE}$  para a entrada triangular dada



7. Dado um circuito de polarização fixa:



Por quê se recomenda, como boa prática de projeto de um amplificador de pequenos sinais, escolher um nível de polarização  $V_{BE}$  de tal forma que  $V_{CE}$  do ponto quiescente seja aproximadamente a metade da tensão  $V_{CC}$ ? (Dica: Lembre-se de que um sinal *ca* excursions em torno do ponto quiescente e que, normalmente, há um resistor inserido entre o coletor e a fonte.)

8. Mostre que uma aproximação de  $g_m$  para pequenos sinais é como dado abaixo, desde que o sinal *ca*  $v_{be}$  seja bem menor que  $V_T$

$$g_m \approx \frac{I_C}{V_T},$$

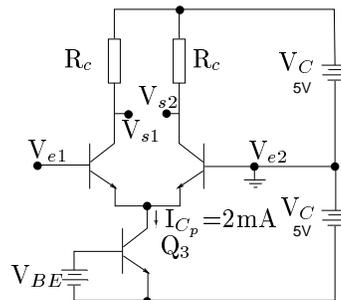
(Lembre-se de que  $V_T = \frac{KT}{q}$  é a tensão equivalente da temperatura  $T$  em Kelvin. À temperatura ambiente ( $T \approx 300K$ ),  $V_T \approx 26mV$ ).

9. Dado um ponto quiescente de um transistor, mostre que a relação entre a sua transcondutância  $g_m$  e o ganho de tensão  $G_v$  para pequenos sinais  $ca$  em torno deste ponto pode ser expressa por

$$G_v \approx -g_m R_c,$$

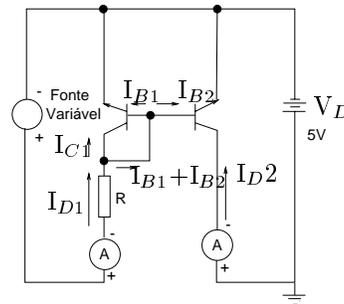
onde  $R_c$  é a resistência inserida no terminal de coletor do transistor.

10. O que você entende por ganho de tensão em decibel (dB)?
11. Considere que  $g_m = 0.04S$ . Qual deve ser a resistência  $R_c$  a ser inserida entre  $V_{CC}$  e o coletor do transistor no item 7 para que o ganho de tensão seja igual a 40dB? Se  $R_c = 0$  (o terminal coletor ligado na fonte  $V_{CC}$ ), qual será a forma do sinal  $V_{CE}$ ?
12. Para sinais de entrada  $ca$  de grandes amplitudes, pode-se ocorrer o fenômeno de ceifamento dos picos, provocando distorções nos sinais de saída do circuito do item 7. Explique.
13. Os sinais  $ca$  de entrada e os de saída estão em fase no circuito do item 7? Justifique.
14. O que significa, em termos da razão de frequências, que a frequência  $f_1$  é uma oitava acima da frequência  $f_2$ ? E quando é uma década acima?
15. O ganho de tensão varia com a frequência do sinal de entrada  $ca$ . O que você entende por frequência de corte?
16. O seguinte circuito é um amplificador diferencial. Admitindo que os dois transistores sejam iguais, explique o princípio do seu funcionamento.

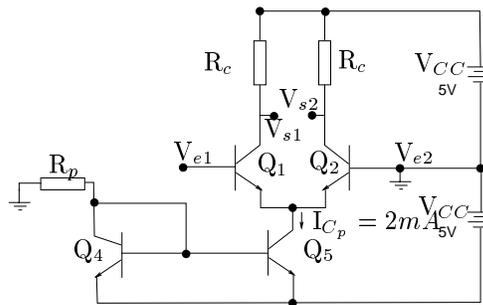


O ganho diferencial de um amplificador diferencial é  $G_d = \frac{V_{s2} - V_{s1}}{V_{e2} - V_{e1}}$ . Qual é a relação entre o ganho de tensão de um amplificador diferencial  $G_d$  constituído por um par de transistores (teoricamente) iguais e o ganho de tensão  $G_v$  do mesmo transistor operando individualmente com a mesma corrente  $I_C$  fluindo no ramo do coletor?

17. Qual é a relação entre a resistência  $R_c$ , a transcondutância  $g_m$  do transistor e o ganho diferencial  $G_d$  do circuito do item 16?
18. Ao ligar a base de um transistor bipolar com o seu coletor, onde se localizam os pontos de operação do transistor nas curvas de coletor? Esboce a curva de operação no gráfico de curvas de coletor. A curva é aproximadamente linear?
19. O seguinte circuito é um espelho de corrente. Explique o seu funcionamento. Note que os dois transistores possuem o mesmo  $V_{BE}$  e eles são teoricamente iguais. Qual deve ser o valor da resistência  $R$  de forma que a corrente que flui por ele seja  $I_{D1} = 2mA$  com uma fonte de tensão de valor 5V? Qual é a razão entre as correntes  $I_{C1}$  e  $I_{B1}$ ? Assumindo que o ganho de corrente  $\beta_F$  dos transistores seja igual a 100, calcule quanto vale as correntes  $I_{C1}$ ,  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$  para  $I_{D1} = 2mA$ ? Como se pode aproximar a razão entre as correntes  $I_{D1} = I_{C1} + I_{B1} + I_{B2}$  (de controle) e  $I_{D2}$  (corrente espelhada)?



20. Podemos substituir a fonte  $V_{BE}$  do circuito do item 16 por um espelho de corrente para controlar a corrente  $I_{Cp}$ , como ilustra o seguinte circuito. Qual é a relação entre o valor de  $R_p$  e  $V_{CC}$ ?



21. Consulte a folha de dados do CI 3046. Quantos transistores npn são integrados num substrato monolítico comum dentro do CI? Quantos pares destes transistores são conectados internamente como um amplificador diferencial no CI? Qual é o valor típico de  $V_{BE}$  para (a)  $I_C \sim 1 \text{ mA}$ ? e (b)  $I_C \sim 10 \text{ mA}$ ?
22. Leia atentamente as propostas do experimento e faça os esquemáticos elétricos das montagens.

### 3 Componentes

- 1 CI 3046
- 1 soquete de 7 pinos
- 1 resistor de  $1\text{K}\Omega$
- 1 resistor de  $100\Omega$
- 4 resistores a serem determinados

Trazer ainda uma folha de papel milimetrado e uma folha de papel semi-log.

### 4 Parte Experimental

Importante: Na montagem, mantenha o terminal de substrato (pino 13) do CI 3046 sempre no menor potencial do circuito.

**Características de um BJT:** Utilize o circuito mostrado no item 7 da seção 2 para obter algumas características do transistor bipolar CI 3046.

1. Fixe em  $V_{CE}=2.5\text{V}$  e varia a tensão  $V_{BE1}$  da fonte até que  $I_C = 1\text{mA}$ .

$$V_{BE1} = \boxed{\phantom{00000}}$$

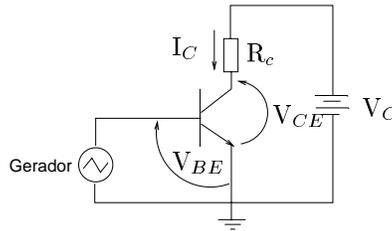
2. Complete a seguinte tabela:

$V_{CE}$ (V)	$I_C$ (mA)				
	$V_{BE_1} - 60mV$	$V_{BE_1} - 30mV$	$V_{BE_1}$	$V_{BE_1} + 30mV$	$V_{BE_1} + 60mV$
0.05					
0.08					
0.1					
0.2					
0.5					
1.0					
2.5					
5.0					
7.5					

3. Componha numa folha de papel milimetrado uma família de curvas de coletor, parametrizadas em  $V_{BE}$ .
4. Esboce a curva de transcondutância  $I_C \times V_{BE}$  para  $V_{CE}=2.5V$ . Determine graficamente a transcondutância ( $g_m$ ) do transistor no ponto de operação  $I_C=1mA$ . Indique os pontos da curva que você utilizou. Compare-o com o valor esperado.

$$g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} =$$

**Amplificador/Polarização Fixa:** Um transistor pode ser utilizado no projeto de um amplificador de sinal  $ca$ , se o ponto quiescente estiver localizado na região ativa e  $R_c$  (impedância)  $\neq 0$ .



1. Determine a resistência  $R_c$  para o ganho de tensão  $G_v = 40$  dB e  $I_C = 1mA$ . Com o uso do gerador de funções, aplique uma onda triangular ( $20mV_{pp}$ , frequência 5kHz) à base do transistor para certificar o funcionamento do circuito. Registre o ganho obtido experimentalmente e compare-o com o ganho esperado. Imprima as formas de onda de entrada e de saída, com base nas quais você verificou o ganho  $G_v$ . Comente.

$$R_c =$$

$$G_v =$$

**Atenção:** Para não queimar o transistor, ajuste o nível do *offset* do sinal do gerador para  $I_C=1mA$  antes de aplicá-lo na base do transistor.

2. Complete a seguinte tabela:

Freq. (KHz)	$V_{BE_{pp}}$	$V_{CE_{pp}}$	$G_v$	$20 \log(G_v)$
0.01				
0.1				
1				
10				
100				
1000				
10000				

3. Trace a curva  $G_v$  (dB)  $\times$  frequência(Hz) numa folha de papel semi-log e determine graficamente as frequências de corte inferior  $f_{c_i}$  e superior  $f_{c_s}$ . Procure obter mais amostras em torno das frequências críticas. Imprima os sinais de entrada e de saída na frequência de corte  $f_{c_s}$  determinada experimentalmente. Comente os resultados.

$$f_{c_i} =$$

$$f_{c_s} =$$

$$\text{Largura de banda} = f_{c_s} - f_{c_i} =$$

4. Aplique uma onda triangular ( $50\text{mV}_{pp}$ , frequência  $5\text{kHz}$ ) e compare a onda de saída com a anterior, na mesma frequência. Justifique as eventuais distorções (ceifamento nos picos dos sinais). Imprima o sinal de saída.

**Amplificador Diferencial:** Considere o circuito de um amplificador diferencial do item 20 da seção 2.

1. Determine o valor de  $R_p$  de forma que  $I_{C_p} = 2\text{mA}$ . Monte primeiramente o espelho de corrente, sem os dois ramos com os transistores  $Q_1$  e  $Q_2$ . Insira um amperímetro entre o coletor de  $Q_5$  e o terra. Meça a corrente espelhada  $I_{C_p}$ . Compare o valor medido com o valor esperado.

$$R_p =$$

$$I_{C_p} =$$

2. Finalize a montagem do amplificador diferencial. Para comprovar o funcionamento do circuito, aplique um sinal triangular com amplitude de  $20\text{mV}_{pp}$ , frequência  $5\text{kHz}$ , em  $V_{e1}$ . Imprima o sinal de saída. Determine o ganho diferencial do circuito. Compare-o com o ganho esperado e com o ganho obtido no amplificador de um transistor. Observe ainda a forma do sinal de saída e compare-a com a do amplificador de um transistor.

$$G_d =$$