



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Departamento de Engenharia Electrotécnica

ELECTRÓNICA I

Trabalho Prático N.º 3

Montagens Básicas com Transístores

<u>Efectuado</u>	_____	Turma: _____
<u>pelos</u>	_____	Turma: _____
<u>alunos:</u>	_____	Turma: _____
	_____	Turma: _____

<u>Curso:</u>	_____
<u>Data:</u>	_____
<u>Grupo:</u>	_____

2004/2005

1. Introdução

Um transistor de junção bipolar (TJB) é um dispositivo semiconductor, controlado por corrente, capaz de multiplicar a corrente que circula no seu terminal de controlo que é designado por base. Este é constituído por duas junções PN que partilham uma região comum (base) caracterizada pela sua pequena espessura e baixa dopagem. Quando esta região é do tipo N (colocada entre duas regiões tipo P) o transistor é designado PNP; se for do tipo P (colocada entre duas regiões tipo N) o transistor é NPN. Os três terminais ligados a cada uma das regiões são denominadas Emissor (E), Base (B) e Colector (C).

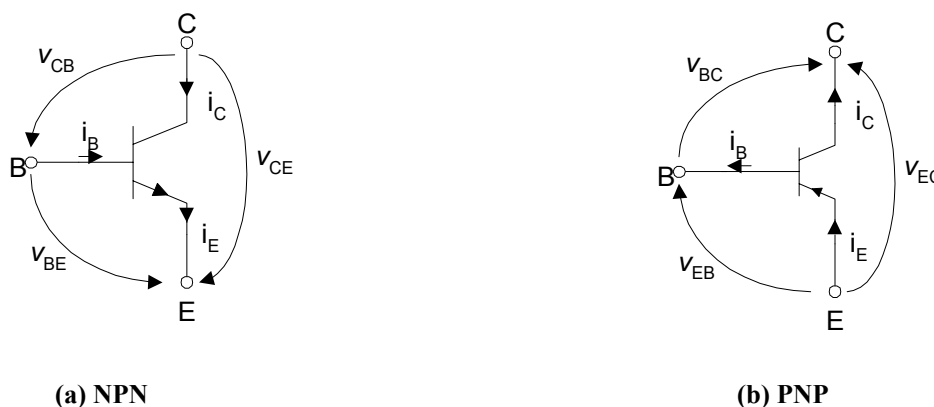


Figura 1 – Símbolos dos transistores bipolares e tensões associadas.

Zonas de funcionamento

Cada junção do TJB pode ser directa ou inversamente polarizada, independentemente da outra junção. Existem, portanto, quatro modos ou zonas de operação do TJB: zona activa(directa), zona de corte, zona de saturação e zona activa inversa (pouco utilizada). A tabela 1 indica o estado de cada junção para cada zona de funcionamento.

Zona de operação	Polarização das junções	
	E	Colector - base
Zona activa (directa)	Directamente	Inversamente
Corte	Inversamente	Inversamente
Saturação	Directamente	Directamente
Zona activa inversa	Inversamente	Directamente

Tabela 1 – Polarização das junções consoante as zonas de funcionamento do TJB.

Uma das montagens mais frequentemente utilizadas devido ao seu grande ganho de potência é a montagem em emissor comum que é representada na figura 2.

A figura 3 representa a característica de saída (família de curvas I_C como função de V_{CE} tendo como parâmetro a corrente de base I_B) em emissor comum do transistor NPN de silício 2N2222. É possível identificar três regiões de operação do TJB: zona activa (ou linear), a zona de corte e a zona de saturação.

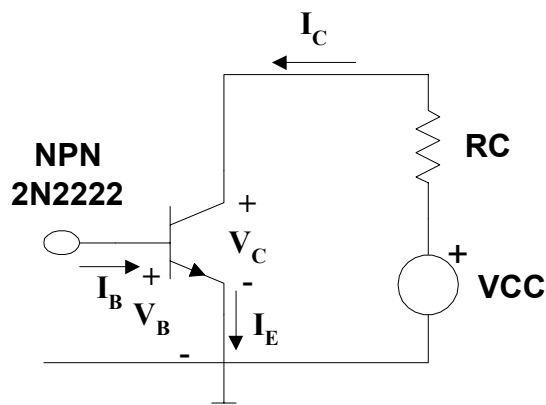


Figura 2- Montagem em emissor comum.

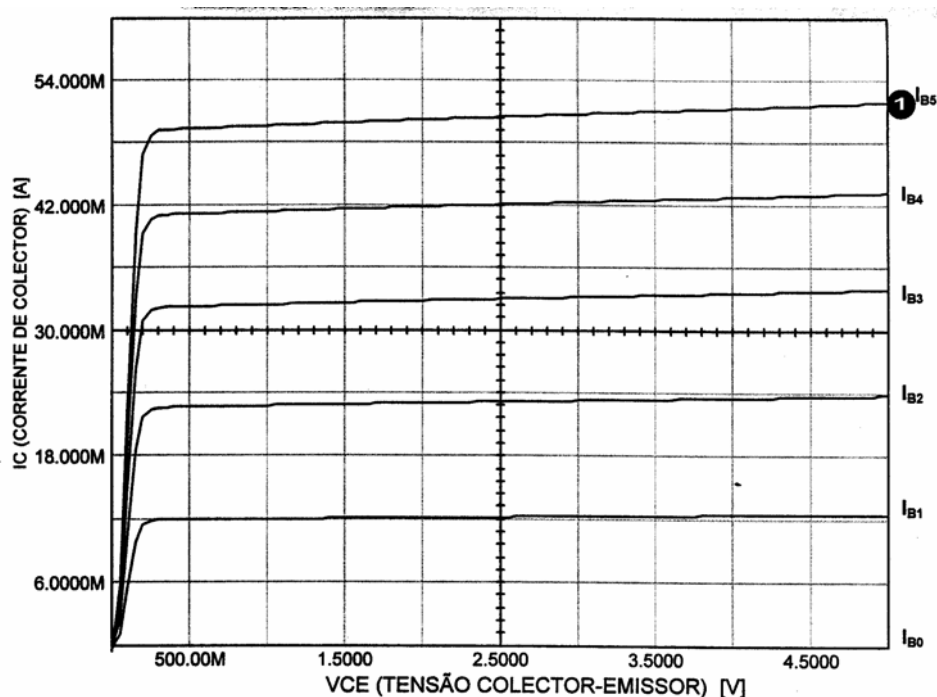


Figura 3 – Característica de saída da montagem em emissor comum.

- Zona activa

Quando a junção emissor-base está directamente polarizada e a junção colector-base inversamente polarizada e transistor encontra-se a funcionar na zona activa. A tensão V_{BE} é tipicamente de 0,7V (ver tabela 2).

Nesta zona de funcionamento pode utilizar-se a expressão (aproximada) que relaciona a corrente de colector com a corrente de base.

$$I_C = \beta_F \cdot I_B$$

Na zona activa, esta expressão constitui uma excelente aproximação. Esta equação indica que o transistor tem o comportamento de uma fonte de corrente dependente (a corrente I_C depende da corrente I_B). Como normalmente $\beta_F \gg 1$, a pequenos aumentos de I_B correspondem grandes aumentos de I_C , de forma (quase) independente de V_{CE} .

Existem ligeiras diferenças entre o ganho para pequenos sinais e em CC (corrente continua) pelo que se considera que são iguais:

$$h_{FE} = I_C / I_B \cong \beta_F$$

Os valores típicos de h_{FE} variam entre 50 e 500 (para transístores de pequenos sinais); encontram-se, no entanto, transístores com um h_{FE} superior a 1000.

Note-se que, nos catálogos de características de transístores, pode-se encontrar indiferentemente β , β_F , β_{CC} ou h_{FE} .

- Zona de corte

Verifica-se quando a corrente de base é nula, sendo, neste caso, equivalente a manter o circuito de base aberto. Nestas circunstâncias, a corrente do colector é tão pequena (Igual a I_{CB0}) que, se a desprezarmos, podemos comparar o transístor, no circuito colector-emissor, com um interruptor aberto e dizer que o transístor está “ao corte”.

As junções neste caso, estão polarizadas da seguinte maneira:

- Junção colector - base inversamente polarizada;
- Junção base - emissor inversamente polarizado ou sem polarização.

- Zona de saturação

Nesta região, ambas as junções estão directamente polarizadas. Tipicamente verifica-se que $V_{CEsat} \cong 0,2V$ (ver tabela 2).

Na figura 3 esta zona é a que está compreendida entre a origem de coordenadas e o “joelho” das curvas. Nesta zona, a corrente de colector é aproximadamente independente da corrente de base, para determinados valores de R_C e V_{CC} . Portanto, na saturação, a corrente de colector já não é “controlada” pela corrente de base (a relação entre I_C e I_B já não é dada por β_F). O transístor, no circuito colector-emissor assemelha-se a um interruptor fechado e a corrente que circula pelo circuito colector é limitada apenas pelo circuito externo.

A tabela 2 indica as tensões típicas nas junções dos TJB de Silício a 25°C, em cada zona de funcionamento.

V_{CE}	V_{BE}			
Na fronteira entre a saturação e a zona activa	Início de condução do TJB	Início de condução do TJB	Saturação	Corte
0,3V	0,5	0,7	0.8	$\leq 0V$

Tabela 2 – Tensões típicas nas junções dos TJB de silício a 25°C.

Considerações práticas

Como qualquer outro componente, o transístor, como elemento real, possui algumas limitações em relação às suas condições de trabalho, que não devem ser ultrapassadas para assegurar a durabilidade e/ou o bom funcionamento do componente. As informações acerca destas limitações são especificadas pelos fabricantes e vêm indicadas nos catálogos ou folhas de características (“Databook” ou “Data Sheet”). A título de exemplo, apresentam-se a seguir alguns destes valores limite para o caso do transístor BC107 (a 25°):



Tensão máxima colector-emissor com a base em circuito aberto (V_{CE0})	45 V
Tensão máxima colector-emissor com a base em curto-circuito (V_{CES})	50V
Tensão máxima colector-base com o emissor em circuito aberto (V_{CB0})	45V
Tensão de ruptura emissor – base (V_{EB})	6V
Corrente contínua de colector (máx.) ($I_{C\text{ máx}}$)	100 mA
Corrente de pico de colector (máx.)	200 mA
Potência total dissipada (P_{tot})	300mW

O BC 107 é um transistor de baixa potência, para pequenos sinais e de múltiplas aplicações, (em inglês “general purpose”); é de silício pelo que se pode considerar que, quando na zona activa, $V_{BE} = 0,7V$ e $I_{CB0} \cong 0$.

A potência total dissipada no TJB é a soma da potência dissipada no circuito de base e no circuito de colector. Como a corrente de base é muito menor que a do colector, normalmente despreza-se considerando assim, a potência dissipada no transistor como sendo:

$$P_{\text{tot}} = V_{CE} \cdot I_C$$

Existe uma nomenclatura Europeia para as referências dos transistores que é dada na tabela 3.

Primeira Letra		Segunda Letra	
Letra	Significado	Letra	
A	Germânio	C	Para Baixa Frequência (BF)
B	Silício	D	De potência para BF
C	Gálio	F	Para alta Frequência (AF)
		L	De potência para AF
		S	Para comutação
		U	De potência para comutação

Tabela 3 – Nomenclatura Europeia de transistores.

Exemplo: O BC 107 é um transistor de Silício com baixa potência de dissipação e que é feito para operar a baixas frequências.

Identificação dos transistores

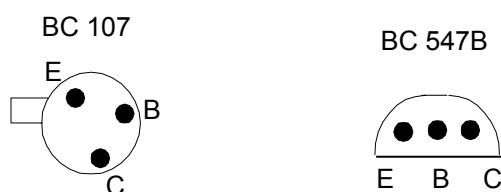


Figura 4 – Identificação dos terminais dos transistores (vista por baixo).

2- Objectivos deste trabalho

Estudo de várias montagens básicas com transístores, emissor comum, colector comum e base comum.

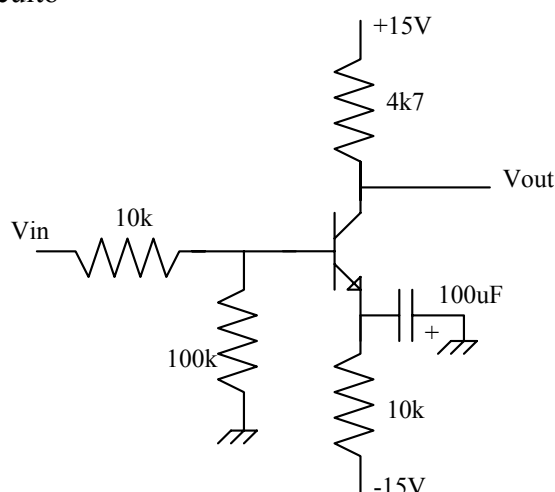
3- Material

- 1 Transistor BC547
- 3 resistências 10k
- 1 resistência de 1k
- 1 resistência de 4k7
- 1 resistência de 100k
- 1 condensador 100 μ F
- Fonte de alimentação +/-15V
- Osciloscópio e gerador de funções

Nota: Todas montagens devem ser simuladas com o PSPICE ou EWB. Para o PSPICE devem utilizar os modelos dos transistores que estão no anexo.

4- Montagem de emissor comum

Monte o seguinte circuito



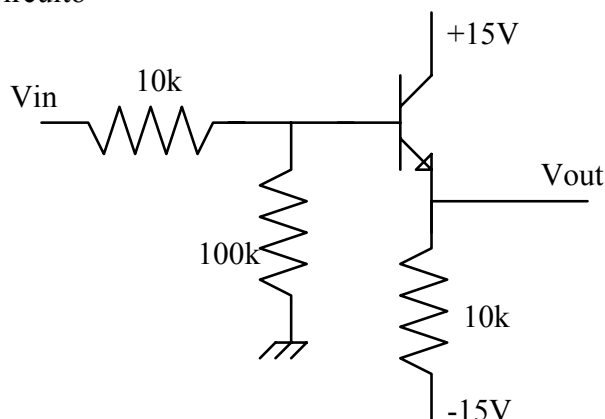
4.1 - Ligue Vin à massa e meça as tensões em todos os nós do circuito. Determine o ponto de funcionamento em repouso da montagem e a partir daí o seu modelo incremental.

4.2 - Para uma onda de entrada sinusoidal com 1kHz de frequência, varie a amplitude de Vin e observe Vout. Comente.

4.3 - Meça a tensão de entrada e de saída sem distorção e, calcule o ganho da montagem. Compare com o valor obtido a partir do modelo incremental. Qual a função do condensador de 100 μ F ?

5- Montagem de colector comum

Monte o seguinte circuito



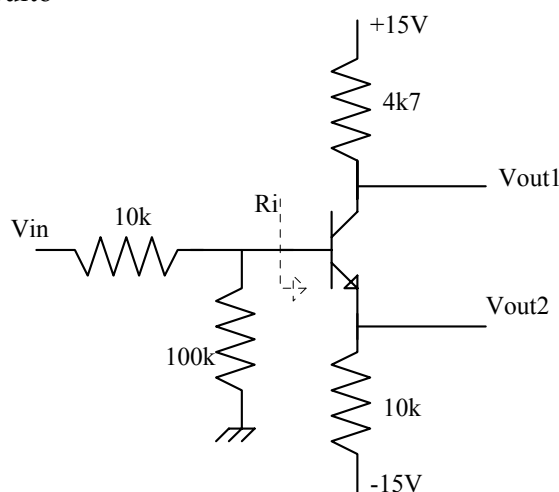
5.1 - Determine o ponto de funcionamento do circuito e a partir daí o seu modelo incremental.

5.2 - Para uma onda de entrada senoidal com 1 kHz de frequência, varie a amplitude de V_{in} e observe V_{out} . Comente.

5.3 - Meça a tensão de entrada e de saída sem distorção e, calcule o ganho da montagem. Compare com o valor obtido a partir do modelo incremental.

6 - Montagem de emissor comum com resistência de emissor.

Monte o seguinte circuito

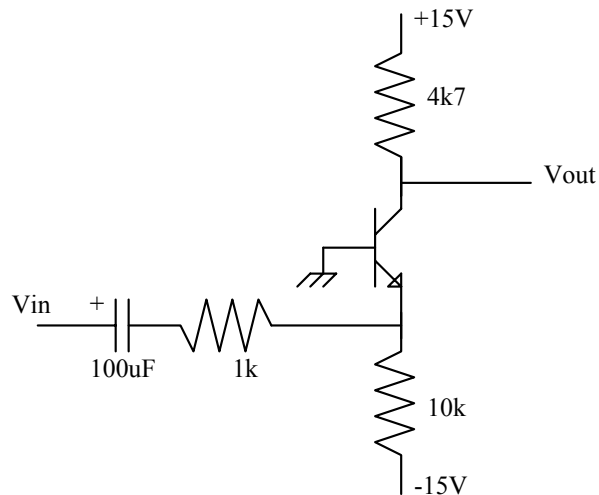


6.1 - Para uma onda de entrada senoidal de 1kHz de frequência, varie V_{in} e observe V_{out1} e V_{out2} simultaneamente. Comente.

6.2 - Meça a tensão de entrada e das saídas sem distorção, e calcule o ganho da montagem para cada uma das saídas. Compare com o valor obtido a partir do modelo incremental.

7 - Montagem de base comum

Monte o seguinte circuito



7.1 - Para uma onda de entrada sinusoidal de 1kHz de frequência, varie V_{in} e observe V_{out} . Comente.

7.2 - Meça a tensão de entrada e de saída sem distorção e, calcule o ganho da montagem. Compare com o valor obtido a partir do modelo incremental.

ANEXO:

.MODEL BC548C NPN(

```
+ AF= 1.00E+00 BF= 4.66E+02 BR= 2.42E+00 CJC= 5.17E-12
+ CJE= 1.33E-11 CJS= 0.00E+00 EG= 1.11E+00 FC= 9.00E-01
+ IKF= 1.80E-01 IKR= 1.00E+00 IRB= 1.00E+01 IS= 1.95E-14
+ ISC= 1.00E-13 ISE= 1.31E-15 ITF= 1.03E+00 KF= 0.00E+00
+ MJC= 3.19E-01 MJE= 3.26E-01 MJS= 3.30E-01 NC= 2.00E+00
+ NE= 1.32E+00 NF= 9.93E-01 NR= 1.20E+00 PTF= 0.00E+00
+ RB= 2.65E+01 RBM= 1.00E+01 RC= 1.73E+00 RE= 1.00E+00
+ TF= 6.52E-10 TR= 0.00E+00 VAF= 9.17E+01 VAR= 2.47E+01
+ VJC= 3.39E-01 VJE= 6.32E-01 VJS= 7.50E-01 VTF= 1.65E+00
+ XCJC= 1.00E+00 XTB= 0.00E+00 XTF= 1.00E+02 XTI= 3.00E+00)
```

.MODEL BC558B PNP(

```
+ AF= 1.00E+00 BF= 2.38E+02 BR= 8.07E+00 CJC= 1.02E-11
+ CJE= 1.54E-11 CJS= 0.00E+00 EG= 1.11E+00 FC= 6.60E-01
+ IKF= 3.00E-01 IKR= 1.00E+00 IRB= 1.12E+00 IS= 1.69E-14
+ ISC= 1.00E-13 ISE= 1.00E-17 ITF= 9.50E-01 KF= 0.00E+00
+ MJC= 3.45E-01 MJE= 4.19E-01 MJS= 3.30E-01 NC= 2.00E+00
+ NE= 2.00E+00 NF= 1.01E+00 NR= 1.00E+00 PTF= 0.00E+00
+ RB= 5.00E+01 RBM= 1.00E+01 RC= 1.49E+00 RE= 9.50E-02
+ TF= 5.64E-10 TR= 0.00E+00 VAF= 1.00E+02 VAR= 5.00E+01
+ VJC= 3.00E-01 VJE= 8.00E-01 VJS= 7.50E-01 VTF= 1.47E+00
+ XCJC= 1.00E+00 XTB= 0.00E+00 XTF= 5.51E+01 XTI= 3.00E+00)
```