



GRADUAÇÃO PRESENCIAL
1º semestre- 2015

Eletrônica Analógica II
Engª Controle e Automação – 6º/ 7º
semestres

Profº. Ms.Cristiano Malheiro

cmalheiro@anhanguera.com

<http://cristianotm.wix.com/notasdeaula>

1



Aula 10

Bibliografia Básica

1. SMITH, Kenneth C.; SEDRA, Adel S.
Microeletrônica. 5ª ed. São Paulo: Pearson-Prentice Hall, 2007, v. 1.
2. MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. 1ª edição. São Paulo: Pearson Makron Books, 2010.
3. CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Eletrônica Aplicada**. 2ª edição. São Paulo: Érica, 2008.



Aula 10

Critérios de Avaliação

- Média $\geq 6,0$ aprovado!
- Arredondamento: 5,95 – 6,0
- Arredondamento: 5,94 – 5,9 (Reprovado)

Média = $0,4 \cdot B1 + 0,6 \cdot B2$, onde:

B1 = P1 + ATPS e **B2** = P2 + ATPS ou **B2** = SUB

ATPS: Listas + etapas da ATPS formal.

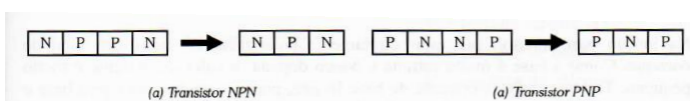
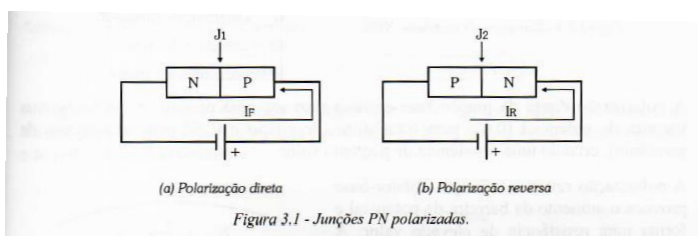
Datas: P1- prática e teórica SUB – prática e teórica
P2- prática e teórica

3



Aula 10

TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNÇÃO- TBJ



4





Aula 10

Nos transistores, a região intermediária é denominada *base* (B) que deve ser estreita e pouco dopada, para evitar a recombinação dos pares elétron-lacuna. As outras duas regiões são denominadas *emissor* (E) e *coletor* (C). O emissor é fortemente dopado, enquanto o coletor possui uma dopagem intermediária, mas tem uma área maior, pois é nele que a potência atinge o maior valor no transistor.

O comportamento mais importante do transistor ocorre quando a junção base-emissor é polarizada diretamente e a junção coletor-base reversamente, conforme mostra a Figura 3.3, para o transistor NPN.

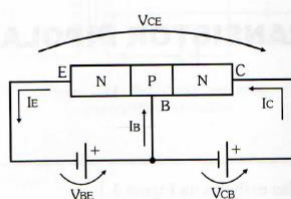


Figura 3.3 - Estrutura do transistor NPN.

E = emissor

B = base

C = coletor

V_{BE} = tensão base-emissor

V_{CB} = tensão coletor-base

V_{CE} = tensão coletor-emissor

I_E = corrente de emissor

I_B = corrente de base

I_C = corrente de coletor

5

kroton
paixão por educar



Aula 10

A polarização direta da junção base-emissor provoca uma pequena redução em sua barreira de potencial (0,6V para transistores de silício e 0,3V para transistores de germânio), criando uma resistência de pequeno valor.

A polarização reversa da junção coletor-base provoca o aumento da barreira de potencial e forma uma resistência de elevado valor. A ilustração ao lado mostra claramente o exposto para o transistor NPN.

Façamos a análise do transistor considerando o sentido convencional de corrente, isto é, no mesmo sentido do fluxo de lacunas e no sentido contrário do fluxo de elétrons, como mostra a Figura 3.4.

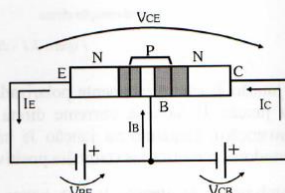


Figura 3.4 - Transistor NPN polarizado.

Na junção base-emissor, por estar diretamente polarizada, há circulação fácil de corrente. Como a base é muito estreita e pouco dopada, o valor da corrente é muito pequeno. Tem-se, então, a corrente de base I_B que, por convenção, entra pela base e segue em direção ao emissor. Na realidade, o que existe é um fluxo de elétrons do emissor para a base.

Se analisarmos a junção coletor-base isoladamente, por estar reversamente polarizada, não deveria haver circulação de corrente. No entanto, a injeção de elétrons na base proveniente do emissor propicia a condução de corrente do coletor I_C ao emissor, passando pela base que, como dissemos anteriormente, é muito estreita.

U

kroton
paixão por educar

Aula 10

No emissor, as correntes de base e de coletor juntam-se formando a corrente de emissor I_E .

O principal efeito da corrente de base é que, além de possibilitar a condução de corrente de coletor para emissor, I_B controla o valor de I_C . Como I_C é muito maior do que I_B , devido ao nível de dopagem do coletor e do emissor, podemos dizer que a corrente I_C é uma amplificação da corrente I_B , propriedade que torna o transistor um dos dispositivos mais versáteis da eletrônica.

No transistor há três correntes diferentes, sendo a corrente de base I_B , cujo valor é muito baixo; a corrente de coletor I_C , com ordem de grandeza muito maior do que I_B e a corrente de emissor I_E , que é a soma das correntes I_B e I_C .

Em relação às tensões nos terminais do transistor, tem-se que V_{BE} e V_{CB} somadas produzem V_{CE} .

Assim, para o transistor NPN tem-se:

$$I_E = I_C + I_B$$

e

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

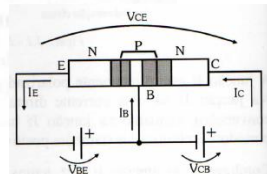


Figura 3.4 - Transistor NPN polarizado.

7

kroton
paixão por educar

Aula 10

A Figura 3.5 mostra a estrutura do transistor PNP. Observe que, em termos de comportamento, as únicas diferenças em relação ao NPN são os sentidos das correntes e as polaridades das tensões.

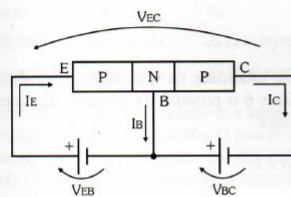


Figura 3.5 - Estrutura do transistor PNP.

E = emissor

B = base

C = coletor

V_{EB} = tensão emissor-base

V_{BC} = tensão base-coletor

V_{EC} = tensão emissor-coletor

I_E = corrente de emissor

I_B = corrente de base

I_C = corrente de coletor

Nesse caso, para o transistor PNP têm-se:

$$I_E = I_C + I_B$$

e

$$V_{EC} = V_{BC} + V_{EB}$$

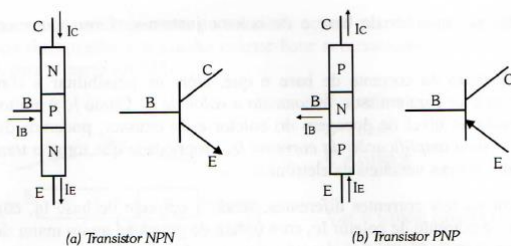
Os símbolos dos transistores NPN e PNP estão na Figura 3.6. Observe que o detalhe que os diferencia é o sentido da seta que representa o emissor, cuja orientação coincide com o sentido da corrente convencional do emissor.

8

kroton
paixão por educar



Aula 10



(a) Transistor NPN

(b) Transistor PNP

Figura 3.6 - Símbolos dos transistores.

Ganho de Corrente no Transistor

A especificação do transistor que caracteriza o seu *efeito amplificação de corrente contínua* é simbolizada por β , sendo a relação entre as correntes de coletor I_C e de base I_B :

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

9

kroton
paixão por educar



Aula 10

De forma simplificada, essas configurações estão apresentadas nas Figuras 3.7 e 3.8:

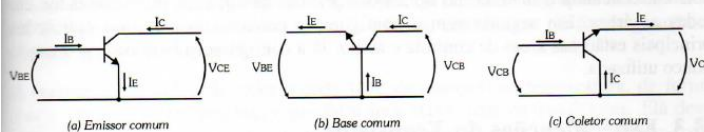


Figura 3.7 - Configurações com transistores NPN.

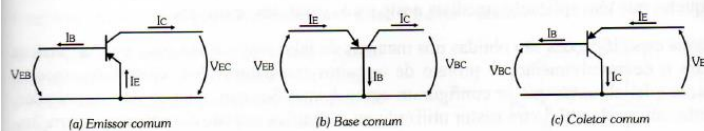


Figura 3.8 - Configurações com transistores PNP.

Cada configuração apresenta características típicas de comportamento para sinais alternados (AC), o que possibilita diversas aplicações.

10

kroton
paixão por educar



Aula 10

Os principais parâmetros são:

- Ganho de corrente - A_i
- Ganho de tensão - A_v
- Impedância de entrada - Z_i ($i \equiv \text{input} \equiv \text{entrada}$)
- Impedância de saída - Z_o ($o \equiv \text{output} \equiv \text{saída}$)

O *ganho de corrente* (A_i) refere-se à amplificação ou à atenuação da corrente de saída do circuito em relação à entrada. O *ganho de tensão* (A_v) refere-se à amplificação ou à atenuação da tensão de saída do circuito em relação à entrada. A *impedância de entrada* (Z_i) refere-se à impedância equivalente vista por uma fonte de sinal AC ligada na entrada do circuito. A *impedância de saída* (Z_o) refere-se à impedância equivalente vista por uma carga ligada na saída do circuito.

A tabela seguinte dá uma ideia da ordem de grandeza das características das três configurações:

Configuração	Características			
	A_i	A_v	Z_i	Z_o
EC	alto	alto	média	alta
BC	$\cong 1$	alto	baixa	alta
CC	alto	$\cong 1$	alta	baixa

11



Aula 10

3.4. Curvas Características do Transistor

O transistor é um dispositivo de três terminais. Ele opera com três correntes e três tensões, como podemos constatar na Figura 3.13.

Bastam as correntes I_B e I_C para termos I_E , do mesmo modo que bastam as tensões V_{BE} e V_{CE} para termos V_{CB} .

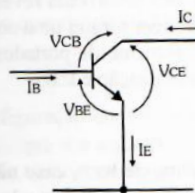


Figura 3.13 - Correntes e tensões no transistor NPN.

As curvas características do transistor estabelecem relações entre variáveis de entrada e de saída para cada configuração, sendo a principal e mais utilizada a configuração em emissor comum.

12



Aula 10

3.4.1. Curvas Características para a Configuração Emissor Comum

A Figura 3.14 mostra um transistor NPN na configuração emissor comum.

Nesse circuito, a entrada é caracterizada pela corrente de base I_B e pela tensão V_{BE} e a saída é caracterizada pela corrente de coletor I_C e pela tensão V_{CE} .

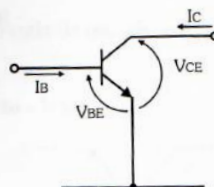


Figura 3.14 - Configuração emissor comum.

A curva característica de entrada é semelhante à curva de um diodo polarizado diretamente, já que a junção base-emissor do transistor deve também ser polarizada diretamente, conforme mostra a Figura 3.15(a).

13

kroton
paixão por educar



Aula 10

Observe que se trata de um transistor de silício, de forma que a corrente de base I_B só é significativa quando a tensão V_{BE} atinge aproximadamente 0,6V.

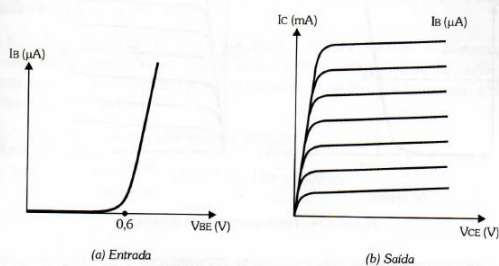


Figura 3.15 - Curvas características do transistor NPN na configuração emissor comum.

A Figura 3.15(b) mostra a curva característica de saída do transistor NPN na configuração emissor comum.

O gráfico relaciona três variáveis simultaneamente, sendo duas de saída, que são a corrente de coletor I_C e a tensão V_{CE} , e uma de entrada, que é a corrente de base I_B .

É possível analisar como um sinal aplicado na entrada do transistor comporta-se em sua saída.

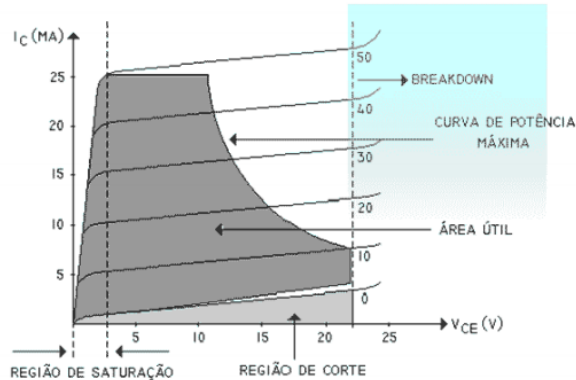
14

kroton
paixão por educar



Aula 10

REGIÕES DE FUNCIONAMENTO DE UM TRANSISTOR



A parte inicial da curva é chamada de região de saturação. É toda a curva entre a origem e o joelho. A parte praticamente plana é chamada de **região ativa**. Nesta região uma variação do V_{CE} não influencia no valor da corrente de coletor (I_C). I_C mantém-se constante e igual a corrente de base vezes o ganho CC do transistor (β_{CC}) $I_C = I_B \cdot \beta_{CC}$. A parte final é a **região de ruptura** ou **Breakdown** e deve ser evitada.

15

kroton
paixão por educar



Aula 10

• FUNCIONAMENTO NAS REGIÕES DE CORTE E SATURAÇÃO

Em Eletrônica Digital é importante a definição de 2 níveis bem distintos, a que se associam muitas vezes os valores lógicos "0" e "1" (ou "verdadeiro" e "falso"). O comportamento do transistor na região de corte e na de saturação pode, numa primeira aproximação, considerar-se em tudo idêntico ao dum interruptor (fig.4) aberto e fechado, respectivamente.

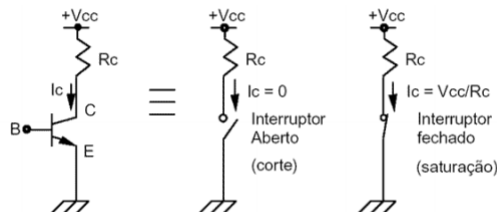


Fig. 4 - Funcionamento do transistor na Região de Corte e na de Saturação.

O funcionamento na **zona de corte** (interruptor aberto) caracteriza-se, pois pela ausência da corrente de coletor ($I_C = 0$) e consequentemente $V_{CE} = V_{CC}$. Para tal é necessário fazer $I_B \approx 0$.

No funcionamento na **zona de saturação** (interruptor fechado). Registra-se uma tensão V_{CE} praticamente nula (tipicamente da ordem de 0.2V para transistores de Silício), atingindo a corrente de coletor o seu valor máximo, limitado apenas pela resistência de coletor R_C ($I_C = V_{CC} / R_C$).

16

kroton
paixão por educar



Aula 10

Circuito de Polarização de um Transistor em Base Comum

1. Circuito de Polarização de Base

1.1. Montar o circuito da figura 1.

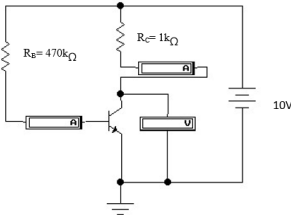


Figura 1 – Circuito de polarização de base.

$V_{RB} + V_{BE} = 10$
 $R_B \cdot I_B + V_{BE} = 10$

$I_B = ?$

Sabendo que $V_{BE} = 0,7V$
e $\beta = 300$

$I_C = \beta \cdot I_B$

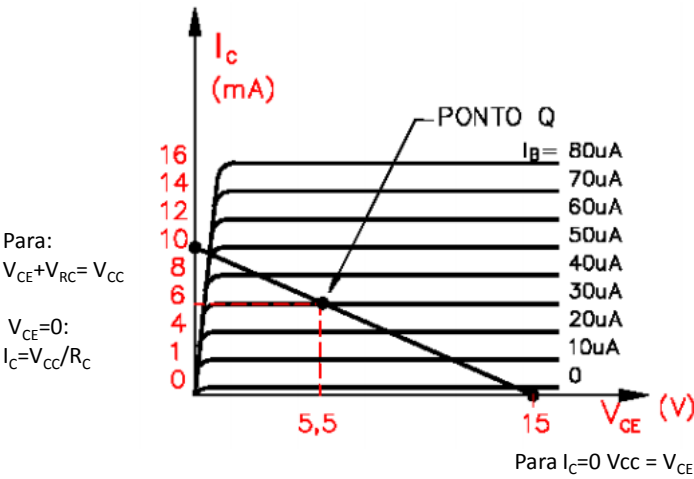
$V_{CE} + V_{RC} = 10$
Calcular I_B e I_C para
todos os casos.

Tabela I – Valores medidos de tensão e corrente.

	$R_B = 470\text{ k}\Omega$	$R_B = 100\text{ k}\Omega$	$R_B = 10\text{ M}\Omega$
$V_{CE} \text{ [V]}$			
$V_{BE} \text{ [V]}$			
$I_C \text{ [mA]}$			
$I_B \text{ [}\mu\text{A]}$			

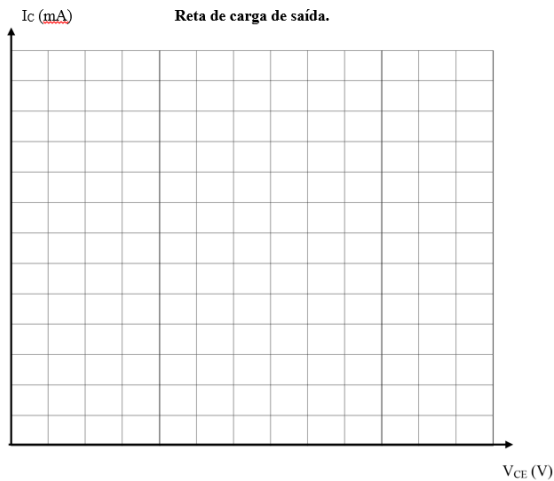


Aula 10





Aula 10



19



Aula 10

2.1. Montar o circuito da figura 2.

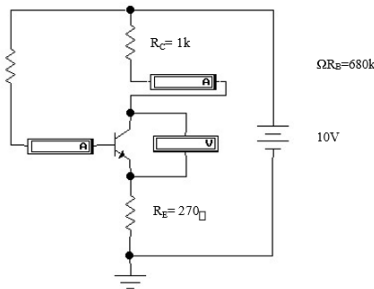


Tabela II – Valores medidos de tensão e corrente.

	$R_B = 680\text{ k}\Omega$	$R_B = 100\text{ k}\Omega$	$R_B = 10\text{ M}\Omega$
$V_{CE} [\text{V}]$			
$V_{BE} [\text{V}]$			
$I_C [\text{mA}]$			
$I_B [\mu\text{A}]$			

$$V_{CE} + V_{RC} + V_{RE} = V_{CC}$$

$$V_{RE} + V_{RB} + V_{BE} = V_{CC}$$

$$R_E \cdot I_E + R_B \cdot I_B + V_{BE} = V_{CC}$$

$$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta I_B$$

$$I_E = (\beta + 1) \cdot I_B$$

$$R_E \cdot (\beta + 1) \cdot I_B + R_B \cdot I_B + V_{BE} = V_{CC}$$

$$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / (R_E \cdot (\beta + 1) + R_B)$$

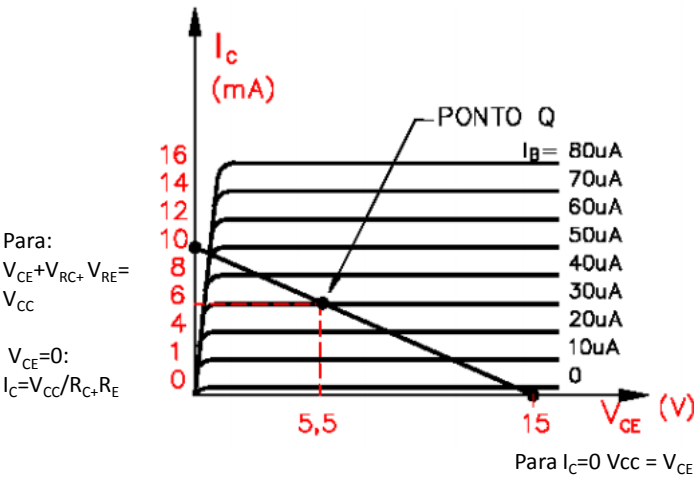
Calcular I_B e I_C para todos os casos.

20

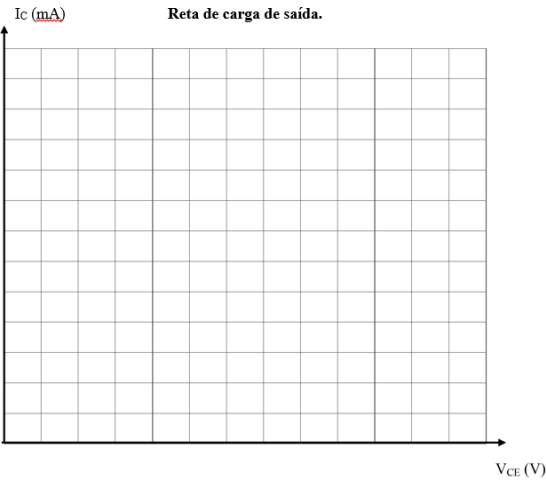




Aula 10



Aula 10





kroton
paixão por educar

Bibliografia desta aula:

1. CRUZ, E. C.; Eletônica Aplicada. 2ª ed. São Paulo: Editora Érica, 2013.
2. <http://www.feng.pucrs.br/~fdosreis/ftp/elobasicem/Aulas%202006%20II/Aula10/Transistor.pdf>

23



kroton
paixão por educar

