

Transistores Bipolares 2

Adrielle C. Santana

Circuito EC

O circuito EC visto na aula anterior apresenta um problema:

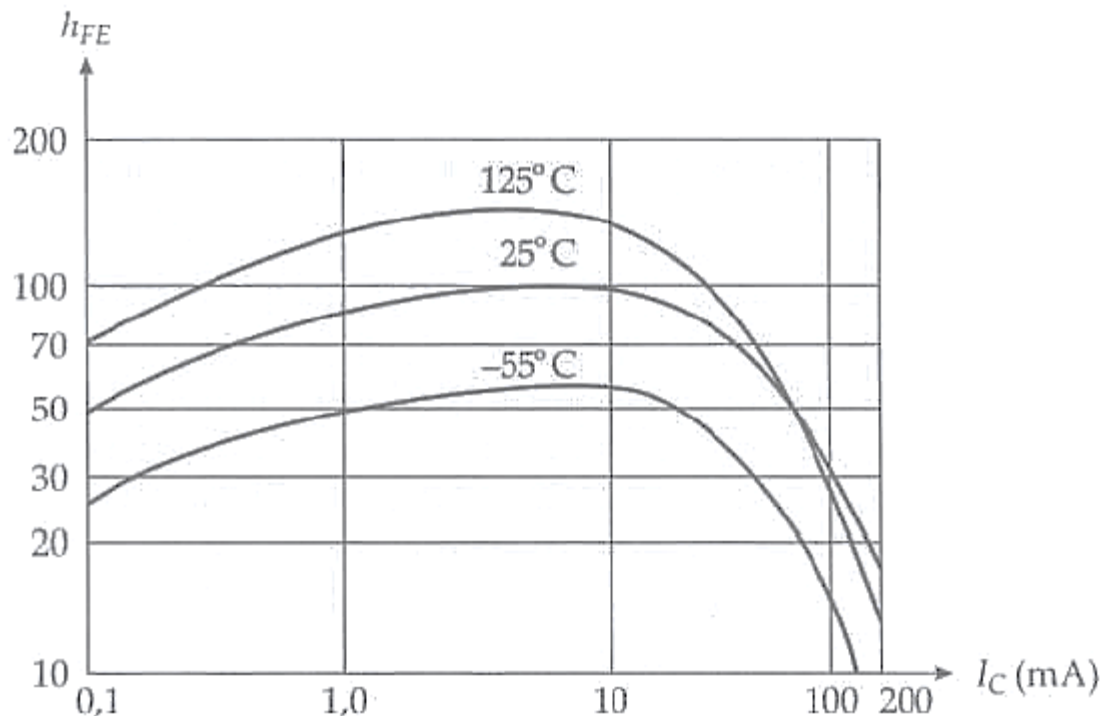
➤ Seu ganho de corrente é variável.

E esse ganho varia com:

- Corrente do coletor;
- Corrente da base;
- Temperatura;
- Transistor para transistor.

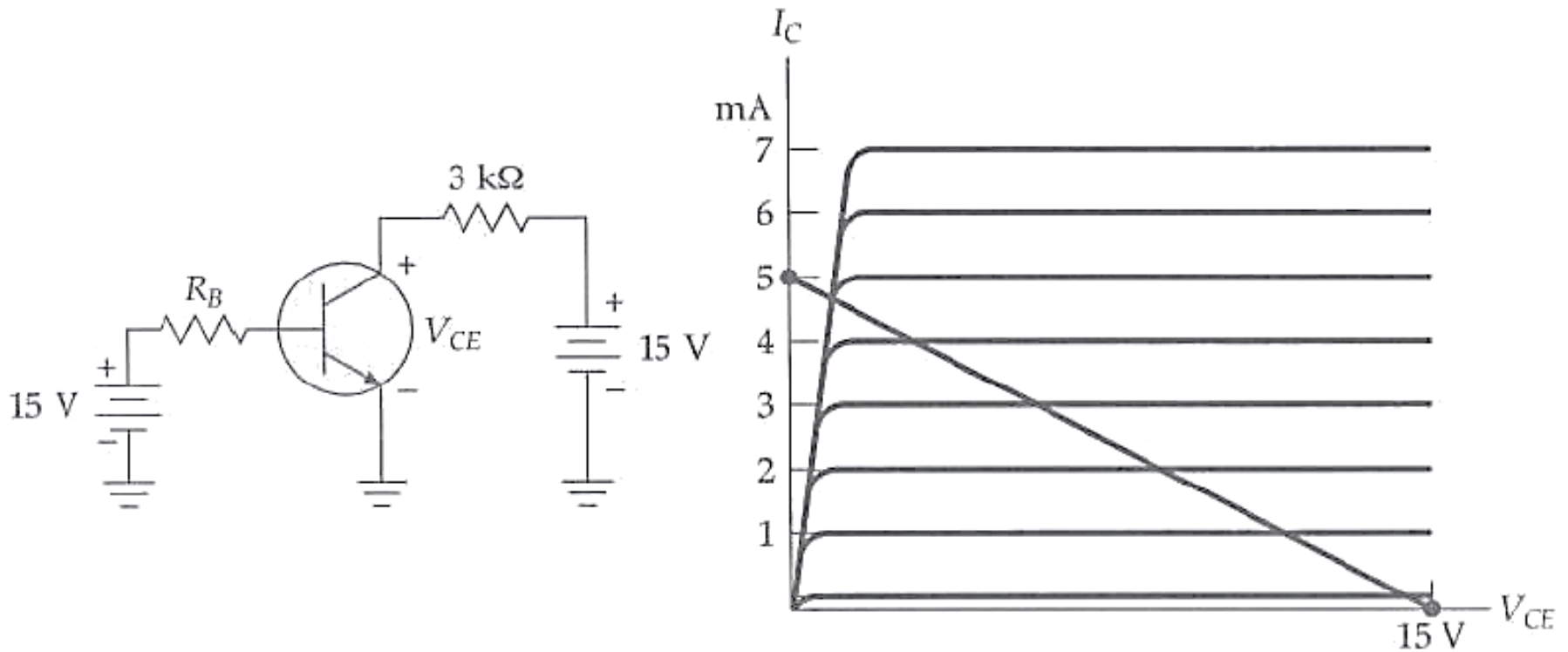
Circuito EC

Para um mesmo transistor (por exemplo o 2N3904) o ganho pode variar de transistor para transistor de 100 até o valor de 300. Como dito, também varia com a I_C e a temperatura:



Reta de Carga

É a linha que corta as curvas características do coletor mostrando pontos de operação do transistor



Reta de Carga

Para a figura anterior, a reta de carga mostra todos os possíveis valores de I_c e V_{ce} quando variamos a **resistância de base** de 0 a infinito.

Reta de Carga

Ponto de Saturação

É o ponto onde a reta de carga intercepta a região de saturação. Nesse ponto se tem a **máxima corrente I_c possível** no coletor.

Pode-se aproximar esse ponto como sendo o próprio ponto superior da reta de carga pelo fato da tensão de saturação ser muito pequena.

Esse ponto varia com V_{CC} e R_C .

Reta de Carga

Para o circuito da figura vista, a corrente no ponto de saturação pode ser calculada fazendo:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Reta de Carga

Ponto de Corte

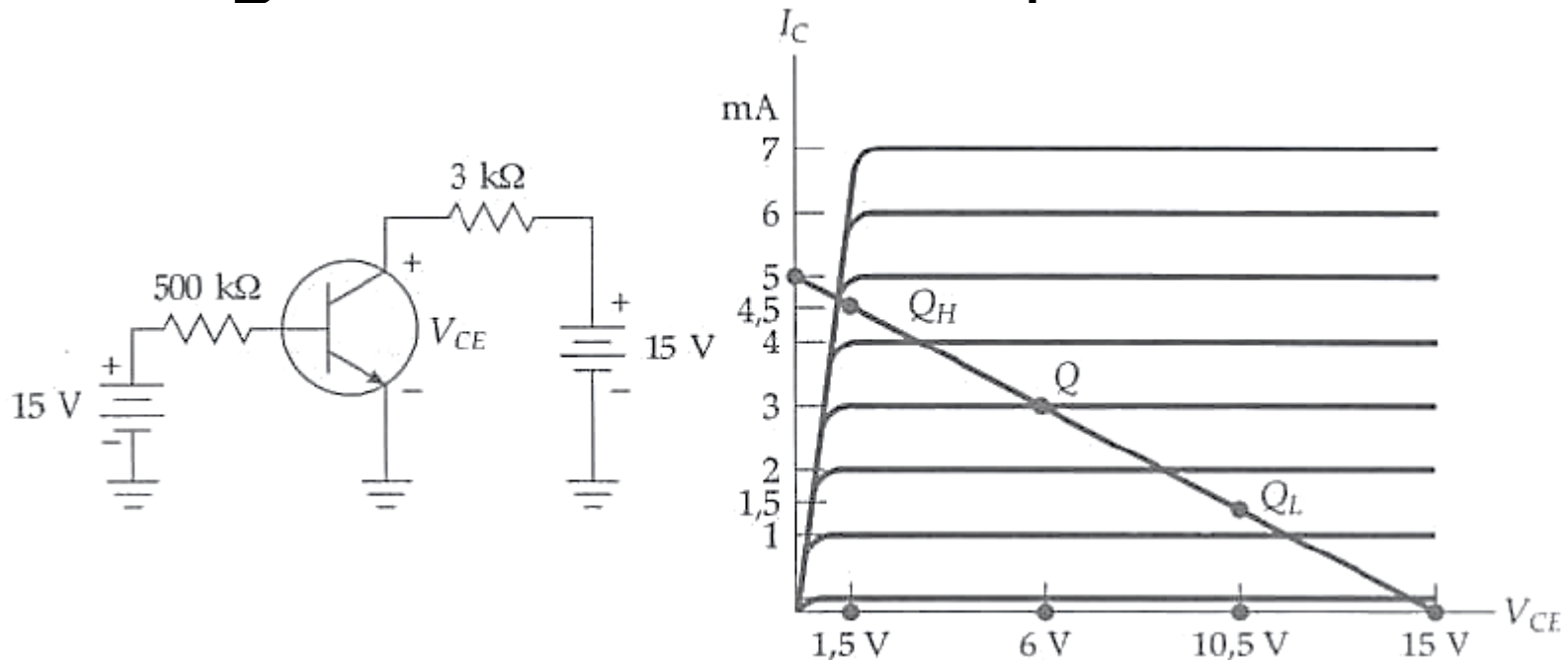
É o ponto onde a reta de carga intercepta a região de corte da curva do coletor.

No corte I_c **é muito pequena (V_{CE} máx)** de modo que pode-se aproximar esse ponto como o ponto inferior da reta de carga.

Esse ponto varia com a tensão V_{CC} de modo que nele $V_{CE(\text{corte})} = V_{CC}$.

Ponto de Operação

Dado um circuito com transistor qualquer, é possível logo de cara, calcular os pontos de corte e de saturação e traçar a **reta de carga** entre eles. Exemplo:



Ponto de Operação

Plotando o ponto Q (quiescente = quieto, estável)

Sendo o transistor **ideal** então:

$$I_B = \frac{15}{500k\Omega} = 30\mu A$$

Supondo $\beta_{CC}=100$ calcula-se I_C

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

Ponto de Operação

Calcula-se V_{CE} fazendo:

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

O ponto de Operação ou **Ponto Q** é o ponto na reta de carga onde $V_{CE}=6V$ e $I_C=3mA$.

Obs.: Deve-se lembrar que esse ponto varia com o valor de β_{CC} !

Ponto de Operação

Para o cálculo correto desse ponto Q, deve-se levar em conta a queda de tensão V_{BE} no circuito da base de modo que as fórmulas utilizadas ficam como segue:

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

$$I_C = \beta_{cc} I_B$$

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

Identificando a Saturação

Como identificar que num circuito com transistor, ele está operando na região de saturação ou na ativa?

- Suponha que o transistor opera na região ativa;
- Faça os cálculos;
- Se ocorrer valores absurdos a suposição é falsa.

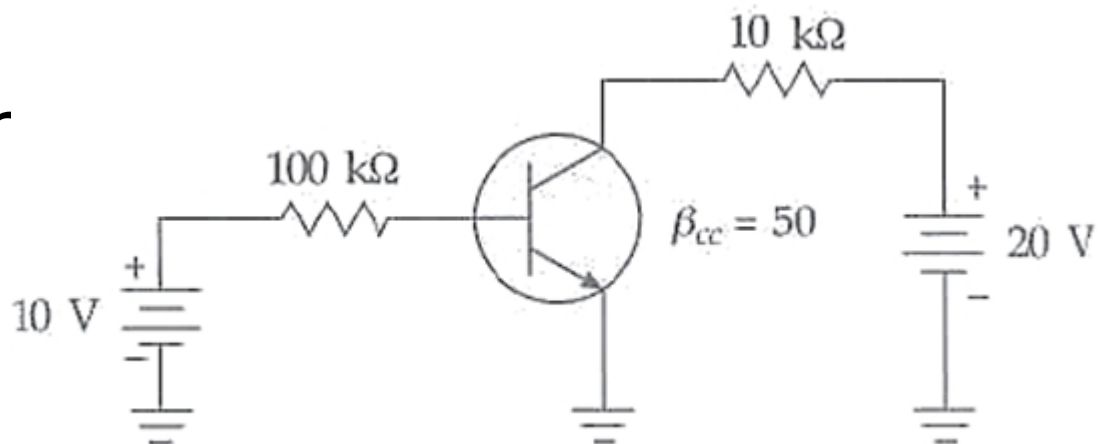
Identificando a Saturação

- Ex.: Idealmente $I_B = 10/100000 = 0,1\text{mA}$
- **O ganho de corrente dado só vale na região ativa de operação então:**

$$I_C = 50(0,1\text{ mA}) = 5\text{ mA}$$

$$V_{CE} = 20\text{ V} - (5\text{ mA})(10\text{ k}\Omega) = -30\text{ V}$$

- Que é um valor absurdo!



Identificando a Saturação

β_{CC} na região de saturação é menor que o normal e pode ser calculado fazendo:

$$\beta_{CC(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{I_B}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{20 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ mA}$$

$$\beta_{CC(sat)} = \frac{2 \text{ mA}}{0,1 \text{ mA}} = 20$$

Identificando a Saturação

Saturação Forte

A corrente do coletor aumenta com a corrente da base até que alcance o valor de saturação

$I_{C(sat)}$.

No entanto o ganho de corrente β_{CC} tende a diminuir com o aumento de I_B além do $I_{C(sat)}$.

Identificando a Saturação

Se no exemplo anterior onde obteve-se $\beta_{CC}=20$ para $I_{C(\text{sat})}$ continuássemos a aumentar I_B (diminuindo a resistência R_B por exemplo para $50\text{k}\Omega$):

$$\beta_{CC(\text{sat})} = \frac{2 \text{ mA}}{0,2 \text{ mA}} = 10$$

Identificando a Saturação

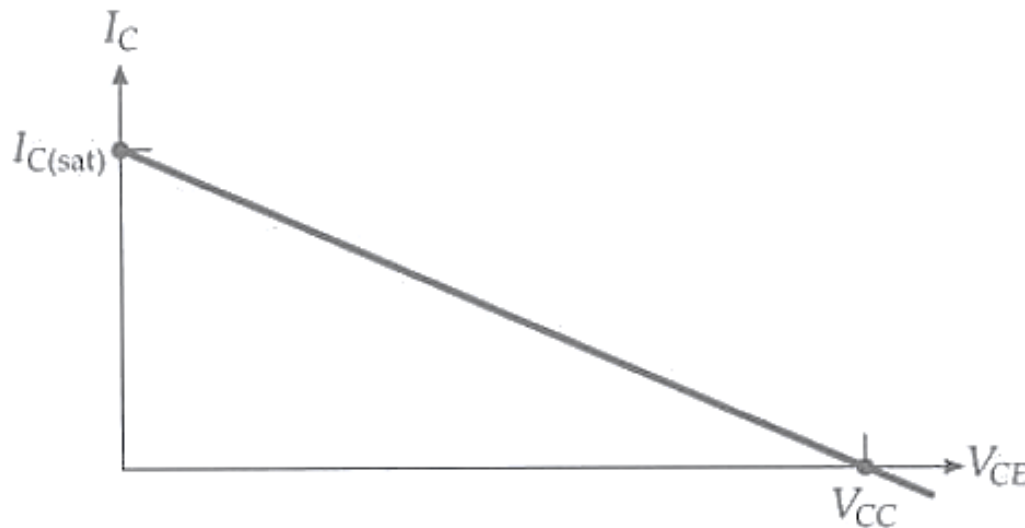
Quando a corrente de base I_B é mais que o suficiente para saturar o transistor, isso é chamado de **saturação forte**.

Saturação Forte

Costuma-se convencionar que a **saturação forte** pertença a projetos que mantenham o ganho de corrente em 10 (na situação do exemplo anterior apenas para salientar que é um valor menor que o necessário para a saturação de I_c). A **saturação leve** seria aquela onde o ganho de corrente é apenas levemente menor que o ganho na região ativa.

Saturação Forte

Utiliza-se saturação **forte** para evitar que o transistor saia da região de saturação (I_C máx) com variações de temperatura e substituição de transistor que são fatores que influenciam no valor de β_{CC} .



Transistor como Chave

Em **circuítos digitais** deseja-se apenas dois estados (0 ou 1) e assim, o uso de transistores com polarização de base (EC) é útil de forma a se obter uma saída de tensão (V_{CE}) ora baixa (0 - saturação) e ora alta (1 - corte).

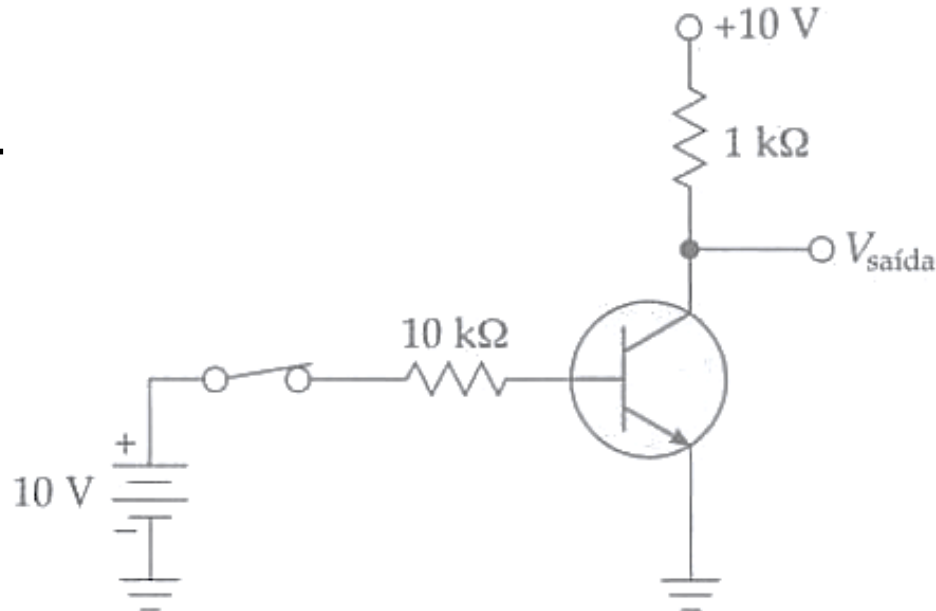
Transistor como Chave

No circuito abaixo, tem-se uma chave que:

➤ Fechada \longrightarrow transistor saturado $\longrightarrow V_{CE} = 0 \text{ V}$

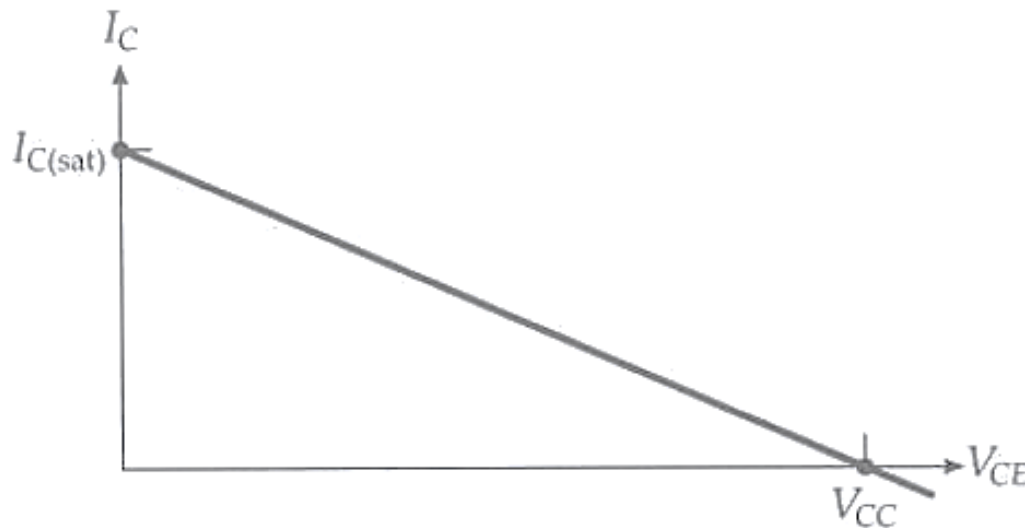
➤ Aberta \longrightarrow transistor em corte $\longrightarrow V_{CE} = 10 \text{ V}$

➤ INV-NOT



Transistor como Chave

Observe que nesse tipo de circuito as demais variações do ponto Q não importam uma vez que apenas interessa trabalhar com o transistor em corte ou saturado.



Polarização do Emissor

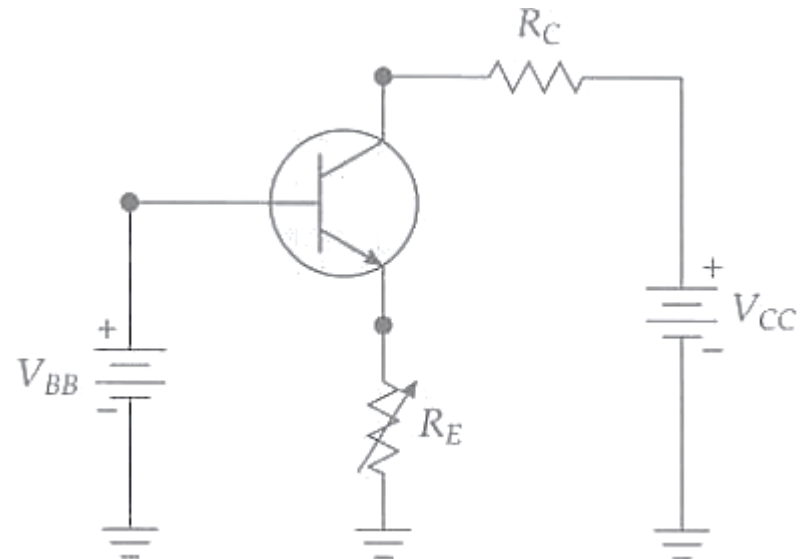
Diferente dos circuitos digitais, circuitos de amplificação necessitam que os pontos Q dos transistores sejam imunes às variações do β_{CC} .

O circuito de **polarização do emissor** representado a seguir, possibilita que grandes variações do β_{CC} afetem pouco a posição do ponto Q na reta de carga.

Polarização do Emissor

Nesse circuito não existe mais R_B . Existe uma resistência R_E e conseqüentemente uma tensão V_E que dessa vez não é 0 V pelo fato do emissor não estar mais aterrado.

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



Polarização do Emissor

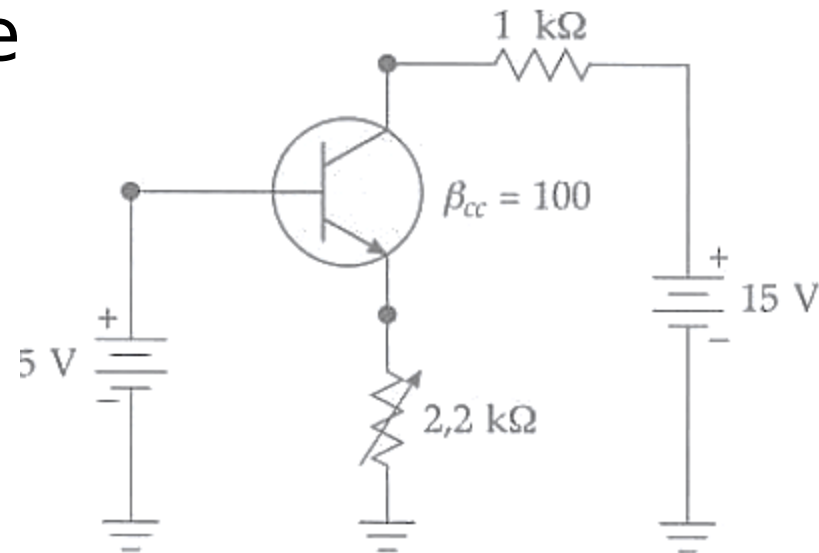
Ponto Q

Seja o circuito abaixo.

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

Pela lei de Ohm encontra-se

$$I_E = \frac{4,3 \text{ V}}{2,2 \text{ k}\Omega} = 1,95 \text{ mA}$$

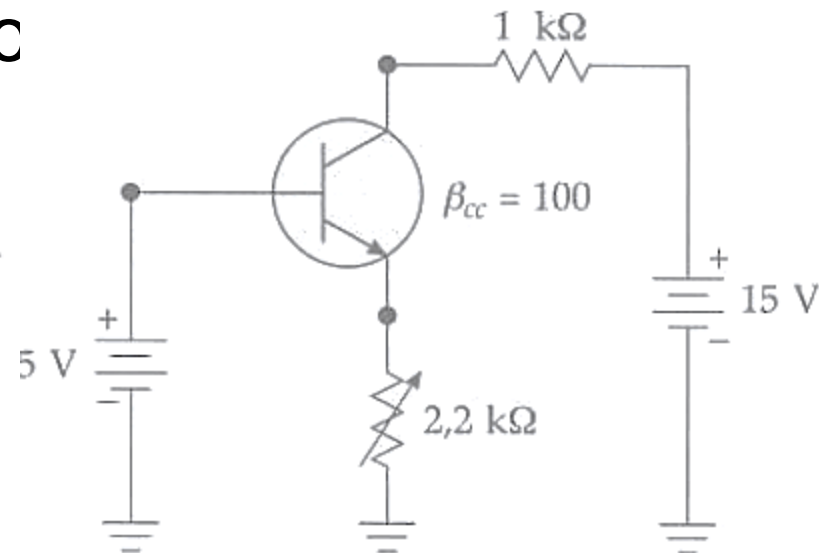


Polarização do Emissor

Essa é “praticamente” a mesma corrente que circula pelo coletor de modo que a queda de tensão no resistor de $1\text{k}\Omega$ é de $1,95\text{V}$.

Calcula-se V_C subtraindo essa queda de tensão da tensão V_{CC} da f_c

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



Polarização do Emissor

A tensão V_{CE} é obtida subtraindo-se V_C de V_E pois agora o emissor não está mais aterrado.

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

Então as coordenadas do ponto Q desse transistor são: $I_C = 1,95 \text{ mA}$ e $V_{CE} = 8,8 \text{ V}$.

Polarização do Emissor

Nos cálculos feitos não utilizamos em nenhum momento o β_{CC} . Ele não afeta mais tanto o V_{CE} . Agora a tensão V_{BB} estabelece uma **corrente fixa no emissor** em vez da base e o valor dessa corrente e da corrente I_C não mais depende tanto do ganho quanto no cálculo de I_B visto nas polarizações anteriores.

Veja por quê:

Polarização do Emissor

Sabe-se que: $I_E = I_C + I_B$

Onde I_B pode ser substituída por:

$$I_E = I_C + \frac{I_C}{\beta_{cc}}$$

Colocando em função de I_E tem-se:

$$I_C = \frac{\beta_{cc}}{\beta_{cc} + 1} I_E$$

Onde o multiplicador de I_E é um **fator de correção**.

Polarização do Emissor

Se no exemplo anterior onde obteve-se $\beta_{CC}=20$ para $I_{C(sat)}$ continuássemos a aumentar I_B (diminuindo a resistência R_B por exemplo para $50k\Omega$):

Se supormos que $\beta=100$ temos:

$$\frac{\beta_{CC}}{\beta_{CC} + 1} = \frac{100}{100 + 1} = 0,99$$

De modo que:

$$I_C = 0,99 \cdot I_E$$

Com tal semelhança, desde que o projeto não seja muito preciso podemos fazer: $I_C = I_E$

Resumindo...

Vimos que os circuito com polarização da base (emissor comum) estabelecem **corrente de base fixa**.

Circuito com polarização do emissor estabelecem **corrente fixa no emissor**.

O β_{CC} varia com o transistor usado, temperatura e I_C de modo que toda essa variação faz com que:

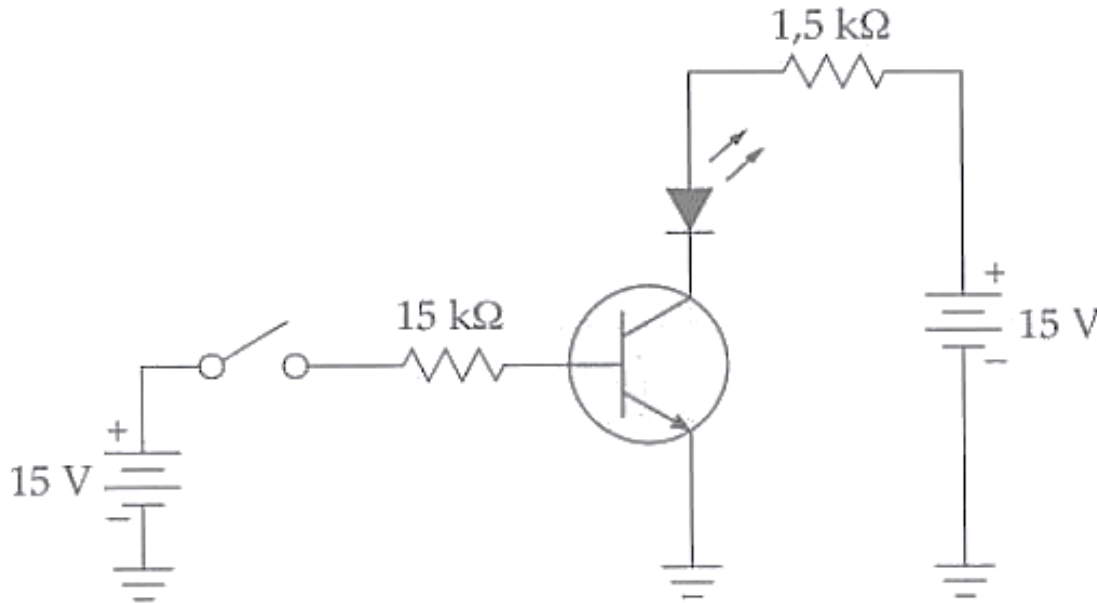
Resumindo...

- Circuitos de polarização de base: projetados para serem usados como chave (entre as regiões de saturação e corte) por existir grande variação do ponto Q.
- Circuitos de polarização de emissor: projetados para serem operados na região ativa por ter pouca variação do ponto Q ($I_C \approx I_E$).

Acionadores de LED

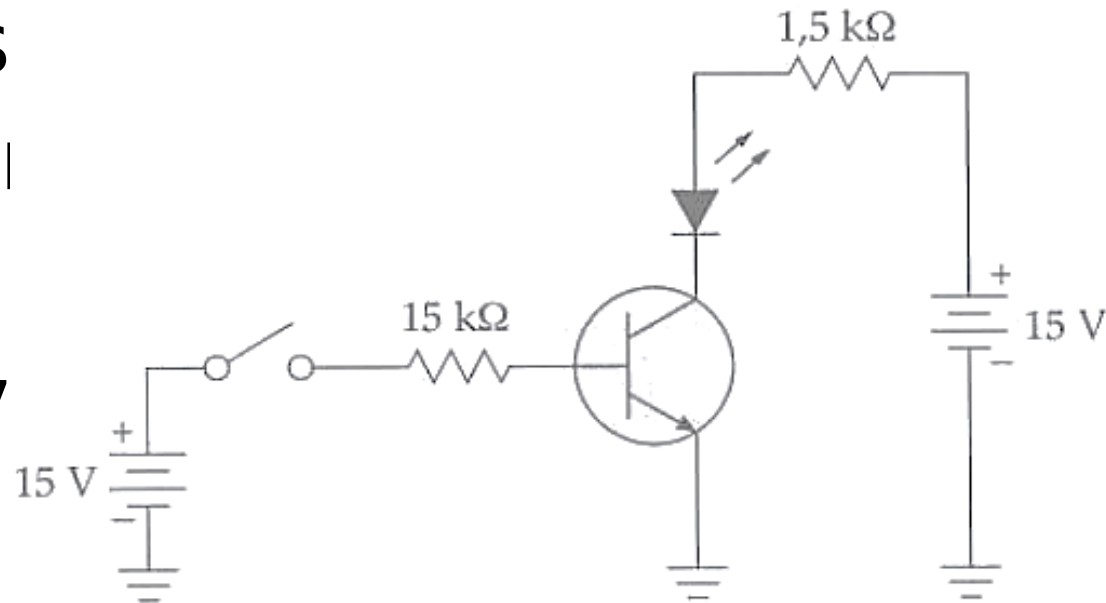
Acionador de LED com Polarização da Base

No circuito abaixo o transistor se encontra em corte com a chave aberta. Nesse momento o LED não se acende pois, não há corrente no coletor.



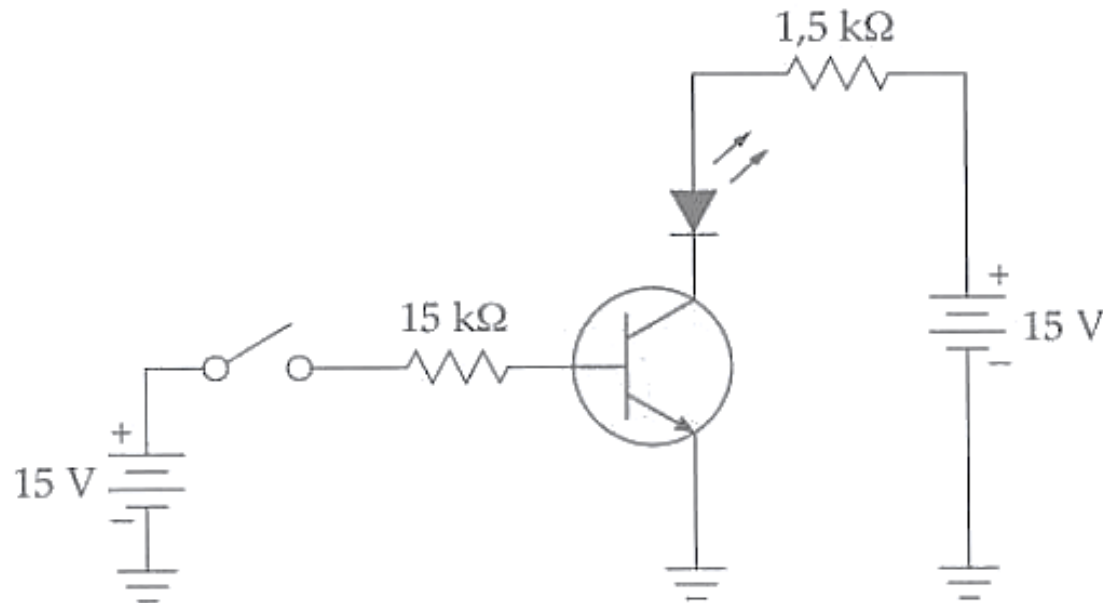
Acionadores de LED

Fechando-se a chave, o transistor entrará em saturação forte (ver relação de resistores) de modo que $V_{CE} = 0 \text{ V}$ e os 15 V do V_{CC} cairão sobre o R_C e o LED (aces sobram 13 V sob resultam numa corrente $I_C = 8,67$



Acionadores de LED

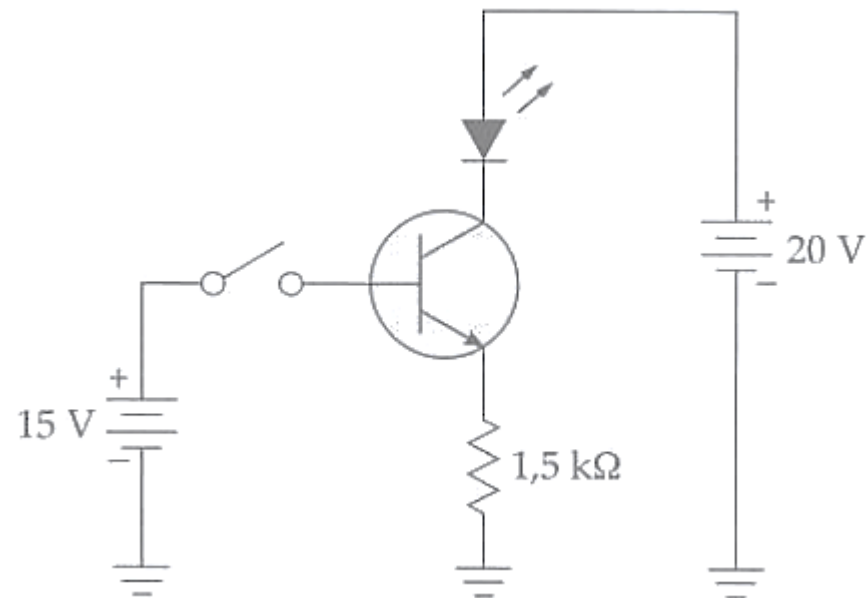
Para controlar a corrente sobre o LED basta alterar o valor de R_C e/ou o de V_{CC} .



Acionadores de LED

Acionador de LED com Polarização do Emissor

Na figura abaixo a corrente I_E é zero significando transistor em corte. LED apagado. Fechando a chave a tensão no emissor vai para 14,3V resultando em $I_E = 9,5\text{mA}$.



Acionadores de LED

Nesse circuito não importa a queda de tensão do LED, a corrente por ele sempre será a mesma e vale I_E .

Nesse circuito também não é necessário o resistor de coletor.

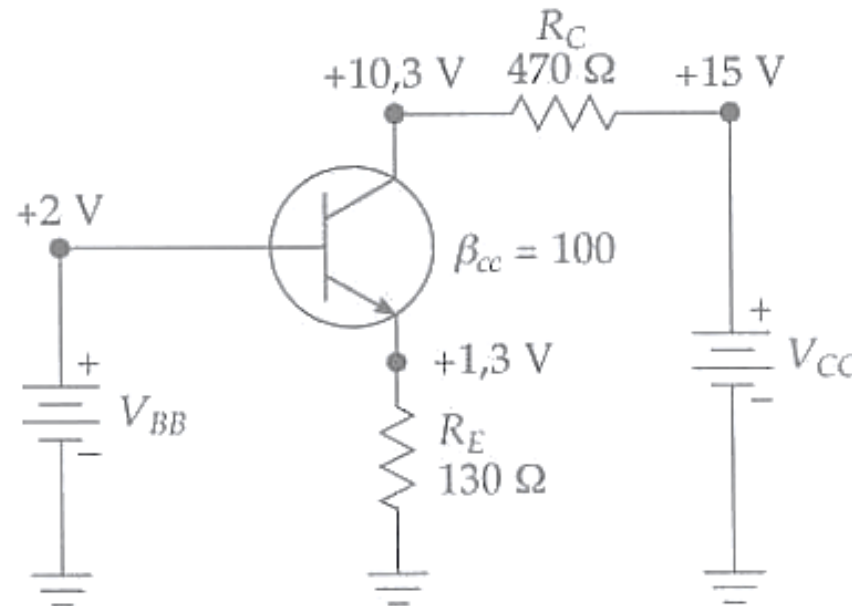
O circuito opera na região ativa quando a chave é fechada e em corte com a chave aberta.

Para alterar a corrente sobre o LED, basta alterar R_E e/ou V_{BB} .

Efeito das Variações

Para o circuito abaixo tem-se as seguintes variáveis **independentes** que são os valores do circuito:

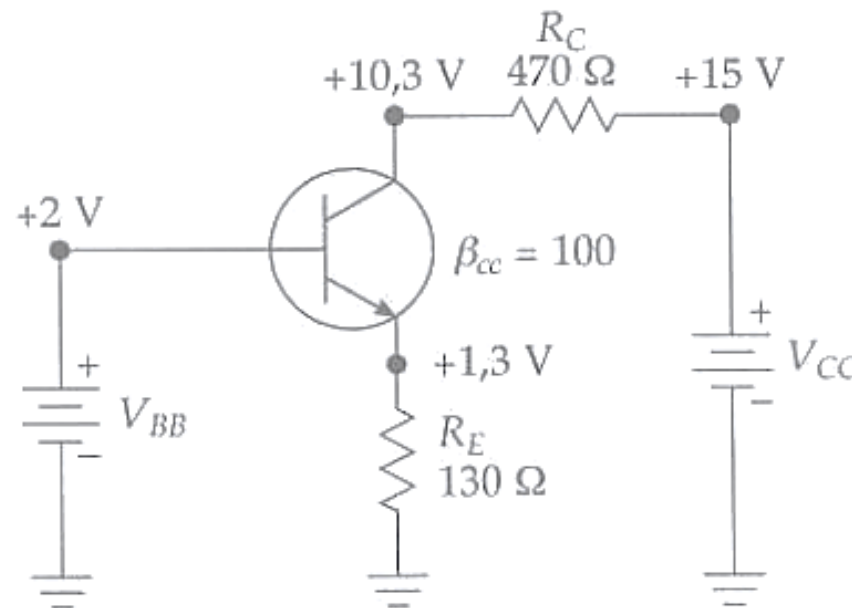
$$V_{BB} = 2\text{ V} \quad V_{CC} = 15\text{ V} \quad R_E = 130\ \Omega \quad R_C = 470\ \Omega \quad \beta_{cc} = 100$$



Efeito das Variações

Para esse mesmo circuito temos as variáveis **dependentes** as quais mudam com a variação de uma variável **independente**.

$$V_E = 1,3 \text{ V} \quad V_C = 10,3 \text{ V} \quad I_B = 99 \mu\text{A} \quad I_C = 9,9 \text{ mA} \quad I_E = 10 \text{ mA}$$



Efeito das Variações

Seja o código:

P => permanece o mesmo;

A => aumenta;

D => diminui;

A tabela a seguir mostra uma análise variacional das variáveis dependentes de acordo com a variação das variáveis independentes.

Efeito das Variações

	V_E	I_E	I_B	I_C	V_C	V_{CE}
V_{BB} aumenta	A	A	A	A	D	D
V_{CC} aumenta	P	P	P	P	A	A
R_E aumenta	P	D	D	D	A	A
R_C aumenta	P	P	P	P	D	D
β_{cc} aumenta	P	P	D	P	P	P

Faça a análise você mesmo para cada linha e veja se sua compreensão do transistor está correta.

Ex.: V_{BB} ou V_{CC} diminuindo.