

EE531 - TURMA S

Transistores bipolares

Laboratório de Eletrônica Básica I - Segundo Semestre de 2010

PROFESSOR: JOSÉ CÂNDIDO SILVEIRA SANTOS FILHO

DANIEL LINS MATTOS	RA: 059915
RAQUEL MAYUMI KAWAMOTO	RA: 086003
TIAGO CHEDRAOUI SILVA	RA: 082941

1 de outubro de 2010

Para o presente experimento, tem-se como objetivo o estudo dos transistores bipolares, em especial o de configuração emissor comum. Para tal, realizar-se-ão o cálculo do ponto de operação, a análise para pequenos sinais, os efeitos da temperatura nas características da configuração emissor comum e a verificação da estabilidade do ponto de operação e do ganho.

Para tal experimento, foram utilizados um resistor, podendo ser de valor 470Ω , $1.2k\Omega$, $5.1k\Omega$, $15k\Omega$, $100k\Omega$, $560k\Omega$, $750k\Omega$; um trimpot (20 voltas, de $10k\Omega$), um capacitor de $1\mu F$ e um transistor bipolar NPN, BC548.

Parte Experimental

Inicialmente, com um multímetro adequado, foi medido o ganho de corrente DC (β_{cc}) do transistor bipolar. Esta medição resultou em um valor de ganho de corrente $\beta_{cc}=295$.

Em seguida, analisando-se o circuito de um amplificador na configuração emissor comum, da figura 1, foi calculado o valor da resistor para que se tenha uma tensão no coletor de $V_c=8V$. Fazendo-se os cálculos, chega-se a um valor de resistência $R_{B1} = 723k\Omega$.

$$I_C = \frac{15 - 8}{1.2k} = 5.83mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{1.2k} = 19.77\mu A$$

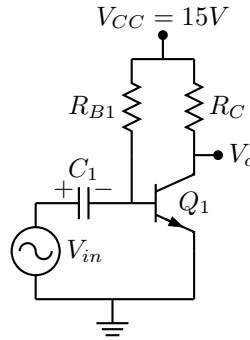


Figura 1: Circuito 1

Considerando-se que a tensão $V_{BE} = 0.7V$, então a tensão de $V_B = 0.7V$, já que o emissor está aterrado. Portanto, a resistência $R_{B1} = \frac{15-7}{I_B} = 723.3k\Omega$.

Feita esta análise teórica, foi utilizado um multímetro para medir o valor de R_C e de R_{B1} . As medidas encontradas foram, para cada resistência, respectivamente de $1,15k\Omega$ e $557k\Omega$. A seguir, foi montado o circuito da figura 1, na qual obteve-se um $V_C = 5.61V$ e um $V_B = 0.67V$. Calculando-se I_C , I_B e β obteve-se, respectivamente, $I_C = 8.16mA$, $I_B = 25.72\mu A$ e $\beta = 317.5$. Ou seja, estes são os valores experimentais.

Calculando-se usando valores teóricos, na qual $V_C = 8V$, $V_B = 0.7V$ e $R_C = 1.2k\Omega$ tem-se para $I_C = 5.83mA$, $I_B = 19.77\mu A$ e $\beta = 294.89$.

Feita a análise DC do circuito da figura 1, é feita agora uma análise de pequenos sinais para o mesmo. Para esta etapa, são calculadas (1) a impedância de entrada R_{in} do circuito, (2) a frequência

de passagem determinada por C_C e R_{in} , (3) a transcondutância do bipolar operando nesta condição e o (4) ganho ($\frac{v_c}{v_{in}}$).

$$R_{in} = R_{B1} || r_{\pi} \quad (1)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_C R_{in}} \quad (2)$$

$$g_m = \frac{I_c}{V_T}, \text{ sendo } V_T = 25mV \quad (3)$$

$$A_v = -g_m R_C \quad (4)$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} \quad (5)$$

Os valores, tanto teórico quanto experimental, calculados para tais medidas da análise de pequenos sinais encontram-se na tabela abaixo.

	Valor teórico	Valor experimental
R_{in}	1261.67 Ω	971.04 Ω
f_c	126.15 Hz	163.90 Hz
g_m	0.23 A/V	0.32 A/V
A_v	-268.18 V/V	-375.36 V/V
r_{π}	1264.53 Ω	972.73 Ω

Tabela 1: Dados calculados circuito 1

Aplicando um sinal de 10mVp (offset = 0 e frequência = 10kHz) na entrada v_{in} do circuito através do capacitor de acoplamento, encontra-se o ganho experimental, na qual seu valor é de $A_v = 243.3V/V$. A tensão $v_{in} = 24.0mV$ e $v_c = 5.84V$ e o ganho é de $\frac{v_c}{v_{in}}$.

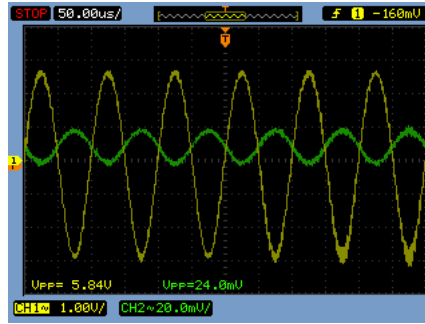


Figura 2: Sinal de entrada e saída do circuito 1

Feita a etapa anterior, continua-se monitorando constantemente o sinal do coletor com o osciloscópio enquanto o transistor é aquecido com o ferro de soldar e observa-se qual o efeito da temperatura tanto no ganho da tensão quanto no valor da tensão cc do coletor (V_c).

Aquecendo-se o transistor no circuito da figura 1, percebe-se que a tensão do coletor cai consideravelmente, o que nos leva a concluir que o ganho aumenta, a transcondutância (g_m) aumenta e I_C aumenta também.

Para o circuito 1 a análise já está terminada, passando-se assim para a análise do circuito da figura 3.

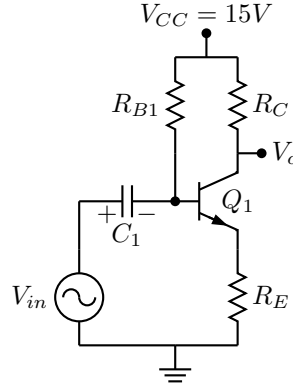


Figura 3: Circuito 2

Para a montagem do circuito 2, desconectou-se o gerador de sinais e foi introduzido um resistor de emissor (R_E) no circuito, como ilustra o circuito da figura 3. Novamente, recalcula-se o valor de R_{B1} , porém para o circuito 2.

$$I_c = \frac{15 - V_C}{R_c} = \frac{15 - 8}{1.2k} \cong 5.83mA$$

$$I_E = \frac{\beta + 1}{\beta} I_c = \frac{296}{295} 5.83mA \cong 5.85mA$$

$$V_E = R_E I_E = 470\Omega 5.85mA \cong 2.75V$$

$$V_B = V_E + 0.7 = 3.45V$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5.83mA}{295} = 19.76\mu A$$

$$R_{B1} = \frac{15 - V_B}{I_B} = \frac{15 - 3.45}{19.76\mu A} \cong 584.5k\Omega$$

Os valores teóricos para as tensões V_B, V_C e V_E e para as correntes I_B, I_C e I_E são respectivamente, $V_B = 3.45V$, $V_C = 8.0V$, $V_E = 2.75V$, $I_B = 19.76\mu A$, $I_C = 5.83mA$ e $I_E = 5.85mA$. O ganho experimental é de $\beta = 295.04$.

Encontrado o valor de R_{B1} , usa-se uma resistência de $560k\Omega$ experimental e medem-se as tensões V_B, V_C e V_E e as correntes I_B, I_C e I_E . Com um multímetro, calculou-se V_B, V_C e V_E . Seus respectivos valores são $V_B = 3.89V$, $V_C = 8.27V$ e $V_E = 2.91V$.

$$I_c = \frac{15 - V_C}{R_c} = \frac{15 - 8.27}{1.2k} \cong 5.85mA$$

$$I_B = \frac{15 - V_B}{R_{B1}} = \frac{15 - 3.89}{557k} = 19.95\mu A$$

$$I_E = I_B + I_C \cong 5.85mA$$

$$\beta_{CC} = \frac{I_C}{I_B} = 293.23$$

Foi feita análise de pequenos sinais também para o circuito da figura 3.

$$R_{in} = R_{B1} || (\beta + 1)(r_e + R_E) \quad (6)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_c R_{in}} \quad (7)$$

$$g_m = \frac{I_c}{V_T}, \text{ sendo } V_T = 25mV \quad (8)$$

$$A_v = \frac{-g_m R_C}{1 + g_m R_e} \quad (9)$$

$$r_e = \frac{\beta}{(\beta + 1)g_m} \quad (10)$$

Os valores, tanto teórico quanto experimental, calculados para tais medidas da análise de pequenos sinais encontram-se na tabela abaixo.

	Valor teórico	Valor experimental
R_{in}	112.80k Ω	111.30k Ω
f_c	1.41 Hz	1.43 Hz
g_m	0.23 A/V	0.23 A/V
A_v	-2.54 V/V	-2.54 V/V

Tabela 2: Dados calculados circuito 2

Aplicando um sinal de $10mV_p$ (offset = 0 e frequência = 10kHz) na entrada v_{in} do circuito 2 através do capacitor de acoplamento, encontra-se o ganho experimental, na qual seu valor é de $A_v = 2.43V/V$. A tensão $v_{in} = 46mV$ e $v_c = 122mV$ e o ganho é de $A_v = \frac{v_c}{v_{in}}$.

Aquecendo-se o transistor no circuito 2, percebe-se que a tensão do coletor cai, havendo um aumento de I_C , mas devido a existência do R_E , tanto V_E quanto I_E aumentam. Portanto, I_C é induzido a uma estabilização. Assim, o circuito possui certa estabilidade quanto ao ponto de operação.

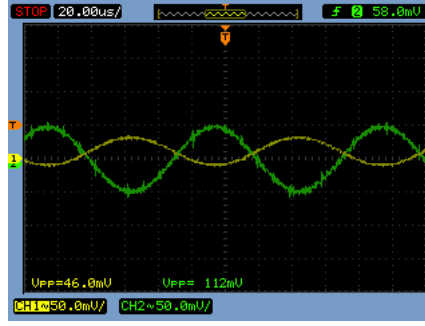


Figura 4: Sinal de entrada e saída do circuito 2

Em seguida, foi desconectado o gerador de sinais e substituiu-se o $R_{B1} = 15k\Omega$ e introduziu-se o trimpot (R_{B2}) no circuito, gerando o circuito da figura 4. Feito isto, como o trimpot é um resistor de resistência variável, ele foi ajustado, alterando o ponto de operação do circuito de forma a se obter a máxima excursão de sinal de saída $V_C = 8.0V$. O valor de R_{B2} ajustado é de $R_{B2} = 4.73k\Omega$.

Com este valor de $R_{B2} = 4.73k\Omega$, foi medido os valores de $V_B = 3.5V$, $V_C = 8.02V$ e $V_E = 2.85V$. E o valor medido de R_E é $R_E = 467.9\Omega$.

Calcula-se, para os valores de resistência obtidos através das medidas indicados, os valores de corrente pedidos:

$$I_C = \frac{(15 - 8.02)}{1.15K} = 6.07mA$$

$$I_E = \frac{2.85}{467.9} = 6.09mA$$

$$I_B = I_E - I_C = 20\mu A$$

Nesse caso $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 303.5$, que é um valor próximo do valor medido no início do experimento.

Para este circuito 3, também foi feita análise de pequenos sinais.

$$R_{in} = R_{B1} || R_{B2} || (\beta + 1)(r_e + R_E) \quad (11)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_c R_{in}} \quad (12)$$

$$g_m = \frac{I_c}{V_T}, \text{ sendo } V_T = 25mV \quad (13)$$

$$A_v = \frac{-g_m R_C}{1 + g_m R_e} \quad (14)$$

$$r_e = \frac{\beta}{(\beta + 1)g_m} \quad (15)$$

Os valores, tanto teórico quanto experimental, calculados para tais medidas da análise de pequenos sinais encontram-se na tabela abaixo.

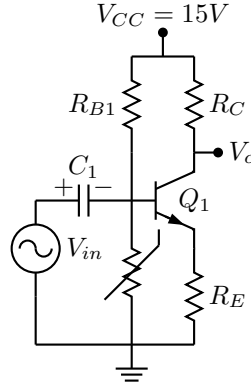


Figura 5: Circuito 3

	Valor teórico	Valor experimental
R_{in}	4539.64 Ω	3505.31 Ω
f_c	35.0 Hz	45.40 Hz
g_m	0.23 A/V	0.23 A/V
A_v	-2.54 V/V	-2.54 V/V

Tabela 3: Dados calculados circuito 3

Aplicando um sinal de $10mV_p$ (offset = 0 e frequência = 10kHz) na entrada v_{in} do circuito 3 através do capacitor de acoplamento, encontra-se o ganho experimental, na qual seu valor é de $A_v = 2.43V/V$. A tensão $v_{in} = 46.0mV$ e $v_c = 112mV$ e o ganho é de $A_v = \frac{v_c}{v_{in}}$.

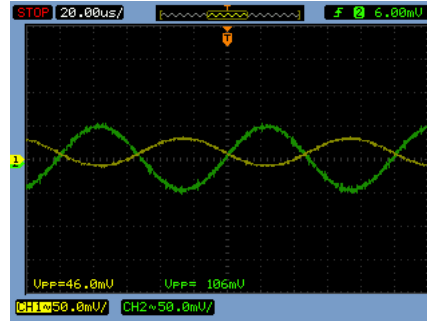


Figura 6: Sinal de entrada e saída do circuito 3

Aquecendo-se o transistor no circuito da figura 5, percebe-se que o circuito é quase estável quanto ao ponto de operação e ao ganho de tensão. A tensão no coletor vai diminuindo gradualmente e quando atinge uma tensão aproximada de 7.5V, se estabiliza. Como o aquecimento do transistor, V_{pp} também diminuiu, estabilizando em 100mV, aproximadamente.

Conclusão

Como foi possível verificar durante o experimento os valores teóricos foram compatíveis com os valores obtidos na prática, como os valores de β que foram próximos daquele medido com o multímetro.

Foi interessante observar também a validade da análise de pequenos sinais para os três amplificadores emissor comum tratados na experiência.

Finalmente, o efeito da temperatura nos transistores TBJ foi também comprovado. Isso mostra a capacidade do TBJ de ser aplicado, por exemplo, em sensores de térmicos, mas também é um aviso que o engenheiro deve prestar atenção nas condições de temperatura nas quais o seu sistema será aplicado, pois com a variação de temperatura o TBJ pode sair da zona de operação desejada.