

## transistor bipolar parte 3

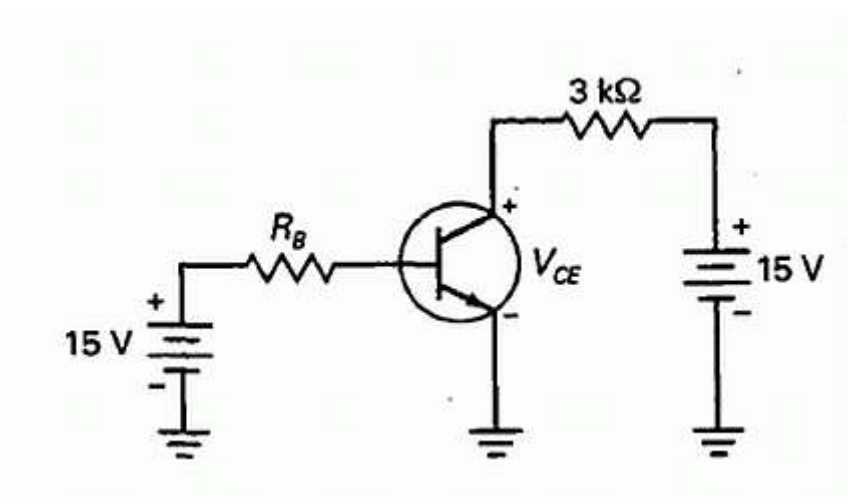
### TRANSÍSTORES BIPOLARES (III)

#### 7.2. A Recta de Carga (EC)

##### Polarização de Base

O circuito da figura abaixo é um exemplo de polarização de base, isto é, estabelecer um valor constante para a corrente de base.

Isto mesmo que mudemos o transistor e a temperatura se altere.



Por exemplo, se  $R_B$  for de  $1\text{M}\Omega$   $I_B$  será de  $14,3\ \mu\text{A}$ .

Se  $\beta_{DC} = 100$ , a corrente de colector será  $1,43\ \text{mA}$  e

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 15\ \text{V} - (1,43\ \text{mA}) \cdot (3\ \text{k}\Omega) = 10,7\ \text{V}$$

Portanto, o chamado ponto quiescente (Q) (quieto) ou de funcionamento em repouso (PFR) será:

$$I_C = 1,43\ \text{mA} \text{ e } V_{CE} = 10,7\ \text{V}$$

##### Solução gráfica

O PFR também poderá ser obtido de forma gráfica, se tivermos a característica de saída do transistor, usando a chamada recta de carga, como se mostra na figura seguinte.

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C$$

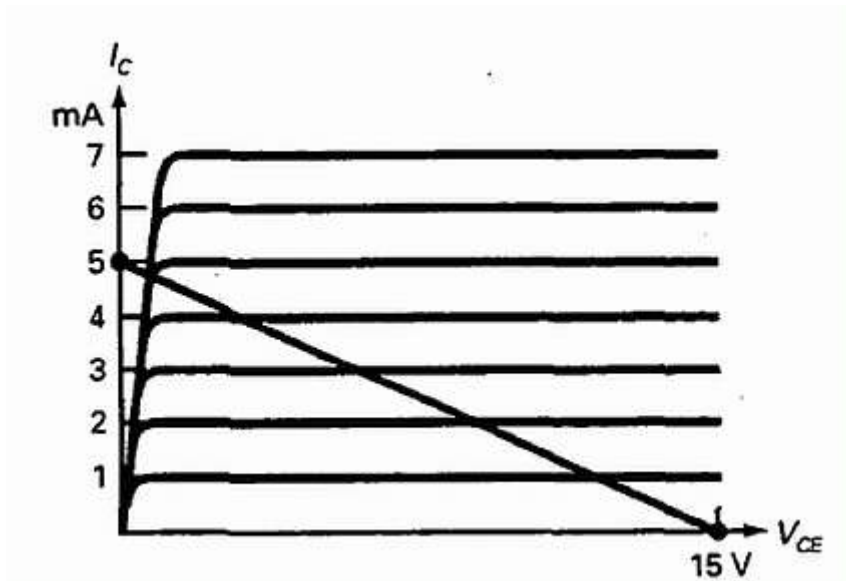
logo,

$$V_{CC} - V_{CE}$$

$$I_C = \frac{\quad}{R_C} \quad (*)$$

$R_C$

A recta de carga é obtida representando esta equação sobre a característica de saída do transistor.



Chama-se recta de carga porque representa o efeito da carga (RC) em IC e VCE. A maneira mais fácil de a traçar é usar os dois pontos extremos  
 $V_{CE}=0 \rightarrow$  tiramos  $I_C = 5\text{mA}$   
 $I_C=0 \rightarrow$  tiramos  $V_{CE} = 15\text{V}$   
 da equação anterior (\*) e, esses dois pontos serão suficientes para definir a recta.

### A utilidade da recta de carga

A recta de carga é útil porque contém todos os pontos de trabalho possíveis para o circuito: variando  $I_B$  de 0 a infinito, o transistor percorrerá todos os pontos da recta de carga.

### Ponto de Saturação

Quando a  $R_B$  é demasiado pequena, há excesso de corrente no colector e a  $V_{CE}$  tende para zero. Neste caso dizemos que o transistor satura, o que significa que a corrente de colector atingiu o seu máximo valor possível.

O ponto de saturação é o ponto em que a recta de carga corta a zona de saturação das curvas de saída, isto é, no seu extremo superior.

Iremos tomar esse valor como aproximação, isto é, no nosso caso,  $I_C=5\text{ mA}$  e  $V_{CE} = 0$ , isto é, como que haverá um “curto-circuito” (imaginário) entre o colector e o emissor, pelo que ficamos com:

$$I_{csat} = V_{CC} / R_C$$

### Ponto de Corte

O ponto de corte é o ponto em que a recta de carga corta a zona de corte das curvas de saída, no extremo inferior ( $I_C$  muito pequena)

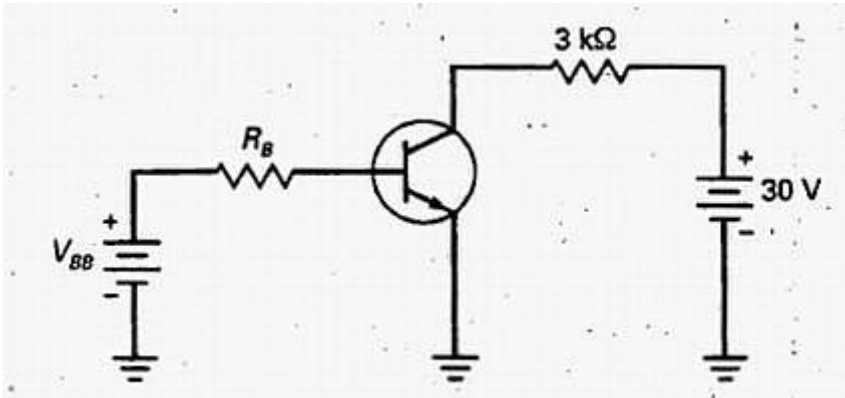
Este ponto indica a tensão máxima que  $V_{CE}$  consegue atingir.

Por aproximação vamos fazer  $I_C=0 \rightarrow V_{CE\text{corte}} = V_{CC}$

Neste caso entre o colector e o emissor existe um circuito aberto imaginário.

### Exemplo 1:

Quais são as correntes de saturação e a tensão de corte na figura:



Solução

Imagine-se um curto-circuito entre o colector e o emissor. Então:

$$V_{csat} = 30\text{ V} / 3\text{ k}\Omega = 10\text{ mA}$$

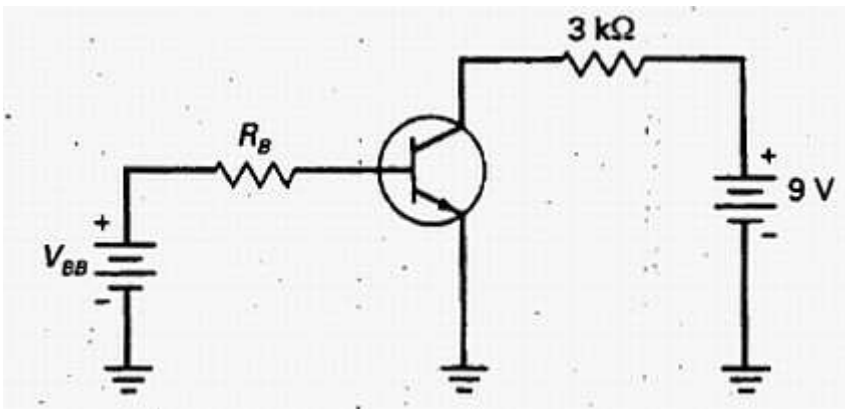
Imagine-se agora os terminais colector-emissor em aberto. Então:

$$V_{CEcorte} = 30\text{ V}$$

### Exemplo 2:

Calcule os valores de saturação e corte para a figura seguinte.

Desenhe as rectas de carga para este exemplo e o anterior



Solução

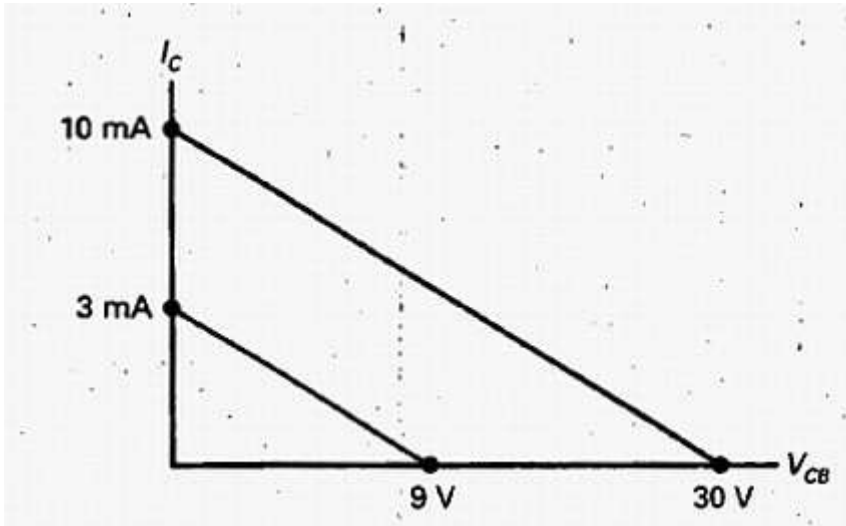
Com um curto-circuito imaginário entre o colector e o emissor:

$$I_{Csat} = 9\text{ V} / 3\text{ k}\Omega = 3\text{ mA}$$

Agora, com um circuito aberto imaginário entre o colector e o emissor:

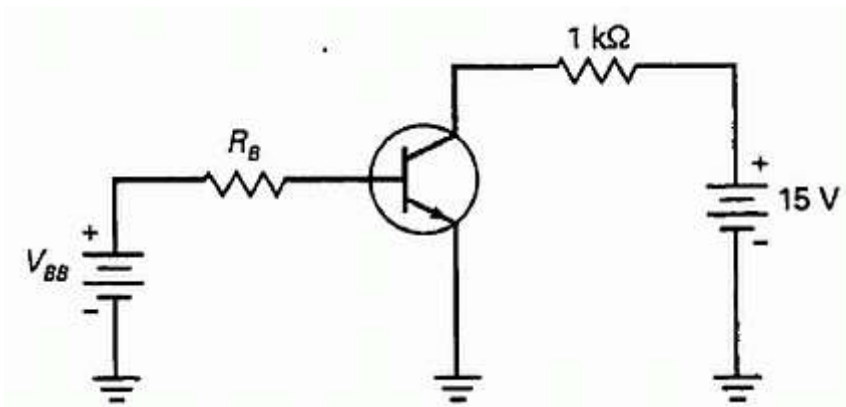
$$V_{CEcorte} = 9\text{ V}$$

Podemos então desenhar as duas rectas de carga.



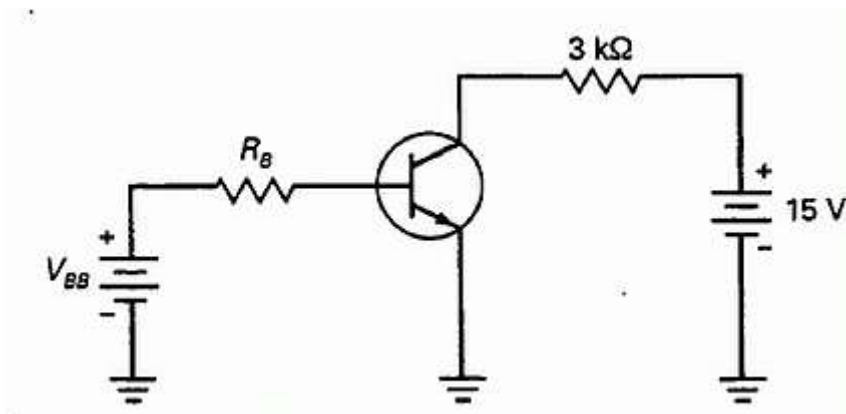
**Exercício 1:**

Quais são a corrente de saturação e a tensão de corte na figura seguinte:



**Exercício 2:**

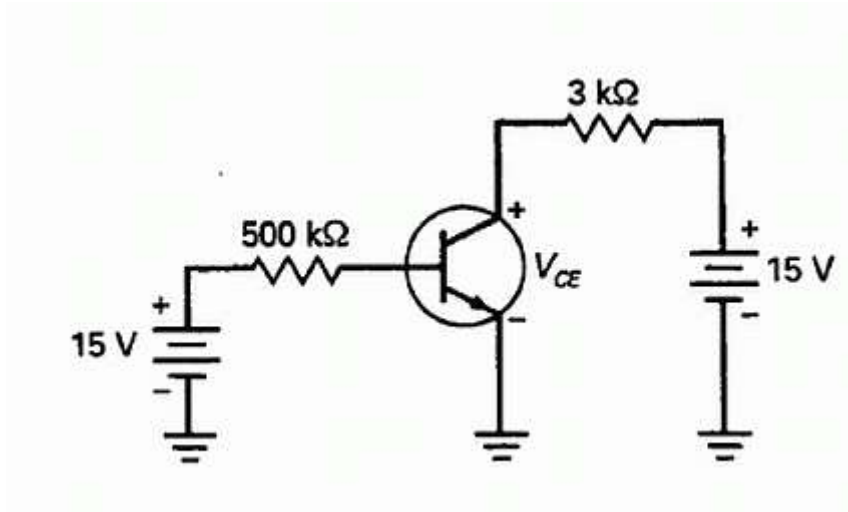
Calcule os valores de saturação e corte para a figura seguinte. Depois desenhe as rectas de carga deste e do exercício anterior e compare-as.



- conclusão: quanto menor for RC, mais inclinada é a recta de carga.

### 7.3. O Ponto de Trabalho

Exemplo da figura seguinte



Depois de traçar a recta de carga, como já aprendemos, podemos calcular  $I_B$ .

Imaginemos, por agora, o transistor ideal  $\rightarrow V_{BE} = 0V$

Então:

$$I_B = 15 V / 500 k\Omega = 30 \mu A$$

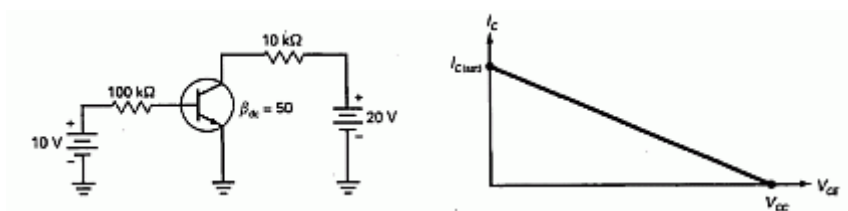
Se o ganho de corrente for, por exemplo,  $\beta_{DC}=100$ , teremos:

$$I_C = 100 \cdot (30 \mu A) = 3 mA$$

Esta corrente, ao circular pelos 3 k $\Omega$ , produz uma tensão de 9V na resistência de colector, pelo que:

$$V_{CE} = 15 V - (3 mA) \cdot (3 k\Omega) = 6 V$$

Marcando estes pontos de  $I_C$  e  $V_{CE}$  no gráfico, ficamos com o ponto Q.



Porque é que o ponto Q varia?

Se  $I_B$  é constante e, de fábrica, os  $\beta_{DC}$  podem variar muito para o mesmo modelo, corremos o risco de o transistor entrar em corte ou saturação.

A figura anterior representa o caso em que  $\beta_{DC}$  é de 50 (QL) e 150 (QH) em vez dos 100 de catálogo, o que é perfeitamente possível.

Conclusão: A polarização de base é muito sensível ao ganho de corrente do transistor ( $\beta_{DC}$ ) e este é muito variável mesmo para o mesmo modelo.

**As fórmulas:**

As fórmulas para calcular o ponto Q são as seguintes:

$$V_{BB} - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{\quad}{R_B}$$

$$I_C = \beta_{DC} \cdot I_B$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C$$

### Exemplo 1:

Suponha que a resistência de base na figura (\*\*) aumenta até  $1\text{M}\Omega$ . Que sucede com a tensão colector-emissor se  $\beta_{DC}$  valer 100?

Solução:

Continuando a considerar, a corrente de base diminuirá até  $15\ \mu\text{A}$ , a corrente de colector diminuirá até  $1,5\ \text{mA}$  e a tensão colector-emissor aumentará até

$$V_{CE} = 15 - (1,5\ \text{mA}) \cdot (3\ \text{k}\Omega) = 10,5\ \text{V}$$

### 7.6. Polarização de Emissor

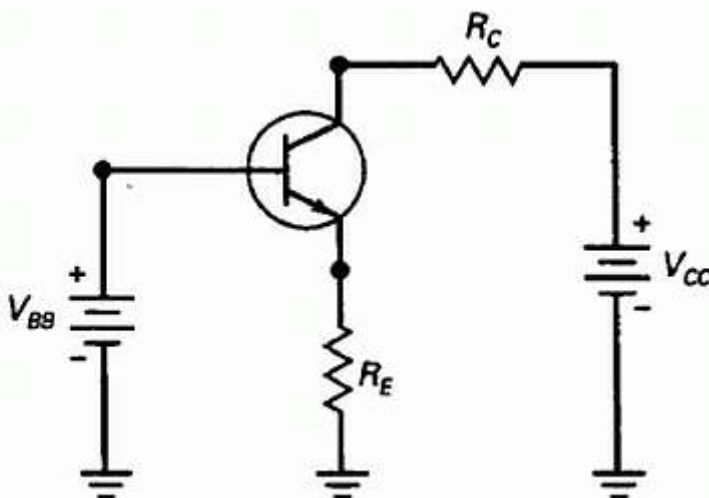
É usada quando se pretende usar o transístor como amplificador, devido aos problemas que vimos com a polarização de base, pois esta polarização de emissor consegue aquilo que os amplificadores precisam: um ponto de funcionamento em repouso (Q) constante, mesmo perante a grande variação de  $\beta_{DC}$  dos transístores do mesmo modelo fabricados em série.

#### Ideia Básica

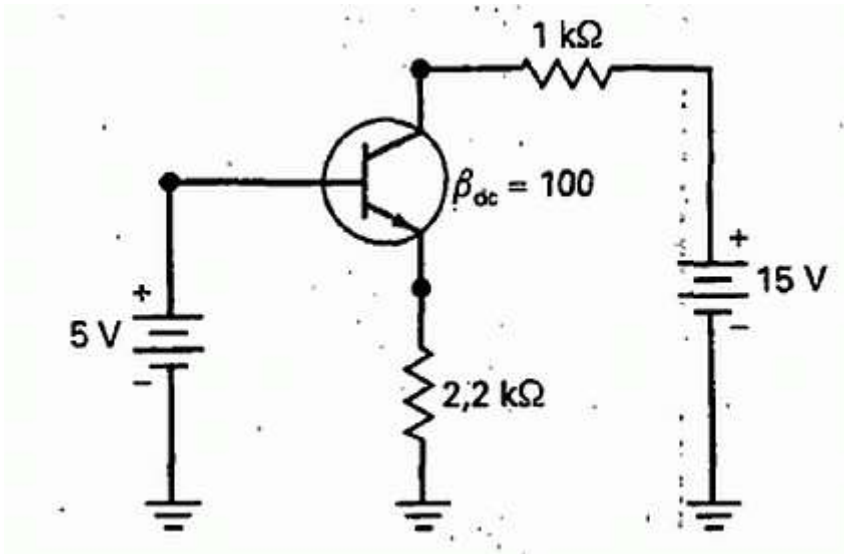
A fonte de polarização de base aplica-se directamente à base.

O emissor não ficará directamente ligado à massa mas sim através de uma resistência de emissor  $R_E$ .

Assim,  $V_E = V_{BB} - V_{BE}$



Como achar o ponto Q  
 Vejamos o exemplo da figura seguinte



$$V_E = 5 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 4,3 \text{ V}$$

usando a lei de ohm para calcular a corrente de emissor:

$$4,3 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{\quad}{2,2 \text{ k}\Omega} = 1,95 \text{ mA}$$

$$2,2 \text{ k}\Omega$$

Isto supõe que, em muito boa aproximação,  $I_C = I_E$

Quando  $I_C$  circula por  $R_C$  produz uma queda de tensão de 1,95V, pelo que:

$$V_C = 15 - (1,95 \text{ mA}) \cdot (1 \text{ k}\Omega) = 13,1 \text{ V}$$

e

$$V_{CE} = 13,1 \text{ V} - 4,3 \text{ V} = 8,8 \text{ V}$$

Assim, o Q terá como terá como coordenadas:

$$I_C = 1,95 \text{ mA} \text{ e } V_{CE} = 8,8 \text{ V}$$

O circuito é imune às alterações do ganho de corrente

Vejamos agora de onde vem a importância da polarização de emissor e como imobiliza

Q face a variações de  $\beta_{DC}$

Vejamos os passos que aplicámos para calcular Q:

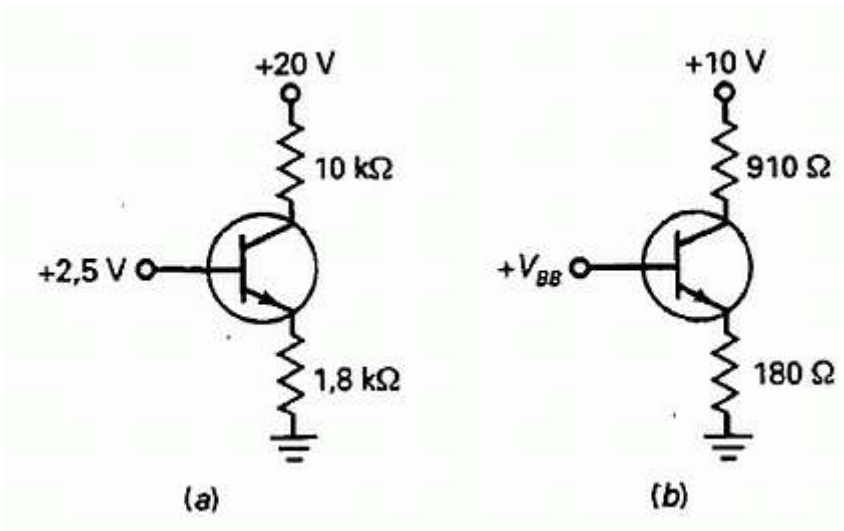
- . Obter a tensão de emissor
- . Calcular a corrente de emissor
- . Achar a corrente de colector
- . Calcular VCE

Em nenhum ponto houve necessidade de usar  $\beta_{DC}$  no processo, ao contrário da polarização de base (confirme atrás).

A corrente fixa agora é  $I_E$  (quase igual a  $I_C$ ), ao contrário da polarização de base em que a corrente fixa era a de base e  $I_C = \beta_{DC} \cdot I_B$

**Exemplo 1:**

Qual é a tensão entre o colector e a terra na figura seguinte?  
E entre o colector e o emissor?



Solução:

A tensão de base é de 5V. A tensão de emissor é 0,7 V menor que ela, o que quer dizer que é

$$V_E = 5 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 4,3 \text{ V}$$

esta tensão está aos extremos da resistência de emissor, que agora é de 1 kΩ. Portanto, a corrente de emissor é

$$I_E = 4,3 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = 4,3 \text{ mA}$$

A corrente de colector é aproximadamente igual a 4,3 mA. Quando esta corrente circula pela resistência de colector (neste caso de 2 kΩ) produz uma tensão de

$$I_C \cdot R_C = (4,3 \text{ mA}) \cdot (2 \text{ k}\Omega) = 8,6 \text{ V}$$

e então

$$V_C = 15 \text{ V} - 8,6 \text{ V} = 6,4 \text{ V e}$$

$$V_{CE} = 6,4 \text{ V} - 4,3 \text{ V} = 2,1 \text{ V}$$

### Questões:

1. O ganho de corrente de um transístor define-se como a relação entre a corrente de colector e:

- A corrente de base
- A corrente de emissor
- A corrente da fonte de alimentação
- A corrente de colector

2. Se a resistência de base diminuir, a tensão de colector provavelmente:

- Diminuirá
- Não muda
- Aumenta
- Qualquer das opções anteriores

3. Se a resistência de base é muito pequena, o transístor funcionará na zona:

- De corte



- b) Activa
- c) De saturação
- d) De ruptura

4. Sobre uma recta de carga mostram-se três pontos Q diferentes. O ponto Q superior tem:

- a) Ganho de corrente mínimo
- b) Ganho de corrente intermédio
- c) Ganho de corrente máximo
- d) A corrente de colector em corte

5. Se um transístor estiver a funcionar na parte central da recta de carga, um aumento da resistência de base fará com que o ponto Q se mova:

- a) Para baixo
- b) Para cima
- c) Fica inalterado
- d) Para fora da recta de carga

6. Se o transístor estiver a funcionar na parte central da recta de carga, um aumento no ganho de corrente fará com que o ponto Q se mova:

- a) Para baixo
- b) Para cima
- c) Fica inalterado
- d) Para fora da recta de carga

7. Se a tensão da fonte de base aumentar, o ponto Q move-se:

- a) Para baixo
- b) Para cima
- c) Fica inalterado
- d) Para fora da recta de carga

8. Suponha que a resistência de base está em aberto. Então o ponto Q situa-se:

- a) Na parte central da recta de carga
- b) No extremo superior da recta de carga
- c) No extremo inferior da recta de carga
- d) Fora da recta de carga

9. Se a tensão da fonte de alimentação de polarização de base se desligar, a tensão colector-emissor será igual a:

- a) 0 V
- b) 6 V
- c) 10,5 V
- d) À tensão da fonte de colector

10. Se a resistência de base entrar em curto-circuito, o transístor provavelmente

- a) Saturará
- b) Entrará em corte
- c) Destruir-se-à
- d) Nenhuma das anteriores

11. Se a resistência de colector diminuir até 0 num circuito com polarização de base, a recta de carga será:

- a) Horizontal
- b) Vertical
- c) Inútil
- d) Plana

12. Suponha que a corrente de colector é de 10 mA. Se o ganho de corrente for de 100, a corrente de base será:

- a) 1  $\mu\text{A}$
- b) 10  $\mu\text{A}$
- c) 100  $\mu\text{A}$
- d) 1 mA

13. Suponha que a corrente de base é de 50  $\mu\text{A}$ . Se o ganho de corrente for de 125, o valor da corrente de colector é aproximadamente de:

- a) 40  $\mu\text{A}$
- b) 500  $\mu\text{A}$
- c) 1 mA
- d) 6 mA

14. Se o ponto Q se deslocar ao longo da recta de carga, a tensão aumenta quando a corrente

- a) Diminui
- b) Não muda
- c) Aumenta
- d) Não sucede nada do que foi dito anteriormente

15. Um circuito em que a corrente de emissor é constante, designa-se de:

- a) Polarização de base
- b) Polarização de emissor
- c) Polarização de transístor
- d) Polarização com duas fontes

16. O primeiro passo para a análise dos circuitos com polarização de emissor consiste em determinar:

- a) A corrente de base
- b) A tensão de emissor
- c) A corrente de emissor
- d) A corrente de colector

17. Num circuito com polarização de emissor, se o ganho de corrente for desconhecido, o que não se conseguirá calcular é:

- a) A tensão de emissor
- b) A corrente de emissor
- c) A corrente de colector
- d) A corrente de base

18. Se a resistência de emissor estiver em aberto, a tensão de colector:

- a) Está no nível alto

- b) Está no nível baixo
- c) Não muda
- d) É desconhecida

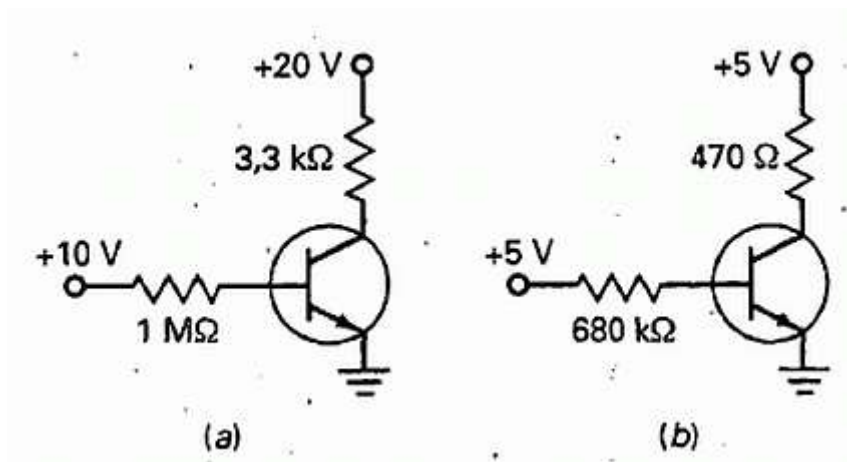
19. Se a resistência de colector estiver em aberto, a tensão de colector:

- a) Está no nível alto
- b) Está no nível baixo
- c) Não muda
- d) É desconhecida

20. Se o ganho de corrente aumenta de 50 para 300 num circuito com polarização de emissor, então a corrente de colector:

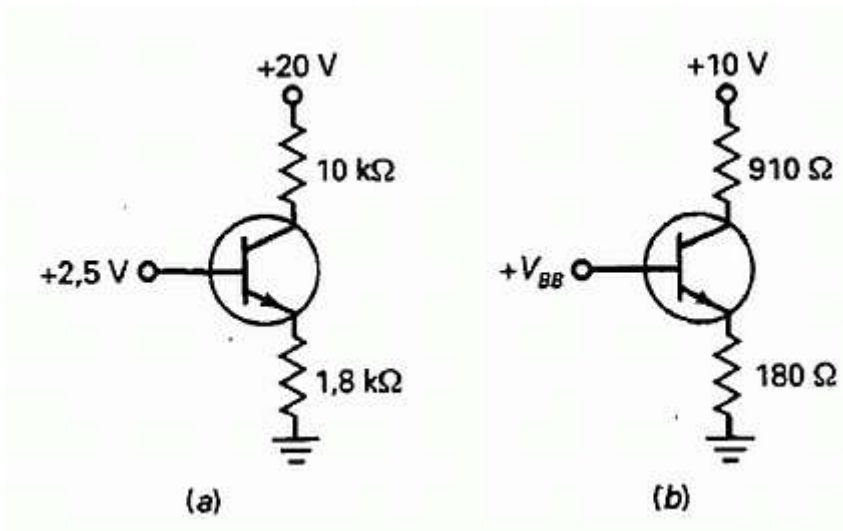
- a) Mantém-se quase no mesmo valor
- b) Diminui 6 vezes
- c) Aumenta 6 vezes
- d) É zero

Problemas:



1. Desenhe a recta de carga para a figura a)  
Qual é a corrente de colector no ponto de saturação?  
E a tensão colector-emissor no ponto de corte?
2. Se a fonte de tensão de colector se reduzir para 10 V na figura a) que sucede à recta de carga?
3. Se a resistência de colector se reduzir a 1 kΩ na figura a) que sucede à recta de carga?
4. Se a resistência de base na figura a) duplicar, que sucede à recta de carga?
5. Desenhe a recta de carga para a figura b)  
Qual é a corrente de colector no ponto de saturação?  
E a tensão colector-emissor no ponto de corte?
6. Se a tensão da fonte de colector duplicar na figura b), que sucede à recta de carga?

7. Se a resistência de colector aumenta para  $1\text{ k}\Omega$  na figura b), que sucede à recta de carga?
8. Na figura a) qual é a tensão entre o colector e a massa se o ganho de corrente valer 100?
9. O ganho de corrente flutua entre 25 e 300 na figura a). Qual é o valor mínimo da tensão de colector?  
E o valor máximo?



10. Qual é a tensão de colector na figura a)?  
E a tensão de emissor?
11. Se a resistência de emissor duplicar na figura a), qual será a tensão de colector-emissor?
12. Se a tensão da fonte de colector diminuir para  $15\text{ V}$  na figura a) qual é a tensão de colector?
13. Qual é a tensão de colector na figura b), se  $V_{BB}=2\text{V}$ ?
14. Se a resistência de emissor duplicar na figura b), qual é a tensão de colector-emissor para uma tensão da fonte de base de  $2,3\text{ V}$ ?
15. Se a tensão da fonte de colector aumentar até  $15\text{ V}$  na figura b), qual é a tensão colector-emissor para  $V_{BB} = 1,8\text{V}$ ?