

3 Relatório

3.1 Introdução

Nesta prática, será explorado o funcionamento de um transistor bipolar de junção do tipo NPN.

O transistor é um semiconductor composto de 3 terminais. A proposta de funcionamento do transistor é realizar o controle do fluxo de corrente em um dos terminais ajustando a tensão entre os outros dois. Dependendo da dopagem de cada um dos terminais é possível controlar tão bem a passagem de corrente que o dispositivo pode ser utilizado como uma chave, mas este tipo de dopagem não será abordada nesta prática. O funcionamento da dopagem aqui abordada pode ser comparada à de um amplificador de corrente.

Cada um dos terminais tem uma nomenclatura diferente, sendo elas: emissor, base e coletor. A construção do dispositivo faz com que a base seja sempre o terminal entre o emissor e o coletor.

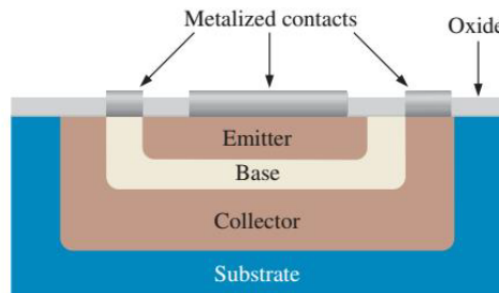


Figura 2: Corte na montagem de um transistor TBJ

Em suma, o controle de corrente é feito através do controle da tensão entre a região de base e emissor. A corrente controlada é a que flui do coletor para o emissor.

Devido às suas características semicondutoras, o transistor precisa que certas condições de polarização sejam respeitadas para o seu correto funcionamento. Existem 3 condições de operação para o transistor, sendo elas: corte (quando não há passagem de corrente), ativo (quando há passagem de corrente e que respeita as condições de controle) e saturação (quando não é possível controlar a passagem de corrente). A relação entre as condições de polarização dos terminais e de operação do transistor estão representadas na tabela abaixo.

Modo	JEB	JCB
Corte	Reversa	Reversa
Ativo	Direta	Reversa
Saturação	Direta	Direta

Tabela 1: Modos de operação do TBJ

A dopagem do transistor aqui utilizada será a NPN. Neste tipo de dopagem é possível controlar o fluxo de corrente entre o coletor e o emissor através da aplicação de correntes muito pequenas na base.

Para a correta operação do transistor é necessário dimensionar as resistências associadas à base e ao coletor em função das tensões de entrada (V_{bb} e V_{cc}). Além disso, é importante ressaltar que a junção base-emissor é uma junção PN e comporta-se como um diodo, sendo necessário considerar a queda de tensão na junção BE como parte fundamental da operação do circuito. Uma polarização simples do transistor é feita como esquematizada na figura abaixo.

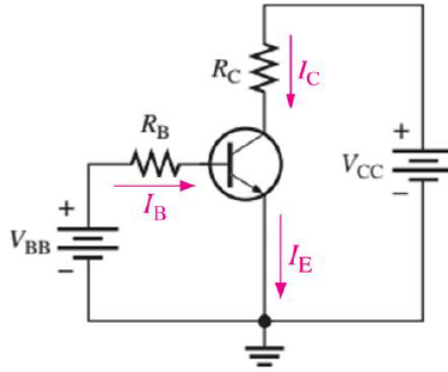


Figura 3: Circuito de polarização simples do transistor NPN

O equacionamento das relações relevantes entre correntes e tensões do circuito pode ser feito da seguinte forma:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (1)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (2)$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad (3)$$

Dependendo das condições de operação desejadas pode-se utilizar as equações acima para condicionar o funcionamento do circuito à maneira desejada.

Finalmente, por convenção, as relações entre as correntes que fluem entre os terminais do transistor são dadas da seguinte forma:

$$I_E = I_B + I_C \quad (4)$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad (6)$$

É possível encontrar o valor β no datasheet do dispositivo como h_{fe} .

3.2 Análises

Dadas os requisitos de corrente e queda de tensão na Seção 2, foi possível calcular os valores ideais para as resistências R_B e R_C , cujos cálculos estão representados na mesma seção conjuntamente com a diferença entre os requisitos e os valores obtidos utilizando resistências de valores comerciais.

Como o transistor bipolar NPN pode ser representado como uma junção de dois diodos, temos que é possível medir sua queda de tensão da mesma forma que se mede uma junção PN. Sendo assim, para testar os TBJs podemos utilizar a função de medição de diodo contida no multímetro e, em relação a base, podemos medir as tensões no coletor e emissor. Além disso, medindo a resistência da junção coletor-emissor, podemos ver o efeito dos diodos em série em sentidos opostos.

Já, montando o circuito da Figura 1, sem o capacitor de entrada e a partir dos valores das resistências calculadas anteriormente, medimos os valores reais das correntes de base, coletor e queda de tensão no transistor bipolar. Comparamos por fim com os valores obtidos teoricamente e repetimos o experimento para outro transistor similar.

Depois, utilizando uma entrada senoidal de pequenos sinais, ou seja, com uma amplitude muito baixa, por volta de 18 mV pico, foram medidas os ganhos de corrente para diferentes frequências e estes comparados aos teóricos.

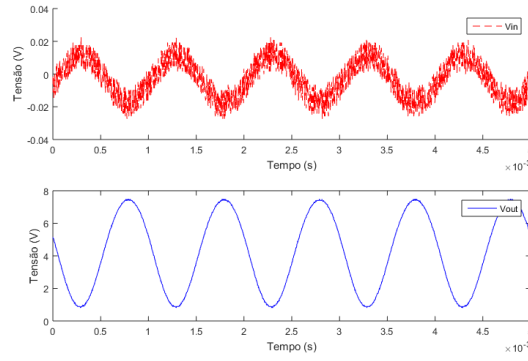


Figura 4: Tensão senoidal de entrada de 1khz

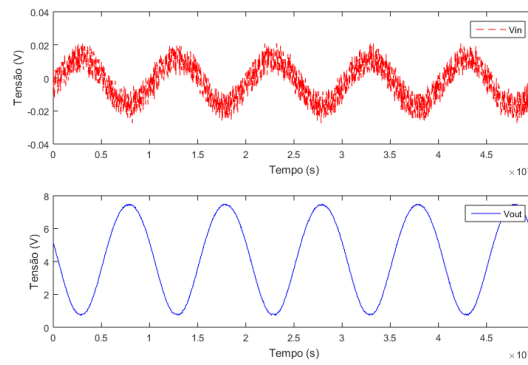


Figura 5: Tensão senoidal de entrada de 10khz

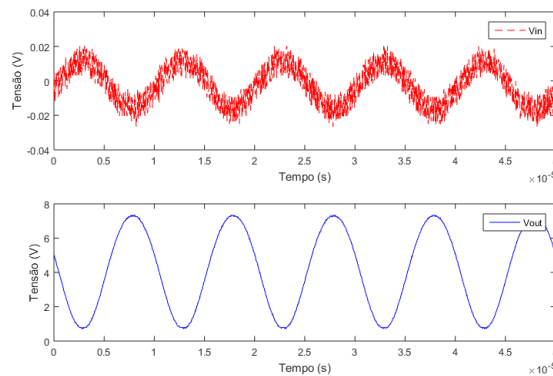


Figura 6: Tensão senoidal de entrada de 100khz

3.3 Discussões

Para o primeiro experimento, obtivemos as correntes e quedas de tensão sobre os transistores que estão respresentados na tabela abaixo (lembrando que as medidas foram feitas utilizando os valores das tensões sobre os resistores e os valores das suas resistências $R_B = 271,8 \text{ k}\Omega$ e $R_C = 0,664 \text{ k}\Omega$):

Transistor	I_{CQ} mA	Erro I_{CQ} (%)	I_{BQ} mA	Erro I_{BQ} (%)	V_{CEQ} (V)	Erro V_{CEQ} (%)	Ganho mA/mA	Erro Ganho (%)
Teórico	0,050	-	12,0	-	7,03	-	240	-
1	0,053	6,0	16,6	38,33	4,02	42,81	313,20	30,5
2	0,052	4,0	15,2	26,67	4,88	30,58	292,30	21,80
3	0,053	6,0	15,6	30,0	4,60	34,57	294,33	22,64

Tabela 2: Tabela de relação entre correntes e ganhos teóricos e experimentais

Dessa forma, é possível notar que há uma diferença razoável entre a queda de tensão sobre o transistor real e a teórica. Esse fato ocorre devido ao ganho teórico ter sido subestimado, ou seja, o ganho real foi maior que o teórico utilizado nos cálculos, provocando uma maior corrente sobre a resistência no coletor.

Para o segundo experimento, podemos ver o ganho em relação as tensões de pico a pico de entrada e de saída, ou seja, no coletor. Sendo assim, fazendo a análise teórica do circuito temos a equação (7) aproximando para frequências baixas e considerando capacitor de entrada relativamente grande. A comparação do ganho experimental com o teórico é feito na tabela a seguir:

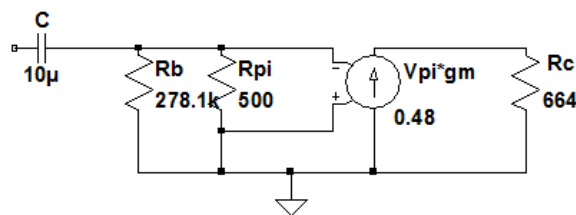


Figura 7: Modelo de pequenos sinais para o NPN na forma Emissor Comum

$$\frac{V_C}{R_C} + V_{in} \cdot g_m = 0 \implies \frac{V_C}{V_{in}} = -g_m \cdot R_C = -0,48 \cdot 664 = -318,72 \quad (7)$$

Frequência (kHz)	Ganho real	Erro (%)
1	-178,89	43,87
10	-180,55	43,35
100	-152,78	52,06

Tabela 3: Tabela de relação entre correntes e ganhos teóricos e experimentais

Dessa forma, constatamos que houve um erro teórico em relação ao experimental. Isso se deve ao fato de que o modelo de pequenos sinais funciona mais corretamente para amplitudes de variação de tensão menores que 10mV [1]. Sendo assim, nosso ganho acaba sendo mais atenuado do que o esperado.

3.4 Conclusões

Neste relatório foram abordados métodos para explorar o funcionamento de um transistor de dopagem NPN, o dimensionamento de componente de um circuito para o correto funcionamento do transistor, a suas condições de operação com uma entrada de corrente direta e outra de corrente alternada (em diversas frequências).

Inicialmente, para garantir o correto funcionamento do experimento foram verificadas os valores reais das resistências e recalculados os valores de corrente geradas. Uma vez validadas, prosseguimos ao experimento.

Em seguida, para cada um dos transistores utilizados, com o auxílio da função de teste de diodo do multímetro foram testadas as relações entre cada um dos terminais e, também, calculado o valor da resistência entre emissor e coletor. Os cálculos e valores obtidos podem ser observados nas anotações da seção 2.

No primeiro experimento, cuja análise feita foi de corrente direta, os valores de corrente de base, coletor e tensão coletor-base foram obtidos para cada um dos 3 transistores. A partir dos dados

obtidos foram calculados os valores do ganho e assim, comparados com os valores experimentais. Os resultados estão na tabela 1, bem como as discussões a cerca dos erros observados.

No segundo experimento, um sinal senoidal foi aplicado à entrada do circuito. Após realizarmos o ajuste para que o sinal de saída não apresentasse distorção foram medidas as tensões de entrada e saída com o auxílio do osciloscópio. Este processo foi repetido para as frequências de 1kHz, 10kHz e 100kHz. A partir das tensões médias o ganho do circuito foi estimado e pode ser observado na tabela 2. O modelo de pequenos sinais para o transistor NPN também foi utilizado para realizar o cálculo experimental do ganho esperado para o circuito.

Referências

- [1] Adel S Sedra and Kenneth C Smith. Microeletrônica, 4a. edição. *Makron Books, São Paulo*, 2000.