

O TRANSISTOR COMO CHAVE ELETRÔNICA E FONTE DE CORRENTE

OBJETIVOS: Analisar o comportamento de um transistor no corte e na saturação e sua utilização como chave eletrônica.

INTRODUÇÃO TEÓRICA

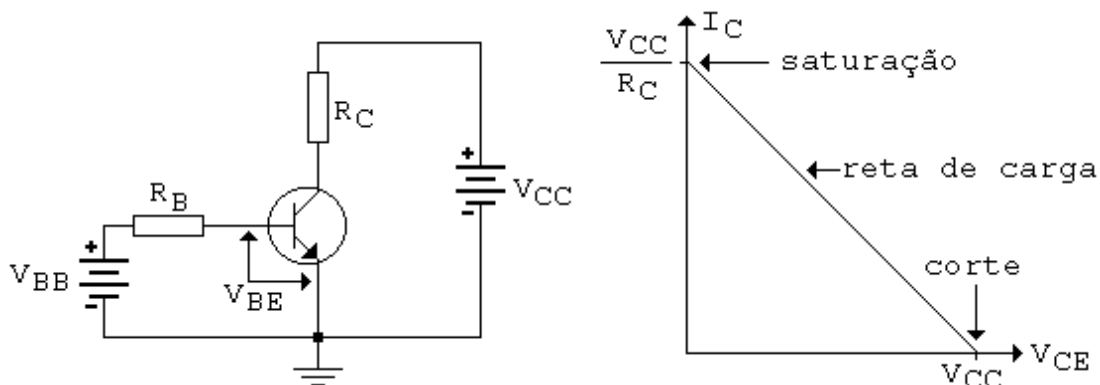
I - Transistor como chave eletrônica:

Um transistor pode operar como chave eletrônica, bastando para tal polarizá-lo de forma conveniente: corte ou saturação.

Quando um transistor está saturado opera como um curto (chave fechada) entre o coletor e o emissor de forma que $V_{CE} \cong 0V$ e quando está no corte, opera como um circuito aberto (chave aberta) entre o coletor e o emissor, de forma que $V_{CE} \cong V_{CC}$.

No ponto de saturação (chave fechada) a corrente de base é alta ($I_{B\text{ SAT}}$) e no ponto de corte (chave aberta) a corrente de base é zero.

Veja na figura a seguir um transistor operando como chave eletrônica e sua respectiva reta de carga.



Para obter o extremo superior da reta de carga (corrente I_C) devemos supor um curto entre coletor e emissor ($V_{CE} = 0$), de forma que toda a tensão de alimentação se fixe no resistor de coletor.

$$\text{Teremos então: } I_C = V_{CC} / R_C$$

Para obter o extremo inferior da reta de carga, devemos supor os terminais de coletor e emissor abertos.

$$\text{Teremos então: } V_{CE} = V_{CC}$$

Fica então caracterizado que o transistor opera apenas em um dos extremos da reta de carga: corte ou saturação.

Podemos então, tomando como exemplo o circuito mostrado anteriormente, calcular a corrente de base e a corrente de coletor.

Aplicando LKT para calcular a corrente de base, temos:

$$I_B R_B + V_{BE} - V_{BB} = 0$$

onde:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

OBS: V_{BE} típica é da ordem de 0,7V

Supondo $V_{BB} = 4V$ e $R_B = 680k\Omega$, a corrente de base (I_B) será:

$$I_B = (4V - 0,7V) / 680k\Omega = 4,85\mu A$$

Para calcular a corrente de coletor podemos aplicar LKT na malha V_{CC} , V_{RC} e V_{CE} , onde teremos:

$$\begin{aligned} V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} &= 0 \\ V_{RC} &= V_{CC} - V_{CE} \\ I_C &= V_{RC} / R_C \text{ ou } I_C = (V_{CC} - V_{RC}) / R_C \end{aligned}$$

No chaveamento eletrônico com transistores, devemos levar em conta dois tipos de saturação: fraca e forte.

Na saturação fraca, a corrente de base é suficiente para levar o transistor à saturação.

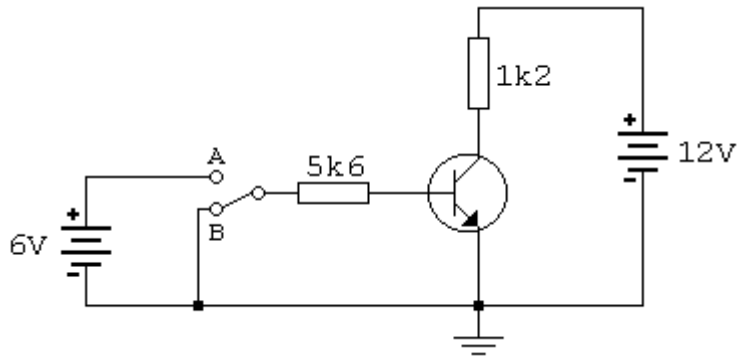
Tal procedimento porém não é aconselhável visto que pode haver uma variação de β_{CC} e na própria corrente de base de saturação ($I_{B SAT}$).

Utiliza-se normalmente a saturação forte, que assegura a condição de saturação para todos os valores de β_{CC} .

Uma regra prática é considerar a corrente de base como 1/10 da corrente de saturação de coletor.

Desta forma, supondo que $I_{C SAT} = 12mA$, então será fixada uma corrente de base de 1,2mA (relação 10:1).

Tomemos como exemplo o circuito abaixo, onde verificaremos se o mesmo está operando como chave eletrônica.



a) Considerando uma tensão de base igual a zero (chave no ponto B), a corrente de base será igual a zero (condição de corte) e a corrente de coletor será igual a zero.

Nestas condições o transistor operará como uma chave aberta e a tensão no resistor de coletor será zero, pois $V_{RC} = R_C I_C$; logo, a tensão entre coletor e emissor será igual a 12V pois $V_{CE} = V_{CC} - V_{RC}$.

Quando a tensão de base for 6V, a corrente de base ficará:

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B = (6 - 0,7) / 5.600 = 0,964\text{mA}$$

b) Imaginemos um curto entre o coletor e emissor (chave na posição A).

Neste caso, a tensão entre coletor e emissor assume idealmente 0V e a corrente de saturação do coletor pode ser assim calculada:

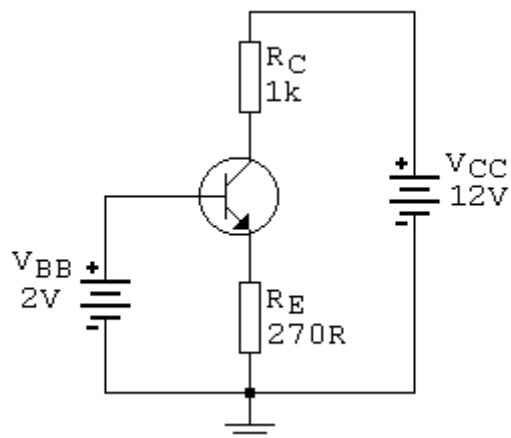
$$V_{RC} = V_{CC} - V_{CE} = 12 - 0 = 12\text{V}$$

$$I_{C\text{ SAT}} = V_{RC} / R_C = 12 / 1.200 = 10\text{mA}$$

Comparando a corrente de base com a corrente de coletor, verifica-se que esta última é cerca de 10 vezes maior do que a corrente de base, o que assegura a saturação para uma vasta gama de β_{CC} .

II - Transistor como fonte de corrente:

Consideremos o circuito a seguir:



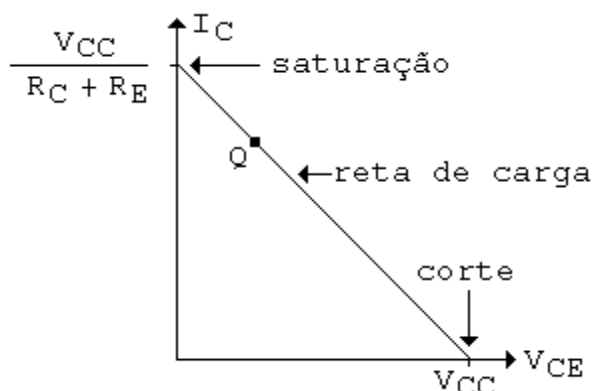
A diferença básica em relação ao circuito anterior (transistor operando como chave) é a inclusão de um resistor do emissor à terra.

Nestas condições o transistor opera como fonte de corrente uma vez que, a corrente de coletor mantém-se constante para uma vasta gama de β_{CC} e variações de V_{CC} .

Nestas condições, presume-se o circuito operando em qualquer ponto da reta de carga (ponto Q), dependendo da corrente necessária.

A figura abaixo ilustra a reta de carga, onde a corrente I_C é calculada da seguinte forma seguindo o procedimento anterior, porém, com a inclusão do resistor de emissor.

$$I_C = V_{CC} / (R_C + R_E)$$



Podemos então calcular a corrente de emissor. Aplicando LKT, temos:

$$\begin{aligned} V_{BB} - V_{BE} - I_E R_E &= 0 \\ I_E &= (V_{BB} - V_{BE}) / R_E \\ I_E &= (2 - 0,7) / 270 = 4,81\text{mA} \end{aligned}$$

Assim, para uma vasta gama de β_{CC} teremos $I_E \cong I_C$.

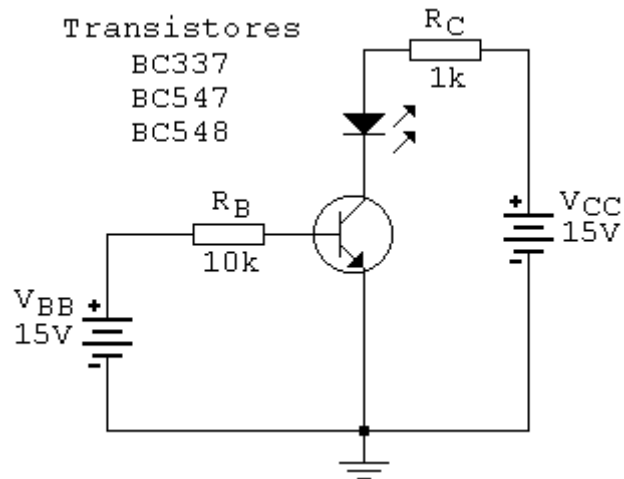
PARTE PRÁTICA

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- 1 - Fonte de alimentação simétrica 0-20V
- 1 - Multímetro analógico ou digital
- 1 - Módulo de ensaios ELO-1

CHAVEAMENTO ELETRÔNICO

1 - Monte o circuito abaixo:



2 - Calcule os valores de I_B , I_C e V_{CE} e anote na tabela 1;

OBS: para efeito de cálculo da corrente I_C , considere a queda de tensão nos extremos do led = 1,6V.

3 - Meça e anote os valores listados na tabela 1 para os três transistores (BC337, BC547 e BC548).

TABELA 1

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	I_B	I_C	V_{CE}	I_B	I_C	V_{CE}
BC337						
BC547						
BC548						

4 - Analise os valores calculados e medidos na tabela 1 e apresente suas conclusões:

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS - TRANSISTOR COMO CHAVE:

5 - Suponha que o resistor de base esteja aberto. Calcule e anote na tabela 2 a tensão no coletor;

6 - Repita o procedimento do item 5 para cada defeito listado na tabela 2;

7 - Simule cada um dos defeitos, proceda as medidas e anote na tabela 2.

OBS: para simular os defeitos utilize o transistor BC547

TABELA 2 : Verificação de defeitos

DEFEITO	V_C calculada	V_C medida
Resistor de $10k\Omega$ aberto		
Resistor de $1k\Omega$ aberto		
Coletor-emissor em curto		
Coletor-emissor aberto		

PROJETO:

8 - Determine o valor de um resistor de coletor (valor comercial), baseando-se no circuito desta experiência, para que a corrente no coletor seja próxima de 32mA.

9 - Monte o circuito com o resistor que você calculou (utilize o transistor BC547) e complete a tabela 3.

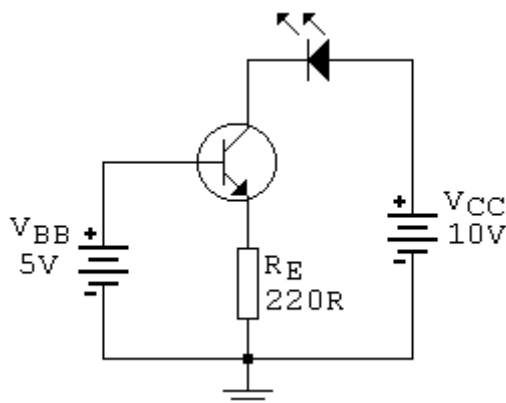
TABELA 3: Projeto

R_C calculado: _____

CALCULADO			MEDIDO	
TRANSISTOR	V_E	I_C	V_E	I_C
BC547				

FONTE DE CORRENTE

10 - Monte o circuito abaixo:



11 - Calcule V_E , I_C e V_{CE} e anote na tabela 4;

OBS: considere a queda de tensão no led = 1,6V

12 - Meça e anote os valores listados na tabela 4 para os três transistores (BC337, BC547 e BC548);

TABELA 4

TRANSISTOR	CALCULADO			MEDIDO		
	V_E	I_C	V_{CE}	V_E	I_C	V_{CE}
BC337						
BC547						
BC548						

13 - Analise os valores calculados e medidos na tabela 4 e apresente suas conclusões:

VERIFICAÇÃO DE DEFEITOS - FONTE DE CORRENTE:

14 - Suponha que o resistor de emissor esteja aberto. Calcule e anote os valores de tensão listados na tabela 5;

15 - Simule cada um dos defeitos, proceda as medidas e anote na tabela 5.

OBS: para simular os defeitos utilize o transistor BC547

TABELA 5: Verificação de defeitos

DEFEITO	CALCULADO		MEDIDO	
	V_C	V_E	V_C	V_E
Resistor de 220Ω aberto				
Coletor-emissor em curto				
Coletor-emissor aberto				

PROJETO:

16 - Determine o valor de um resistor de emissor (valor comercial), baseando-se no circuito desta experiência, para que a corrente no coletor seja próxima de 32mA.

17 - Monte o circuito com o resistor que você calculou (utilize o transistor BC547) e complete a tabela 6.

TABELA 6: Projeto

R_E calculado: _____

CALCULADO			MEDIDO	
TRANSISTOR	V_E	I_C	V_E	I_C
BC547				

QUESTÕES:

1 - Quando um transistor está em saturação forte, os terminais entre coletor e emissor parecem estar aproximadamente:

- a) abertos
- b) em curto
- c) na região ativa
- d) em corte

2 - Em um transistor usado como fonte de corrente, o emissor está amarrado a uma queda de tensão entre base e emissor (V_{BE}) abaixo da:

- a) tensão de base
- b) tensão de emissor
- c) tensão de coletor
- d) tensão entre base e coletor

3 - Podemos afirmar que um transistor operando como chave em *saturação forte*, a corrente I_C varia muito em função de pequenas variações de β_{CC} .

- a) certo
- b) errado

4 - Um transistor como fonte de corrente opera:

- a) exclusivamente na região de corte
- b) exclusivamente na região de saturação
- c) somente na região linear
- d) na região de corte, saturação ou linear

5 - Um transistor como chave eletrônica opera virtualmente na região de corte e na região de saturação.

- a) certo
- b) errado

6 - Projete e esquematize uma chave eletrônica com transistor PNP, para acionar uma carga de 60mA. Escolha através das especificações de fabricantes (Data Book) o transistor adequado para esta operação (apresente os cálculos).

