

**Tema da aula:**



# *Transistores*

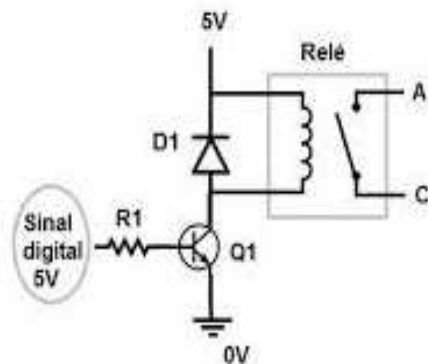
**Professor Valter Antonio Ferreira**

# Transistor

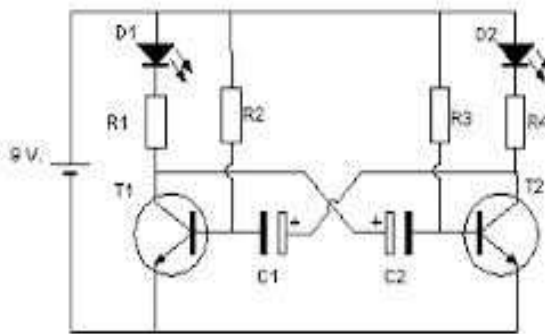
O termo **Transistor** resulta da aglutinação dos termos ingleses **TRANS**fer + re**SISTOR** (resistência de transferência).

## Utilização

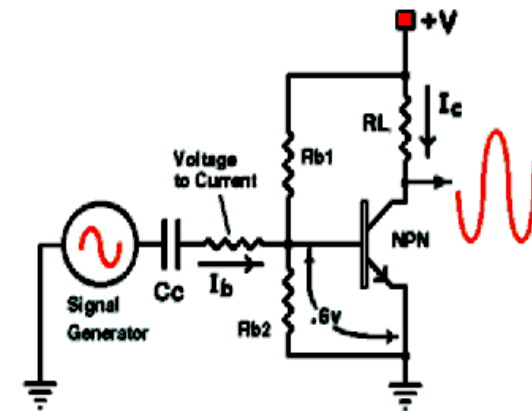
interruptor eletrônico



oscilador



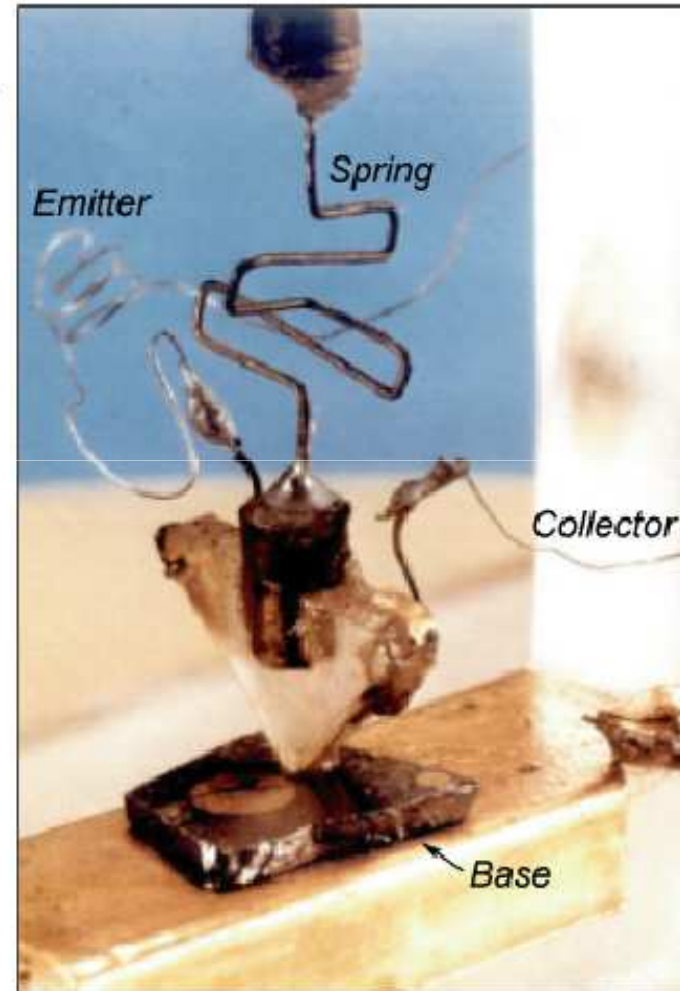
amplificador de sinais



The first transistor was a point-contact transistor

***The first point-contact transistor***

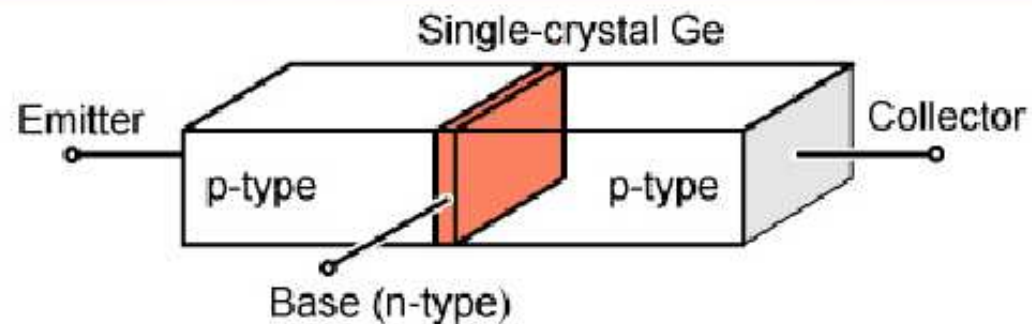
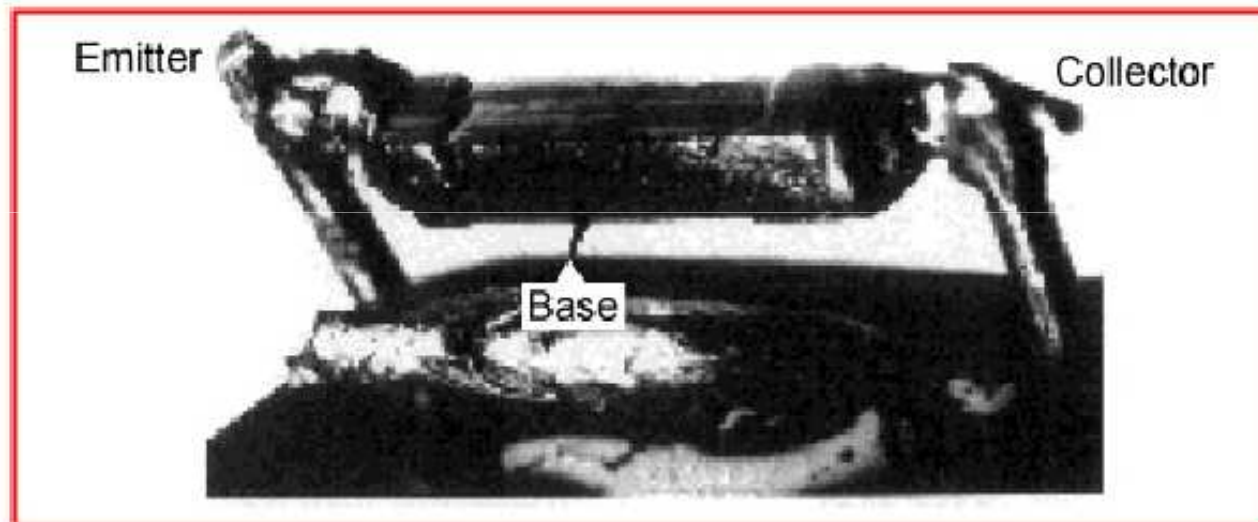
*John Bardeen, Walter Brattain, and William Shockley  
Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey (1947)*



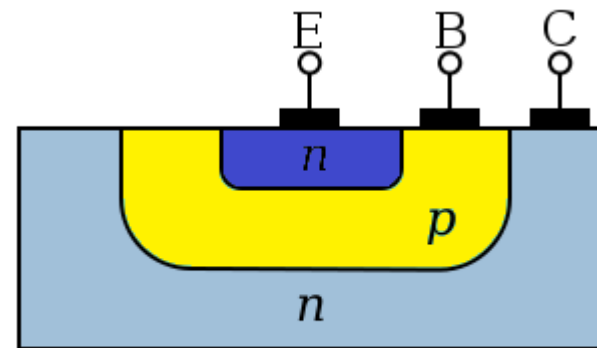
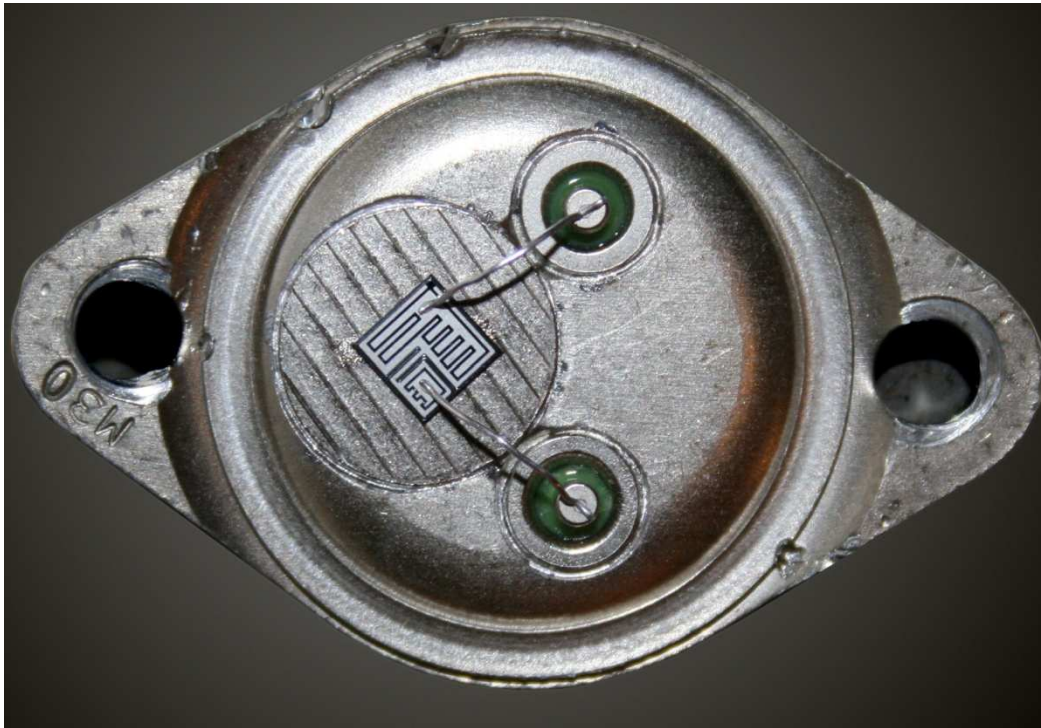
# Transistor de Junção Bipolar (TJB)

## *The First Junction Transistor*

First transistor with diffused pn junctions by William Shockley  
Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey (1949)

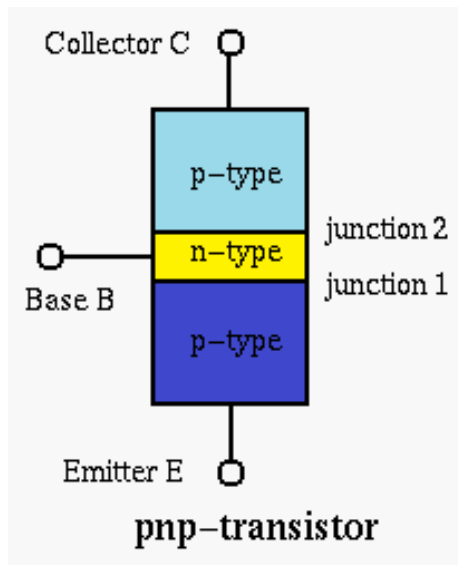
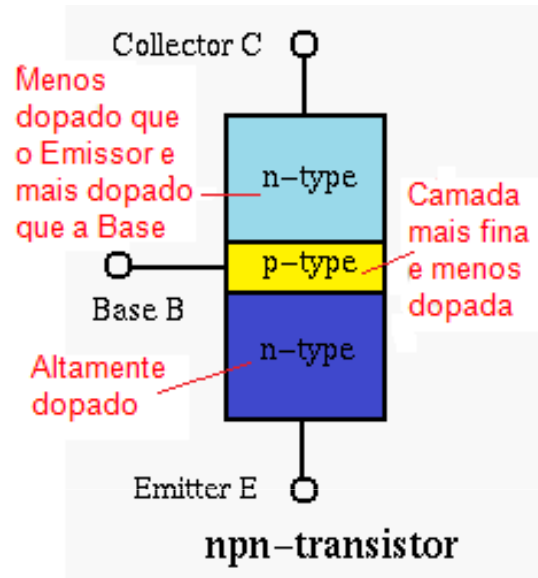


# TJB atual

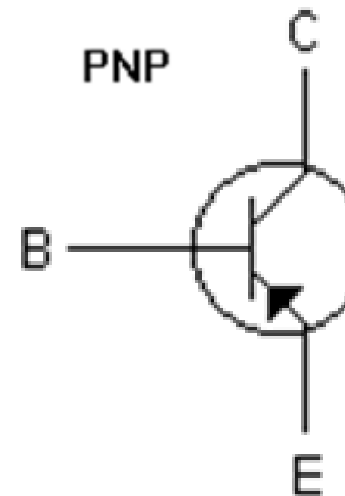
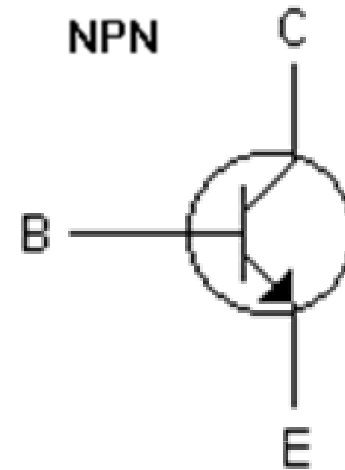


Simplified cross section of a planar NPN bipolar junction transistor

# Constituição



# Simbologia



# Funcionamento

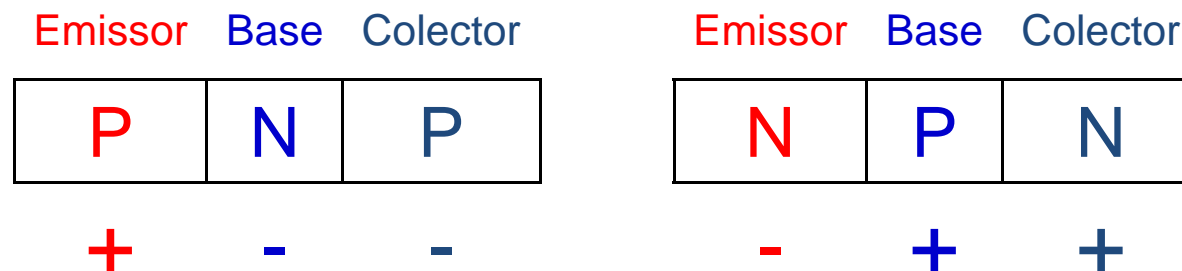
Para o transístor estar correctamente polarizado a junção PN base – emissor deve ser polarizada directamente e a junção base – colector deve ser polarizada inversamente.

Regra prática:

*O **Emissor** é polarizado com a mesma polaridade que o semicondutor que o constitui.*

*A **Base** é polarizada com a mesma polaridade que o semicondutor que a constitui.*

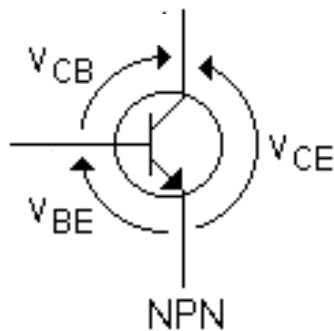
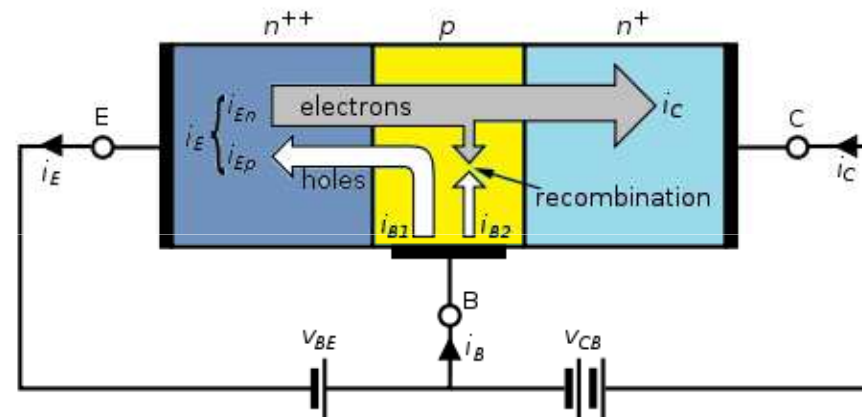
*O **Colector** é polarizado com polaridade contrária à do semicondutor que o constitui.*





# Funcionamento

Para que o transistor bipolar conduza é necessário que seja aplicada na Base uma corrente mínima ( $V_{BE} \geq 0,7$  Volt), caso contrário não haverá passagem de corrente entre o Emissor e o Colector.



$V_{CE}$  – Tensão colector - emissor

$I_C$  – Corrente de colector

$V_{BE}$  – Tensão base – emissor

$I_B$  – Corrente de base

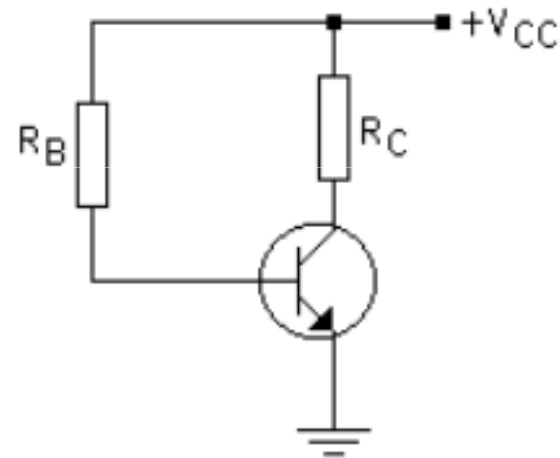
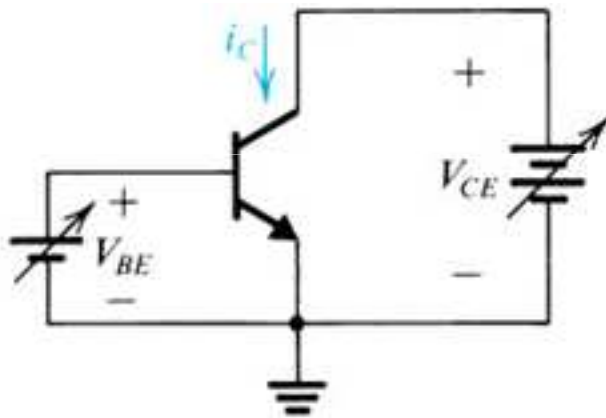
$V_{CB}$  – Tensão colector - base

$I_E$  – Corrente de emissor



# Polarização

Para o transístor bipolar poder ser utilizado com interruptor, como amplificador ou como oscilador tem que estar devidamente polarizado através de uma fonte DC.



# Principais parâmetros

Utilizando o código alfanumérico do transistor podem-se obter as suas características técnicas por consulta de um data book ou de um data sheet do fabricante.

$I_C$  É a máxima corrente de colector que o transistor pode suportar. Se este parâmetro for excedido o componente poderá queimar.

$V_{CEO}$  Tensão máxima colector – emissor com a base aberta.

$V_{CBO}$  Tensão máxima colector – base com o emissor aberto.

$V_{EBO}$  Tensão máxima emissor – base com o colector aberto.

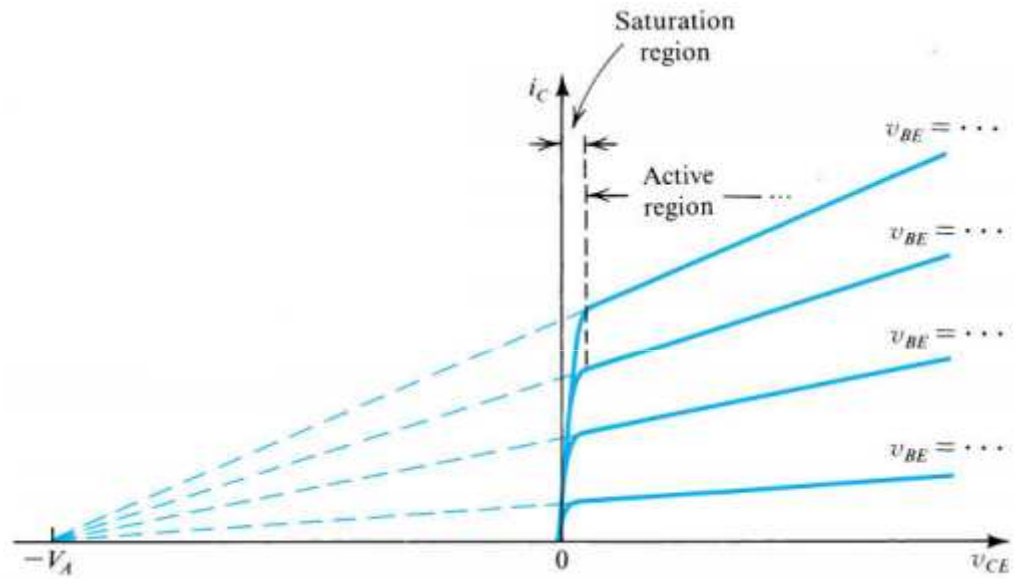
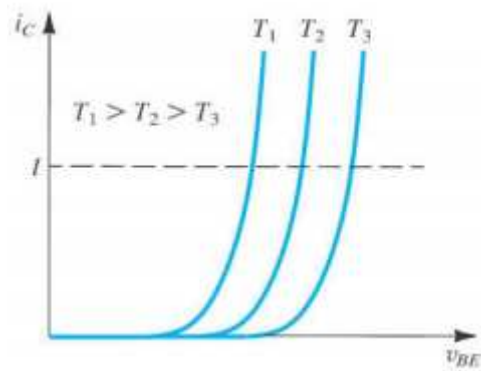
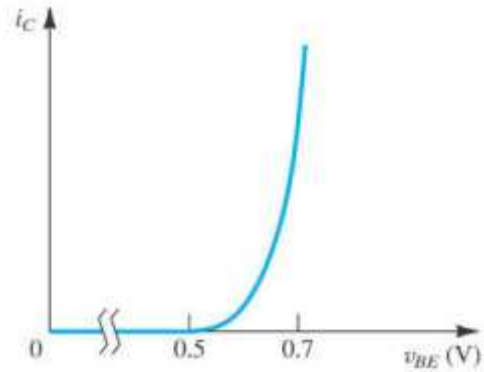
$h_{FE}$  ou  $\beta$  Ganho ou factor de amplificação do transistor.

$$h_{FE} = I_C : I_B$$

$P_d$  Potência máxima de dissipação.

$f_T$  Frequência de transição (frequência para a qual o ganho do transistor é 1 ou seja, o transistor não amplifica mais a corrente).

# Curva característica



# Encapsulamento

TO-105/ TO-106



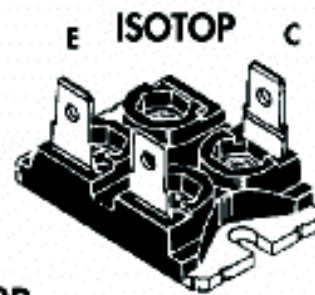
TO-18/TO-5



TO-71



TO-50



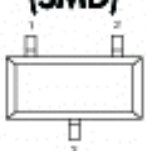
TO-126



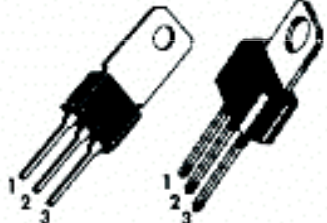
TO-220



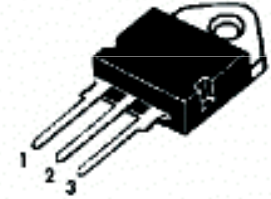
SOT-23 (SMD)



TO-202



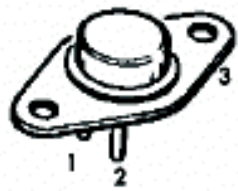
TO-3P



TO-3



TO-66



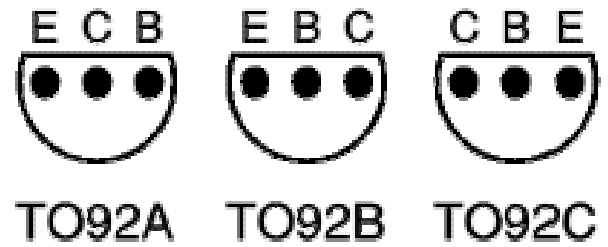
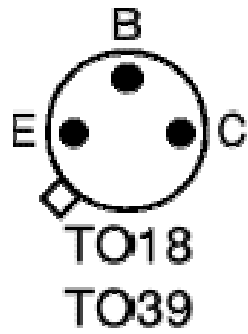
TO-92



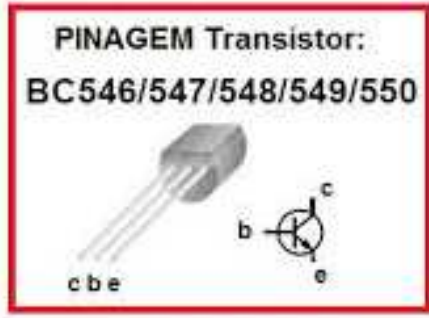
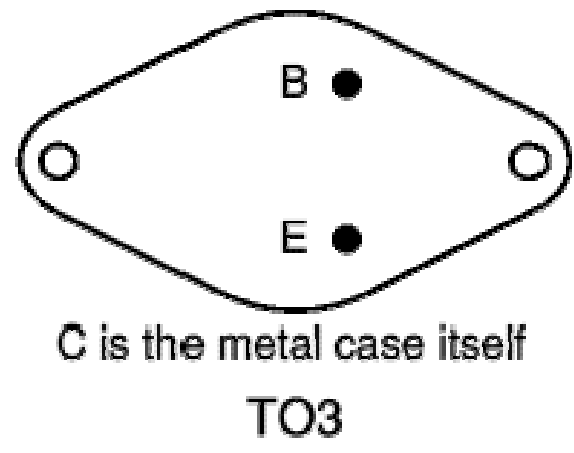
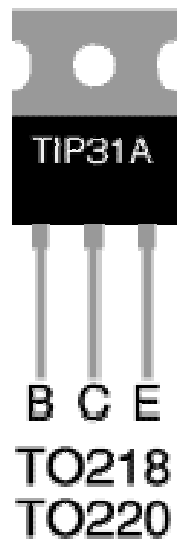
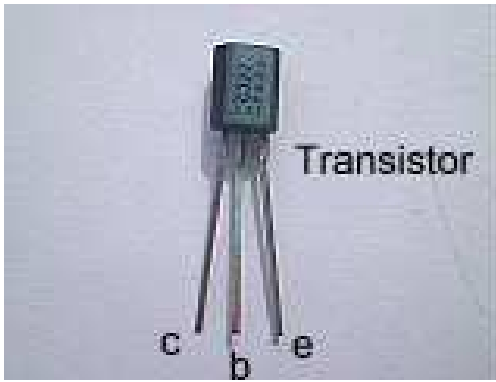
Stx-8



# Encapsulamento

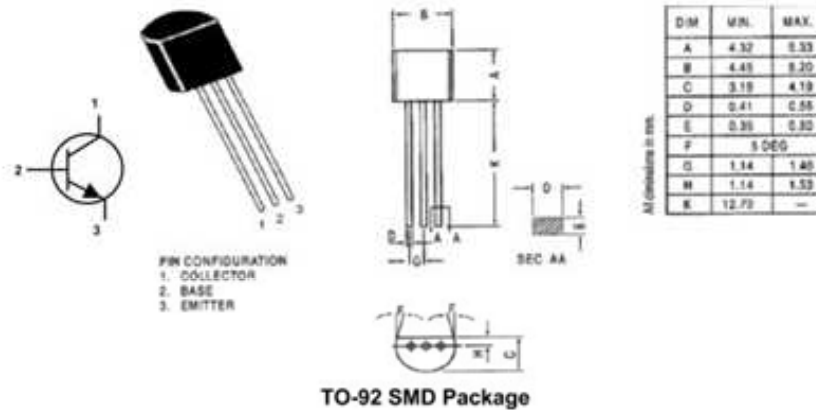


Views are from below with the leads towards you.



# Datasheet

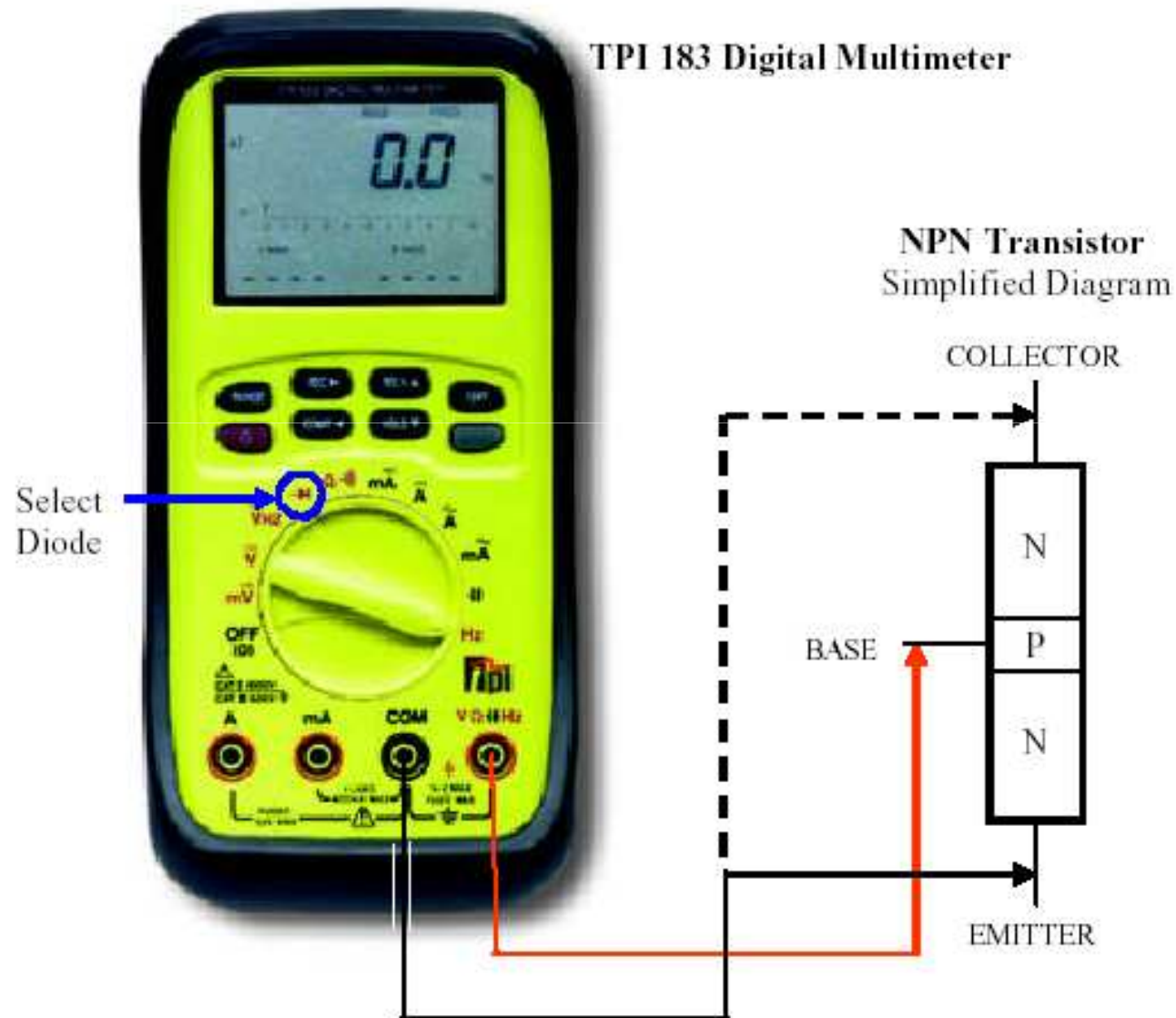
## NPN Silicon Planar Epitaxial Transistors



### Absolute Maximum Ratings (Ta = 25 °C unless specified otherwise)

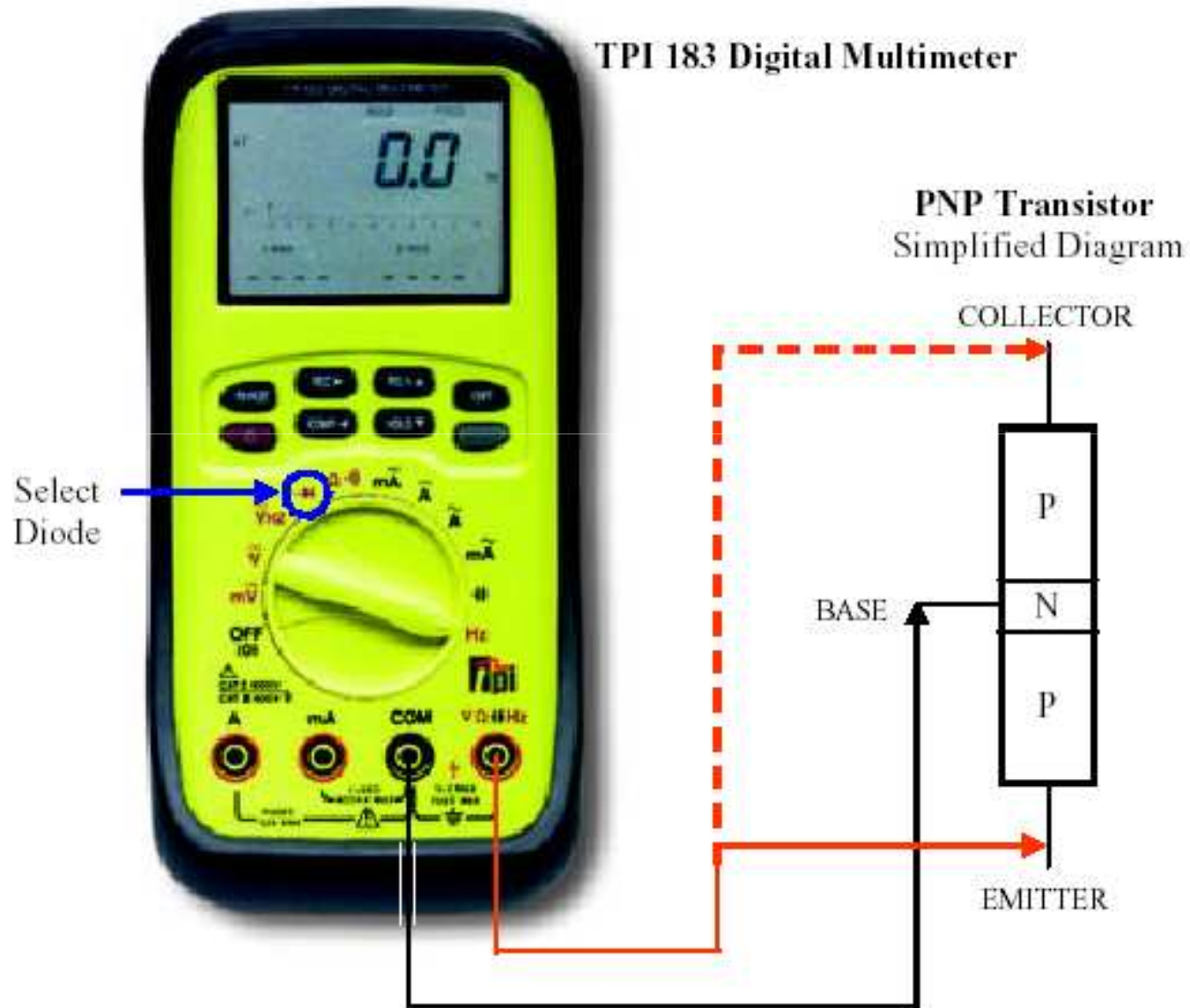
DESCRIPTION	SYMBOL	BC546	BC547	BC548	UNITS
Collector Base Voltage	$V_{CBO}$	80	50	30	V
Collector Emmitter Voltage ( $V_{BE} = 0V$ )	$V_{CES}$	80	50	30	V
Collector Emmitter Voltage	$V_{CEO}$	65	45	30	V
Emitter Base Voltage	$V_{EBO}$	6	6	5	V
Collector Current (DC)	$I_C$		100		mA
Collector Current - Peak	$I_{CM}$		200		mA
Emitter Current - Peak	$I_{EM}$		200		mA
Base Current - Peak	$I_{BM}$		200		mA
Total power dissipation up to $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	$P_{tot}$		500		mW
Storage Temperature	$T_{stg}$		-55 to +150		$^\circ\text{C}$
Junction Temperature	$T_J$		150		$^\circ\text{C}$
<i>Thermal Resistance</i>					
From junction to ambient	$R_{\theta(j-a)}$		250		$^\circ\text{C/W}$

# Teste de TJB do tipo NPN



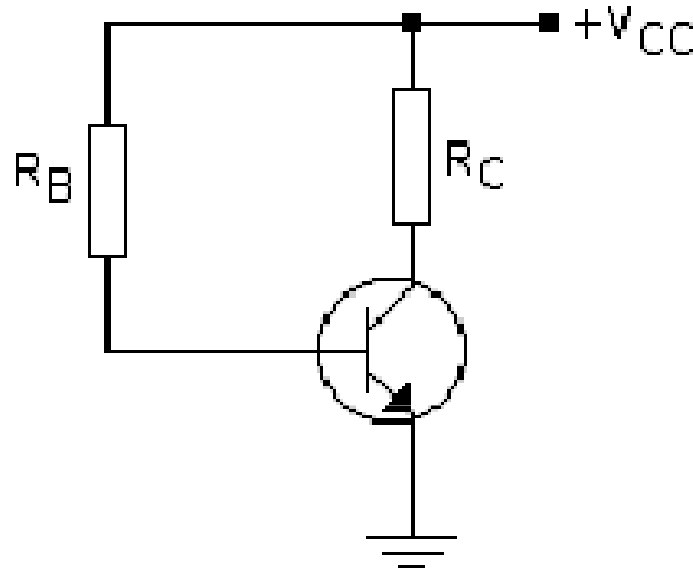


# Teste de TJB do tipo PNP



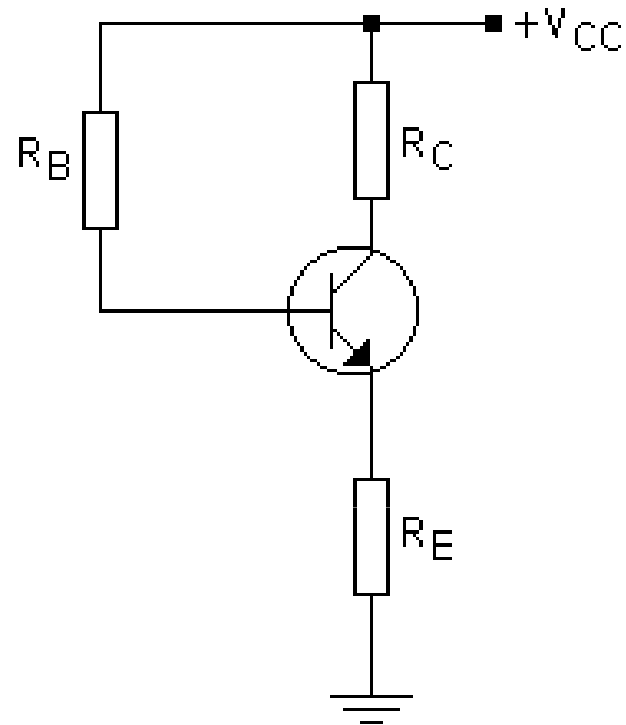
# CIRCUITOS DE POLARIZAÇÃO

## 1-Polarização por corrente de Base Constante



- Também denominado de polarização fixa, é um circuito muito utilizado quando deseja-se que o transistor opere como chaveamento eletrônico, com dois pontos bem definidos: corte e saturação.
- não é utilizado em circuitos lineares, pois é muito instável, pois uma variação da temperatura provoca uma variação de  $\beta$ .
- Para evitar o disparo térmico, adota-se geralmente:  $V_{CE} = 0,5V_{CC}$ .

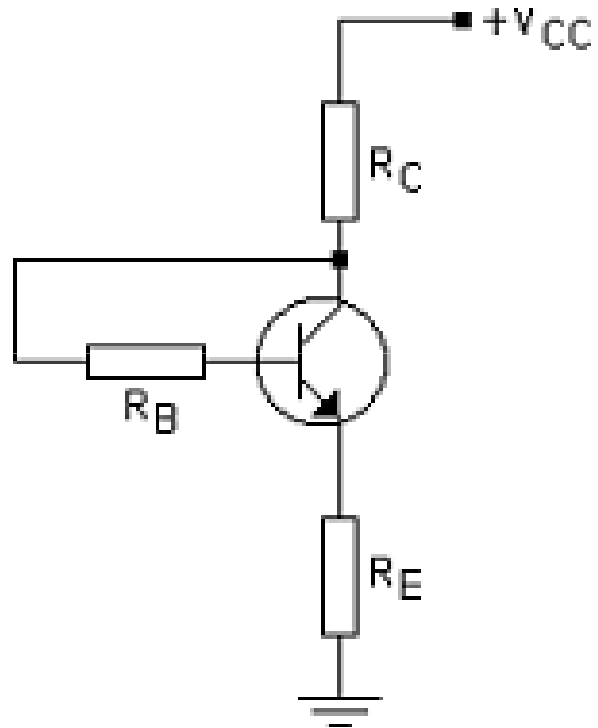
## 2- Polarização por corrente de emissor constante



- procura-se compensar as variações de  $\beta$  através do resistor de emissor.
- quando  $\beta$  aumentar, a corrente de coletor aumenta, aumentando também a tensão no emissor, fazendo com que haja uma diminuição da tensão de polarização  $V_{BE}$ , reduzindo a corrente de base. Isto resulta numa corrente de coletor menor compensando parcialmente o aumento original de  $\beta$ .

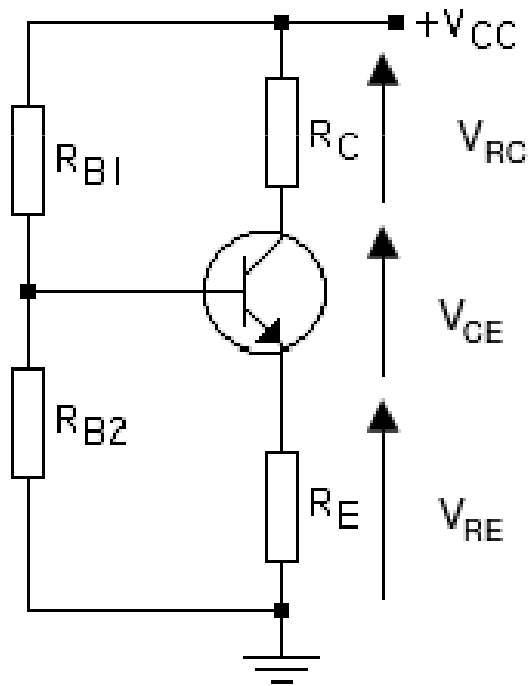
### 3 –Polarização por realimentação negativa

Este circuito reduz o ganho, mas em compensação aumenta a estabilidade.



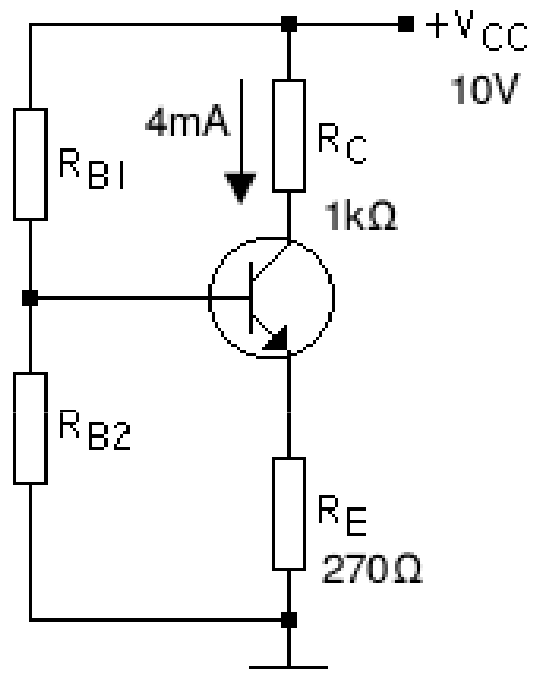
#### 4- Polarização por divisor de tensão de base

- É um dos métodos mais usados em circuitos lineares.
- A grande vantagem desse tipo de polarização é sua estabilidade térmica, praticamente independente de  $\beta$ .
- O nome divisor de tensão é proveniente do divisor de tensão formado por  $R_{B1}$  e  $R_{B2}$ , onde  $R_{B2}$  polariza diretamente a junção base-emissor.

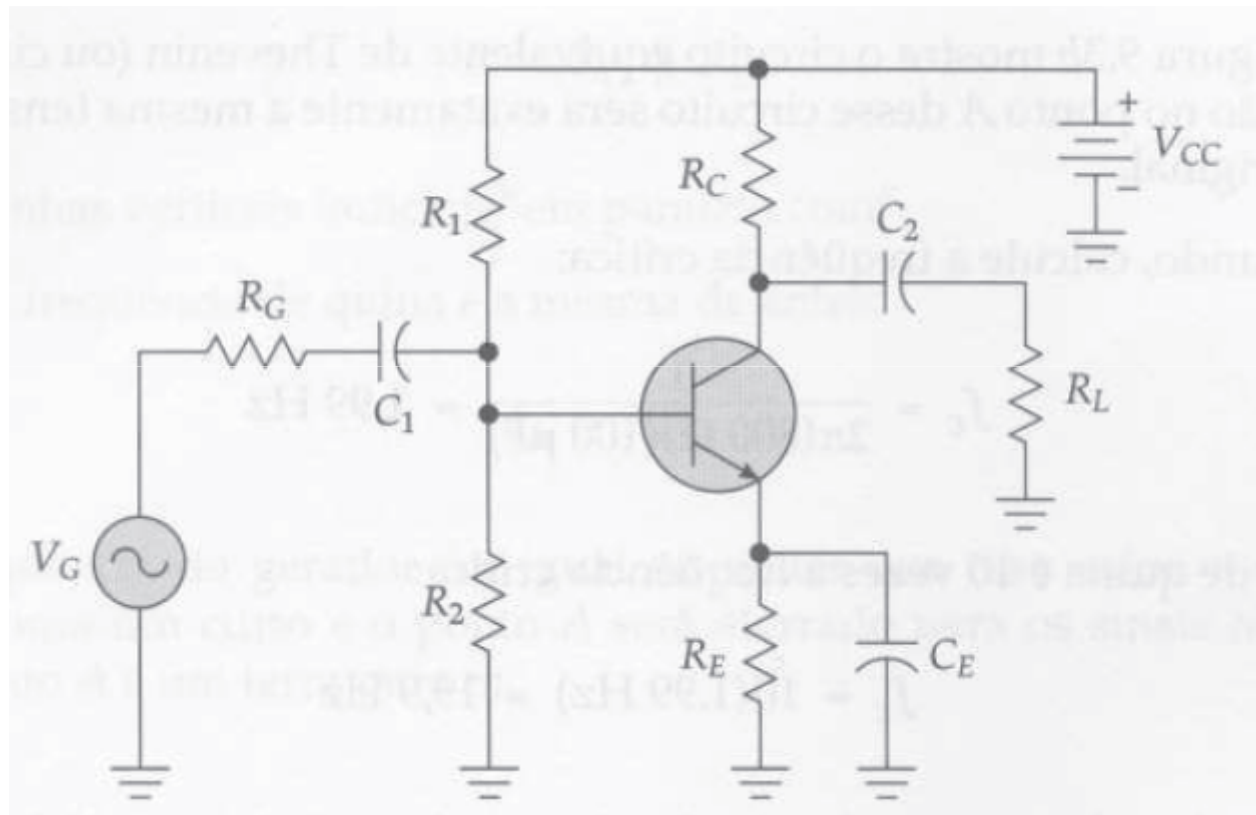


Exemplo:

- Determinar os valores das tensões  $V_{RC}$ ,  $V_{RE}$  e  $V_{CE}$  no circuito a seguir.



# OS MODELOS PARA CA



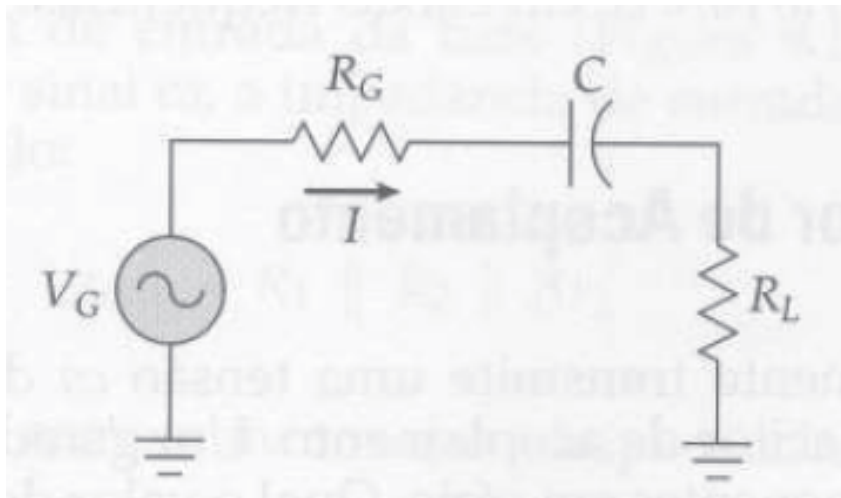


# O CAPACITOR DE ACOPLAMENTO

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Circuito Aberto em *cc* e Fechado em *ca*

## A Função do Capacitor de Acoplamento



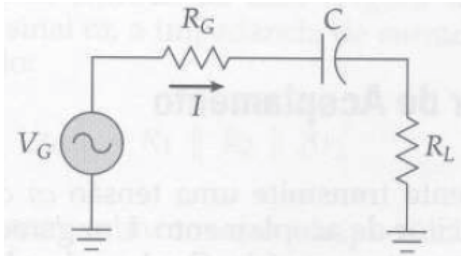
$$I_{\text{máx}} = \frac{V_G}{R}$$

Faça a reatância pelo menos 10 vezes menor que a resistência total em série com o capacitor.

$$X_C < 0,1R$$

$$\text{onde } R = R_G + R_L$$

## A Frequência Crítica



$$X_C = R$$

$$\frac{1}{2\pi f C} = R$$

$$I = 0,707 I_{\text{máx}}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

## A Frequência Crítica e a Alta Frequência de Quina

Sabemos que um capacitor de acoplamento age como um curto em altas frequências. Mas o que seria uma frequência "alta"? Alta significa 10 vezes maior que a frequência crítica.

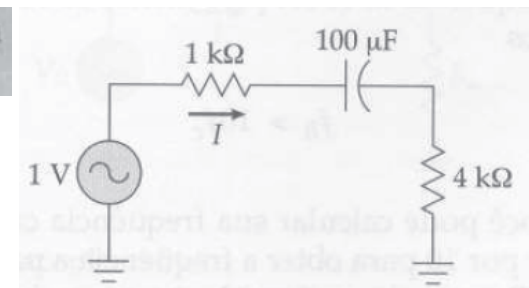
$$f_h > 10f_c$$

A Figura 9.2 mostra um capacitor acoplando um sinal de um gerador para uma carga. Qual é a corrente máxima nesse circuito? Qual é a frequência de quina?

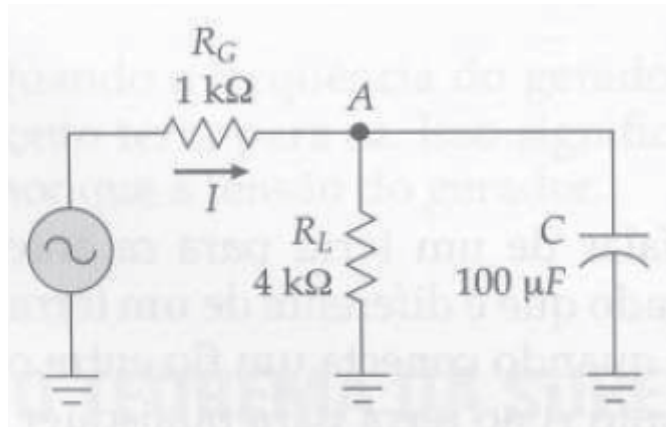
$$I_{\text{máx}} = \frac{1 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 200 \text{ mA}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(5 \text{ k}\Omega)(100 \mu\text{F})} = 0,318 \text{ Hz}$$

$$f_h = 3,18 \text{ Hz}$$



## O CAPACITOR DE DESVIO (*BYPASS*)

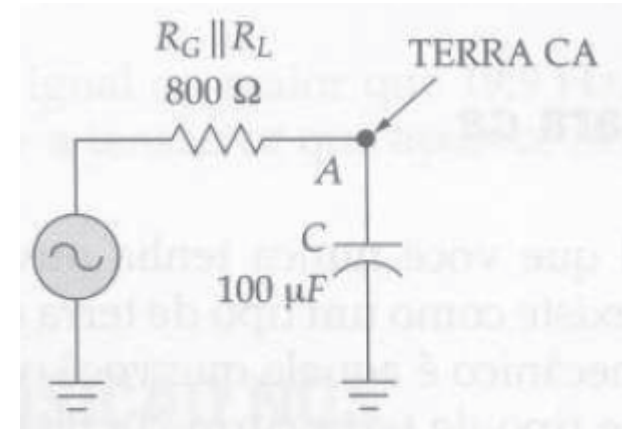


## A Alta Frequência de Quina

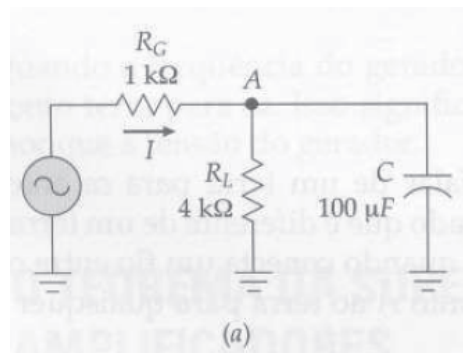
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$R = \frac{R_G R_L}{R_G + R_L}$$

$$f_h = 10f_c$$



Calcule a frequência de quina

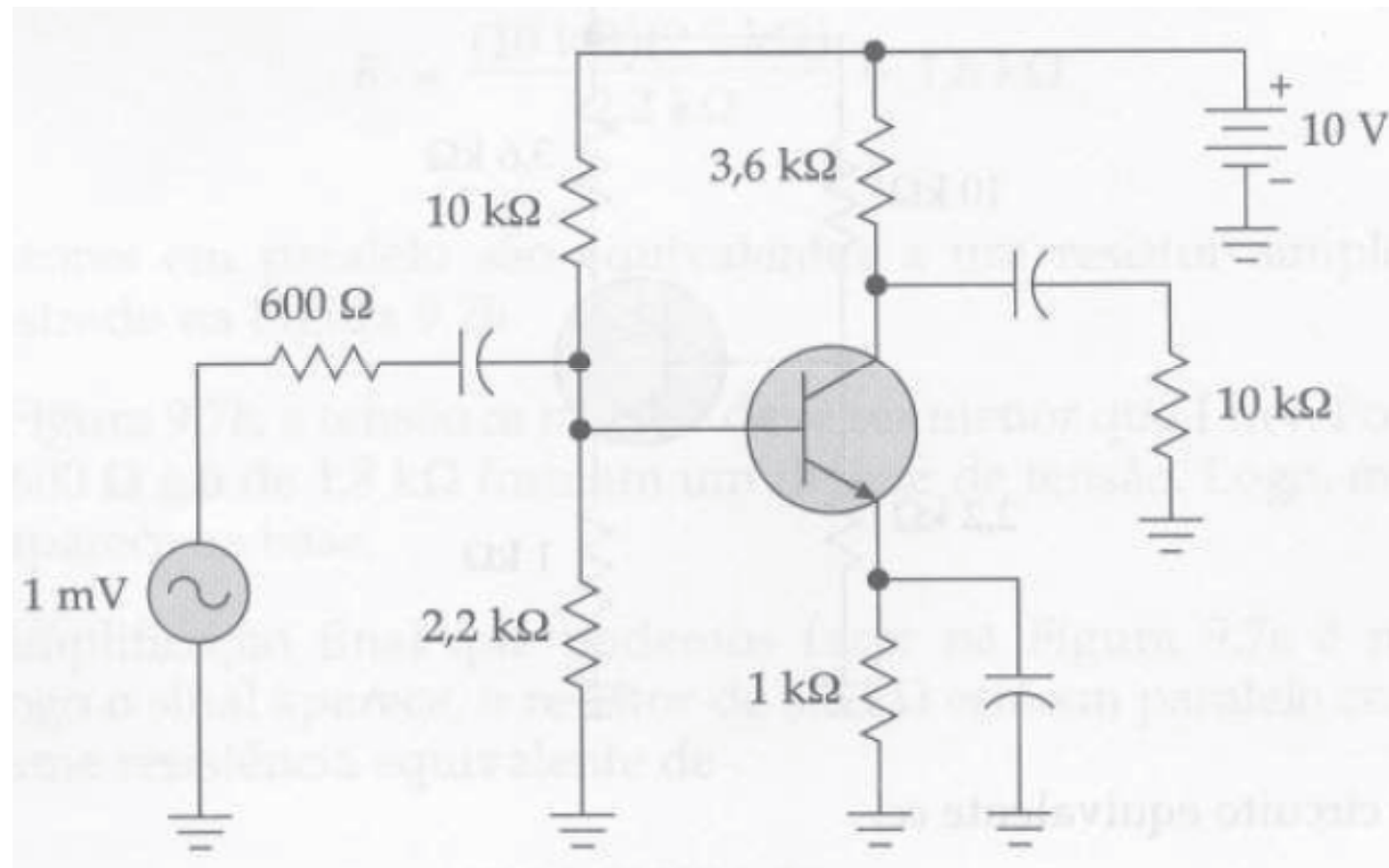


$$R = \frac{(1 \text{ k}\Omega)(4 \text{ k}\Omega)}{1 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega} = 800 \Omega$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(800 \Omega)(100 \mu\text{F})} = 1,99 \text{ Hz}$$

$$f_c = 10(1,99 \text{ Hz}) = 19,9 \text{ Hz}$$

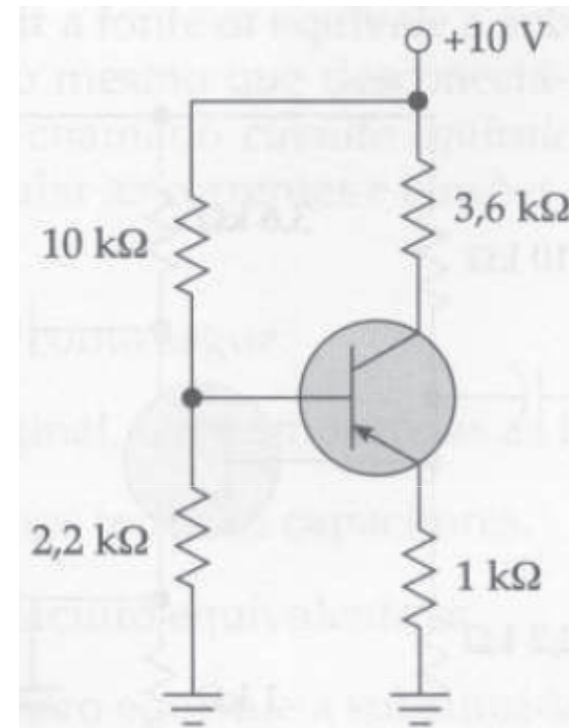
# O TEOREMA DA SUPERPOSIÇÃO NOS AMPLIFICADORES



## A Análise *cc*

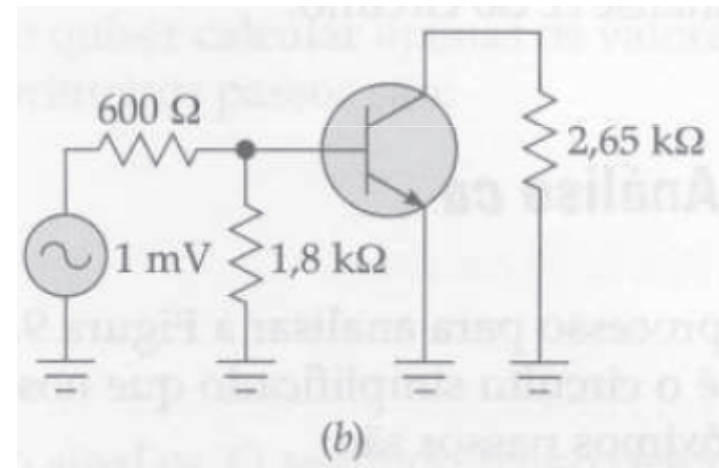
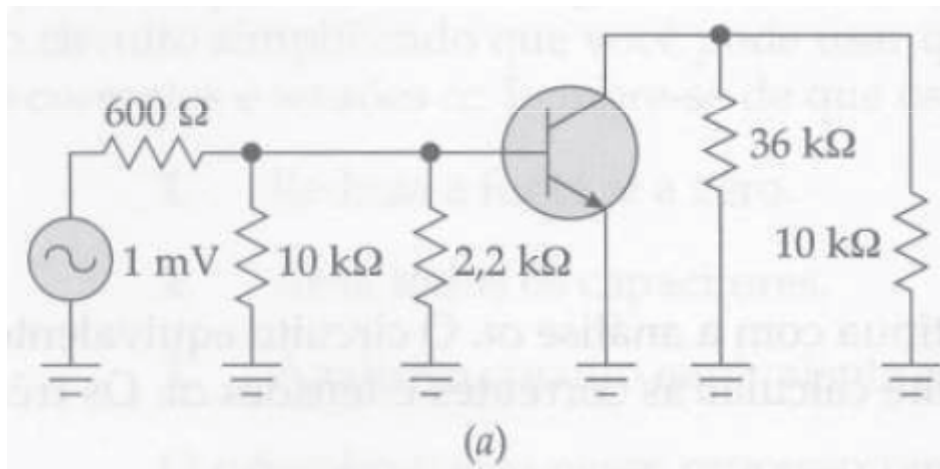
1. Reduza a fonte *ca* a zero.
2. Abra todos os capacitores.
3. Analise o circuito equivalente *cc*.

$$\begin{aligned}V_B &= 1,8 \text{ V} \\V_E &= 1,1 \text{ V} \\I_E &= 1,1 \text{ mA} \\V_C &= 6,04 \text{ V} \\V_{CE} &= 4,94 \text{ V}\end{aligned}$$



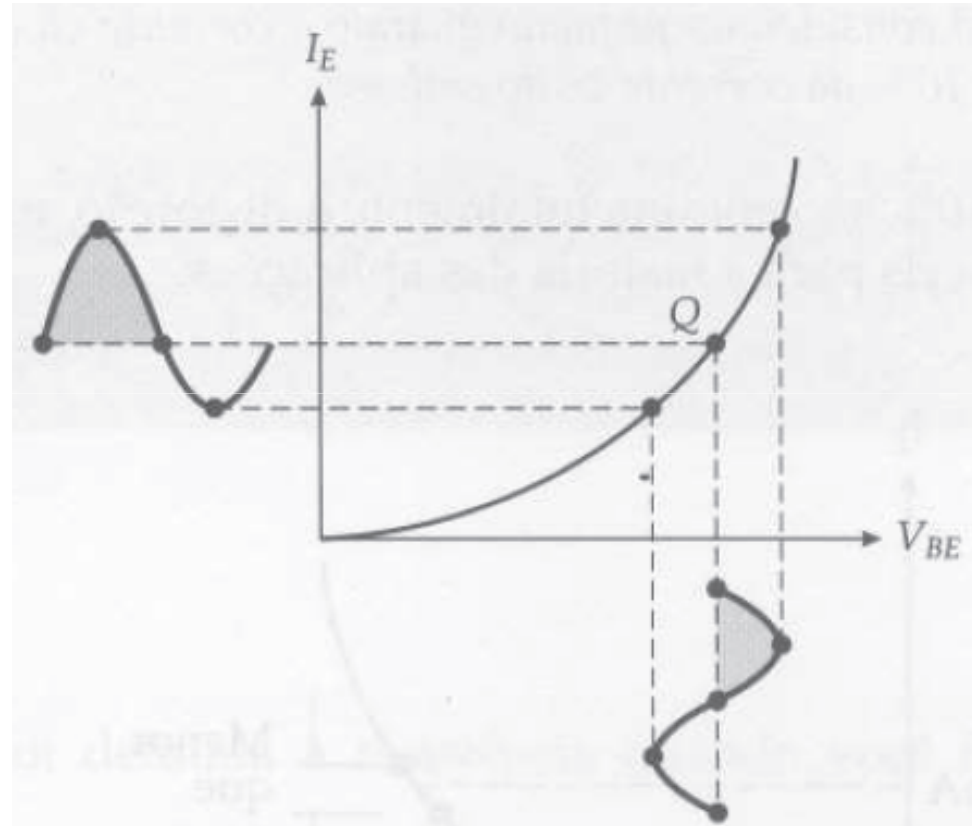
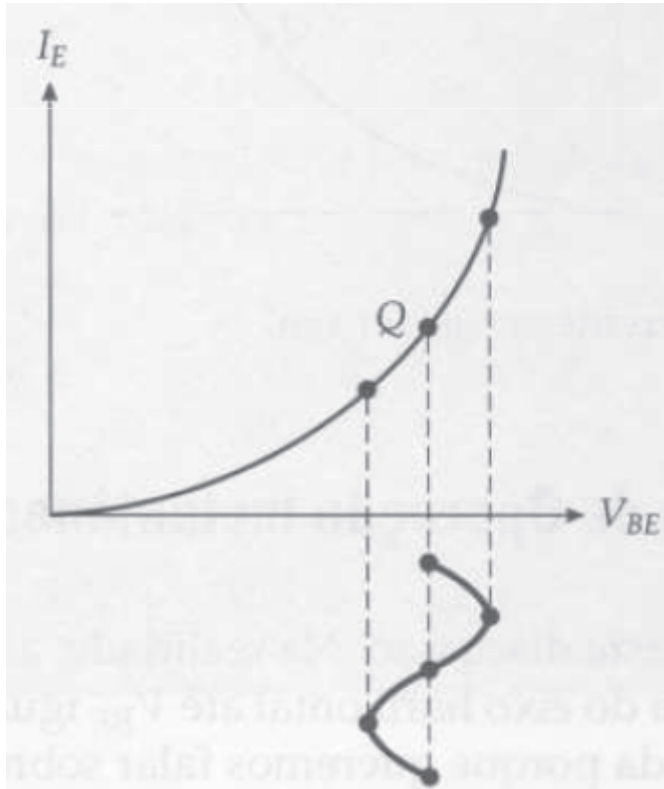
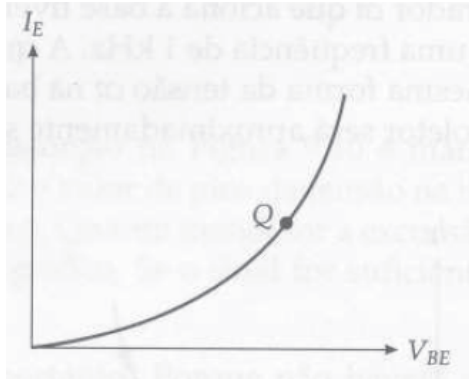
## A Análise *ca*

4. No circuito original, reduzimos todas as fontes *cc* a zero.
5. Curto-circuitamos todos os capacitores.
6. Analisamos o circuito equivalente *ca*.





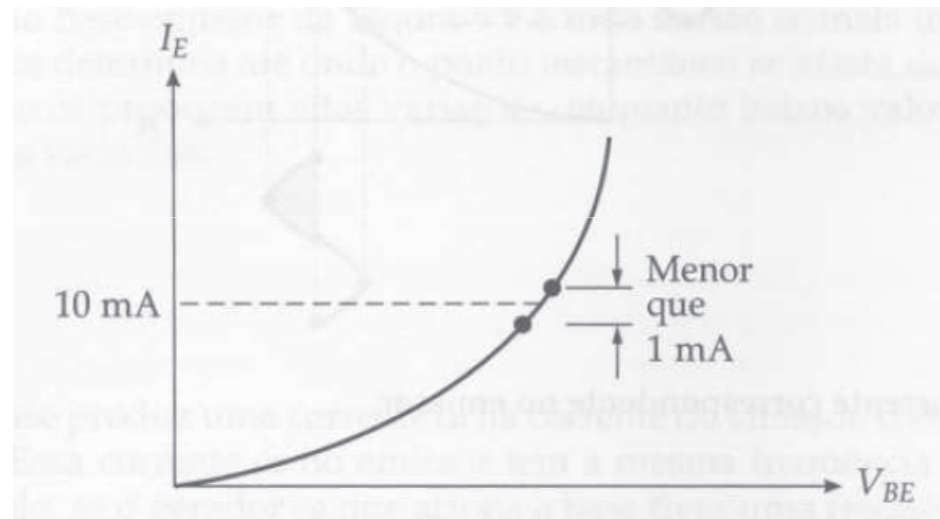
# A OPERAÇÃO EM PEQUENO SINAL



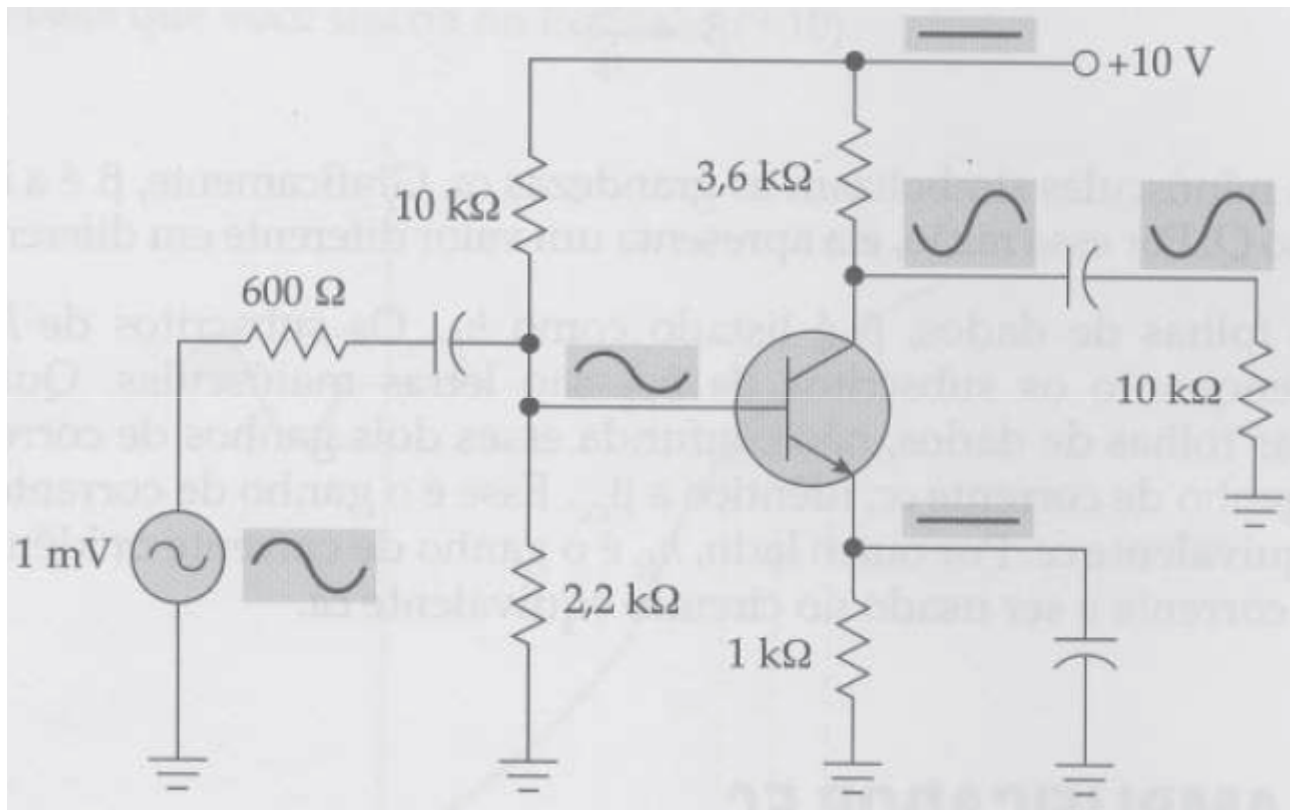


## Redução da Distorção

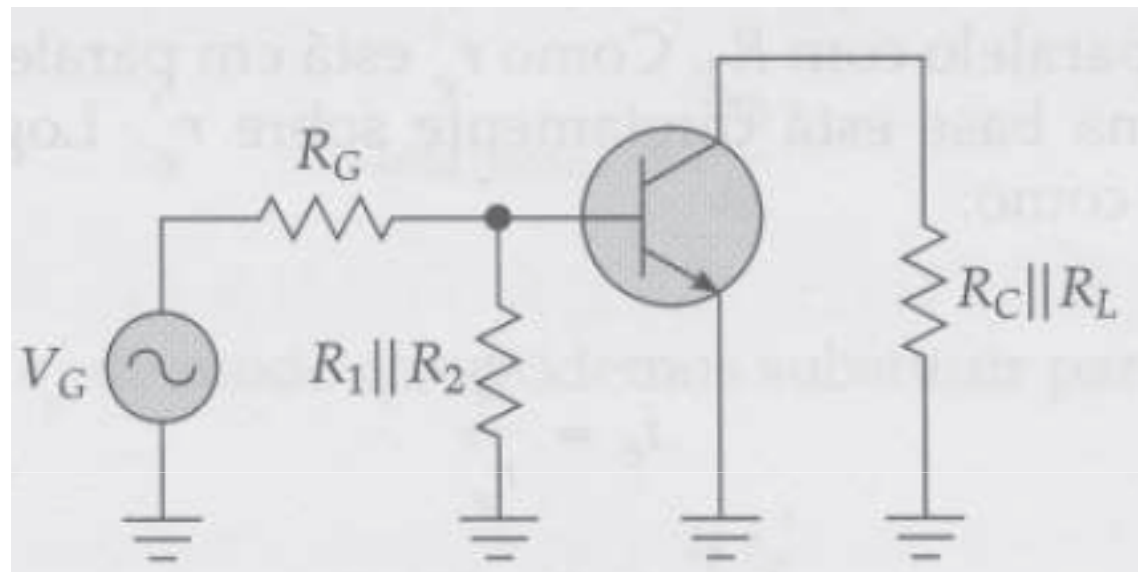
*O sinal ca será considerado pequeno quando a corrente ca de pico a pico no emissor for menor que 10% da corrente cc do emissor.*



# O AMPLIFICADOR EC



## A Impedância de Entrada da Base

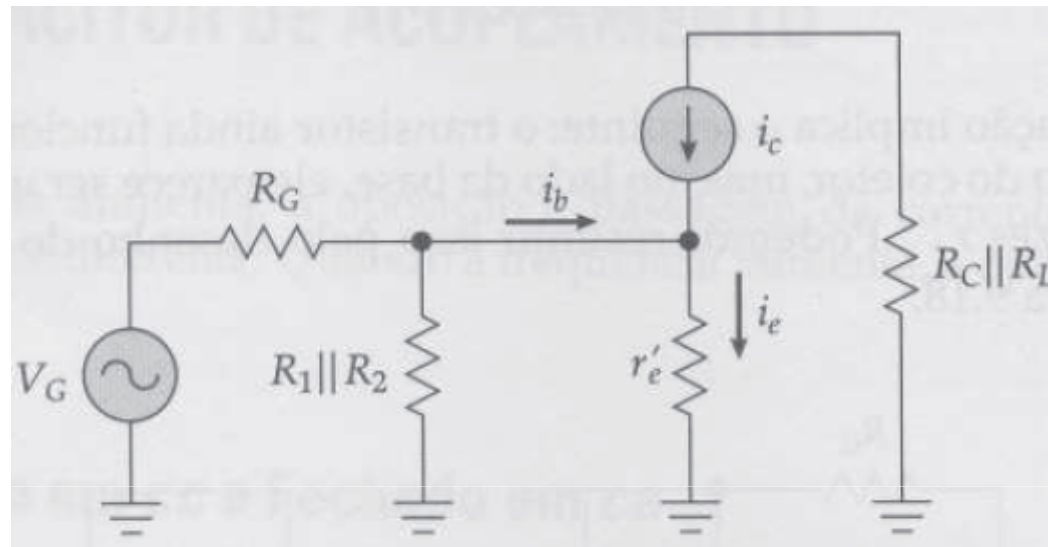


$$R_{ca} = \frac{v_b}{i_b}$$

$$z_{\text{ent(base)}} = \frac{v_b}{i_b}$$

$$R_{ca} = \frac{1 \text{ mV}}{0,4 \text{ } \mu\text{A}} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

## O Modelo T



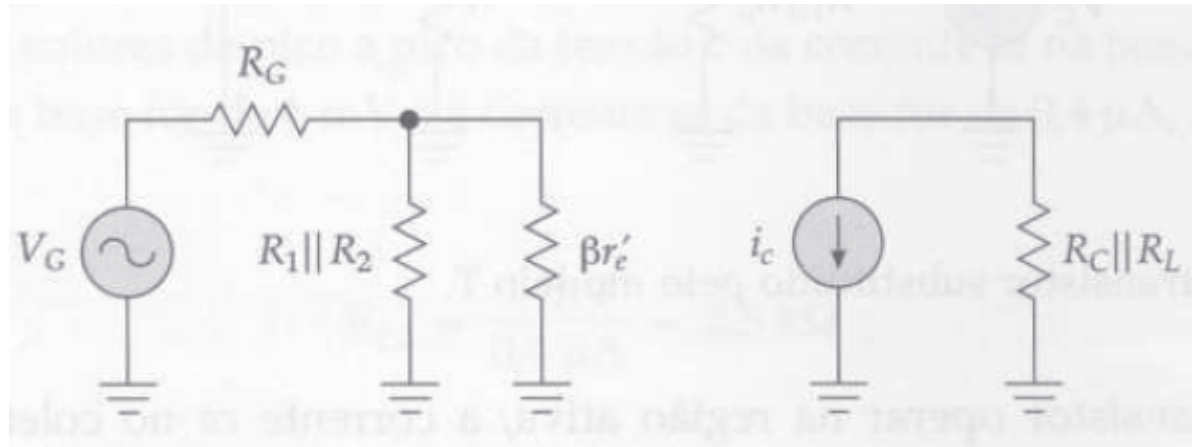
corrente *ca* do emissor

$$i_e = \frac{v_b}{r'_e}$$

tensão *ca* no coletor

$$v_c = i_c r_c$$

## 0 Modelo II

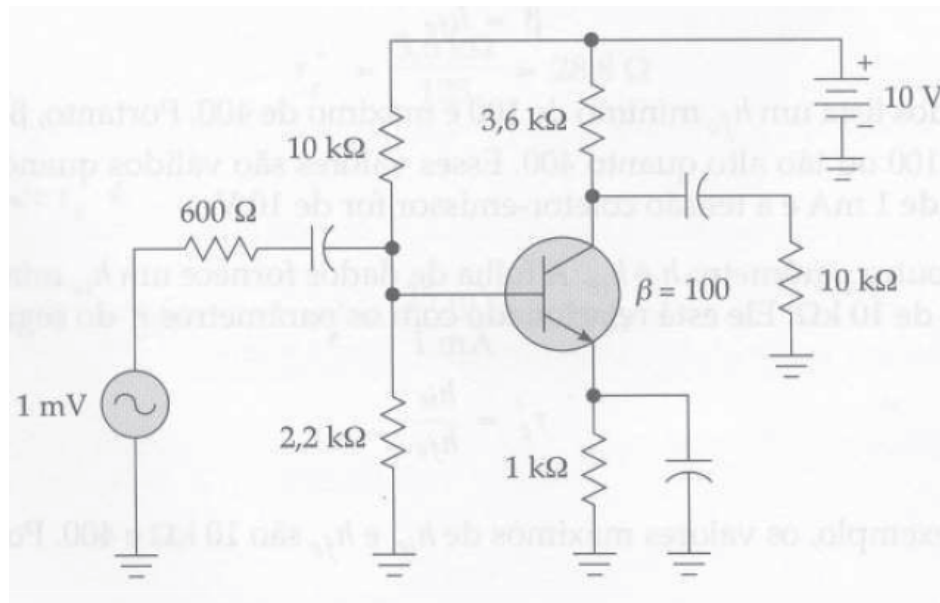


$$Z_{ent}(\text{base}) = \frac{v_b}{i_b}$$

$$Z_{ent}(\text{base}) = \frac{i_e r'_e}{i_b}$$

$$Z_{ent}(\text{base}) = \beta r'_e$$

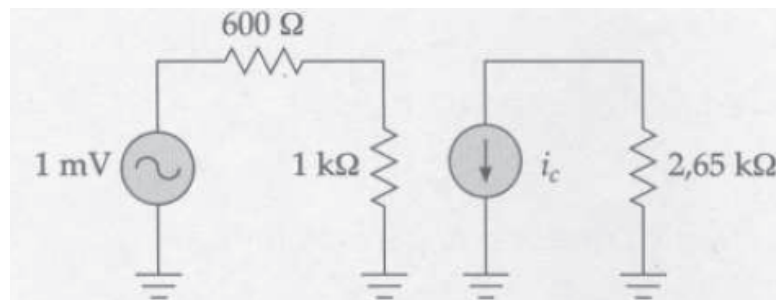
Qual é a resistência *ca* equivalente na Figura 9.19?



$$\begin{aligned}
 V_B &= 1,8 \text{ V} \\
 V_E &= 1,1 \text{ V} \\
 I_E &= 1,1 \text{ mA} \\
 V_C &= 6,04 \text{ V} \\
 V_{CE} &= 4,94 \text{ V} \\
 r_c &= 2,65 \text{ k}\Omega \\
 r'_e &= 22,7 \Omega
 \end{aligned}$$

$$z_{\text{ent(base)}} = 100(22,7 \Omega) = 2,27 \text{ k}\Omega$$

$$z_{\text{in}} = 10 \text{ k}\Omega \parallel 2,2 \text{ k}\Omega \parallel 2,27 \text{ k}\Omega = 1 \text{ k}\Omega$$



# OS PARÂMETROS CA DA FOLHA DE DADOS

“Small-Signal Characteristics”

$h_{fe}$

$$\beta = h_{fe}$$

$h_{fe}$  mínimo de 100 e máximo de 400

$h_{ie}$

mínimo de 1 k $\Omega$

máximo de 10 k $\Omega$ .

$$r_e' = \frac{h_{ie}}{h_{fe}}$$

Por exemplo, os valores máximos de  $h_{ie}$  e  $h_{fe}$  são 10 k $\Omega$  e 400.

$$r_e' = \frac{10 \text{ k}\Omega}{400} = 25 \Omega$$