



Eletrônica Analógica

Transistor

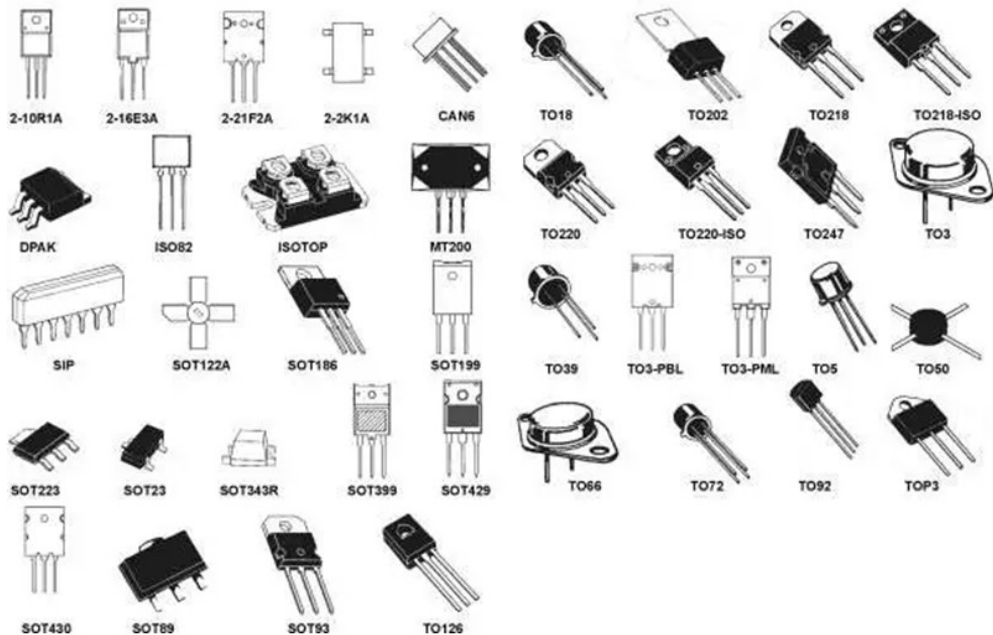
© Prof. Eng^o esp Luiz Antonio Vargas Pinto
www.vargasp.com
Ver. 10/2025

Uma história

- Trabalhando no Bell's lab - New Jersey, três engenheiros:
John **Bardeen**
William **Shockley**
Walter Houser **Brattain**
- Pesquisando o comportamento de cristais de germânio e de silício como semicondutores na tentativa de criar um substituto menor e mais econômico para as válvulas a vácuo (Vacuum Tube) quando chegaram a uma invenção revolucionária – isto em 1947

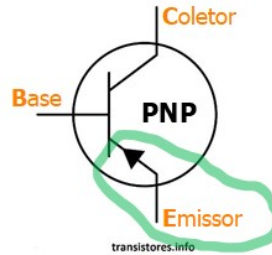
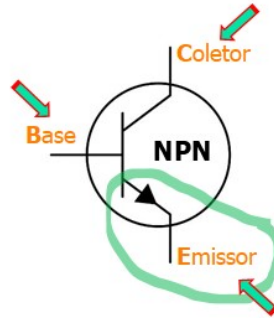
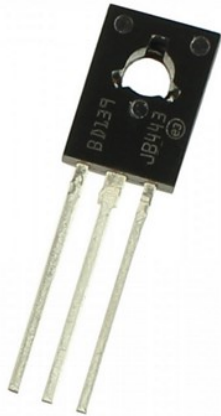


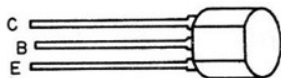
Encapsulamentos



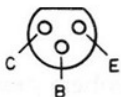
Encapsulamentos físicos



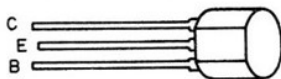




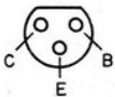
BC307, BC237, BC238,
BC547, BC557, ETC.



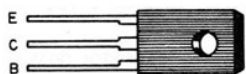
DISPOSIÇÃO MAIS COMUM
PARA OS "BCs"



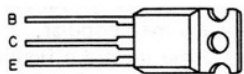
BF494, BF495, BF254, ETC.



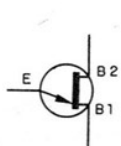
DISPOSIÇÃO MAIS COMUM
PARA OS "BFs"



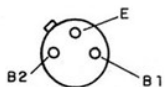
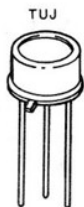
BD135 BD138
BD136 BD139
BD137 BD140



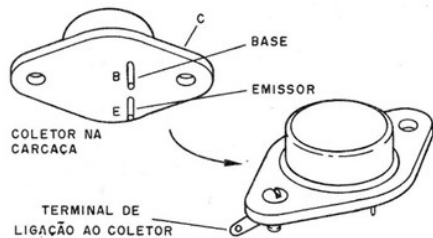
TIP31 TIP41
TIP32 TIP42



SÍMBOLO

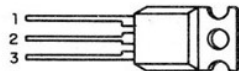


VISTO POR BAIXO



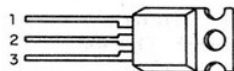
Pinagem

78XX
(7805, 7806, 7812, ETC.)

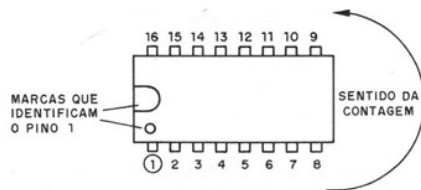


1 = ENTRADA
2 = TERRA
3 = SAÍDA

79XX
(7905, 7906, 7912, ETC.)



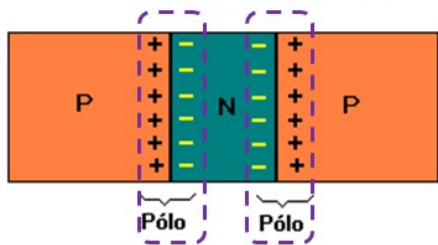
2 = ENTRADA
1 = TERRA
3 = SAÍDA



⤴ A palavra Transistor vem do inglês TRANSfer resISTOR, isto é, resistor de transferência.

⊗ Adequado para um dispositivo que regula uma corrente maior usando uma pequena fração desta para o controle.

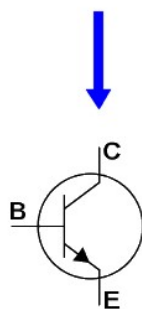
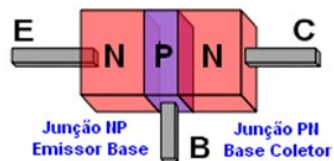
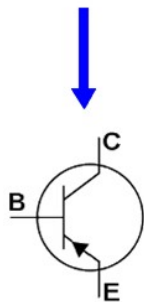
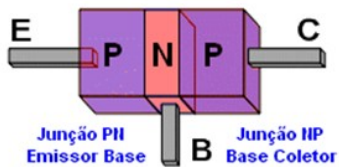
⤴ Juntando-se 3 partes de silício ou germânio dopados tipo PNP ou NPN criamos duas junções polarizadas:



⤴ Por apresentar dois pólos, o modelo de transistor também é denominado **BIPOLAR**. Em inglês **BJT** – **B**ipolar **J**unction **T**ransistor

⤴ Transistores de **junção** são controlados por **corrente elétrica**

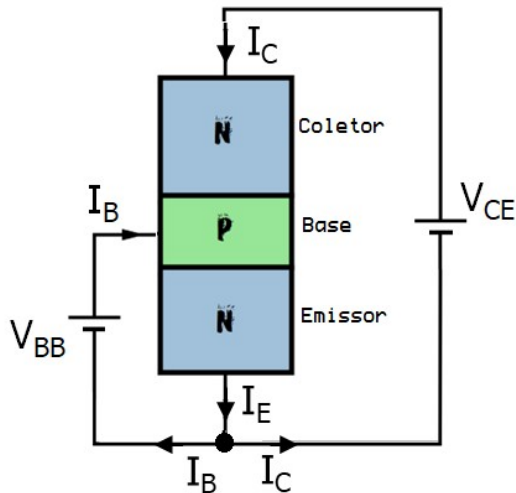
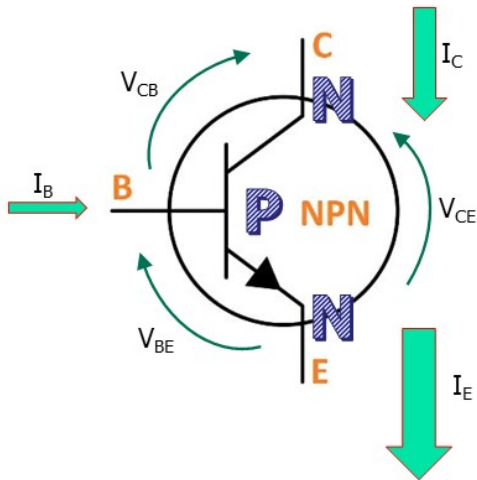
Simbologia



<https://www.electronica-pt.com/componentes-eletronicos/transistor-tipos>

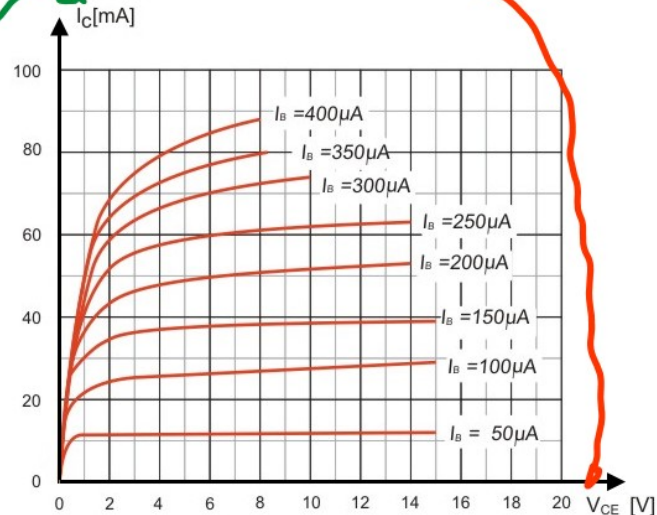
Tensões e correntes

- Existem dois tipos de transistor bipolar: PNP e NPN.
- Vamos estudar o **NPN** pela sua popularidade e também pelo fato deste funcionar com corrente e tensão **POSITIVA**



Curva característica

- ⤴ Aqui a variável controladora é o V_{CE} e a variável controlada é o I_C
- ⤴ Não são múltiplas curvas, mas apenas UMA e esta depende do valor de I_B utilizado.
- ⤴ Em outras palavras, quando definimos uma corrente de Base automaticamente fixamos a curva de resposta do Transistor.
- ⤴ Lembre-se que os BJTs usam a corrente de base (Base) para controlar a corrente principal (Coletor)



A relação I_B e I_C ou ainda β e h_{FE}

- 1 O principal objetivo é o controle de I_C utilizando I_B para isto.
- 1 A relação entre I_C e I_B dada por:

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

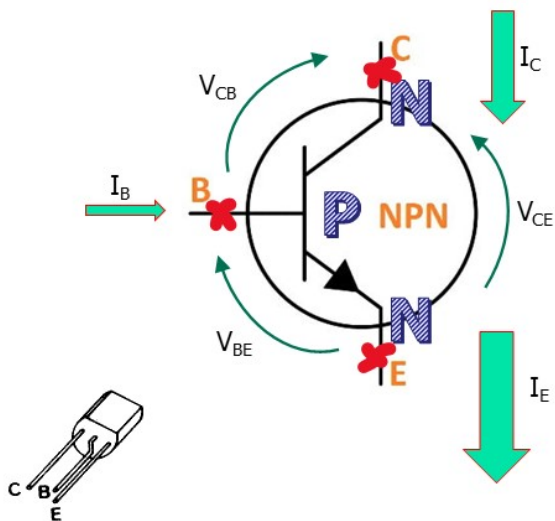
- 1 É chamada de **Ganho** do transistor.

Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	$V_{CB} = 30\text{ V}, I_E = 0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$ $I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		90 250	200 600	mV
$V_{BE(sat)}$	Collector-Base Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$ $I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		700 900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$ $V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$	580	660	700 720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}, f = 100\text{ MHz}$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 1\text{ MHz}$		3.5	6.0	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0, f = 1\text{ MHz}$		9		pF
NF	Noise Figure	BC546 / BC547 / BC548	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A}, f = 1\text{ kHz}, R_G = 2\text{ k}\Omega$	2	10	dB
		BC549 / BC550		1.2	4.0	
		BC549		1.4	4.0	
		BC550		1.4	3.0	

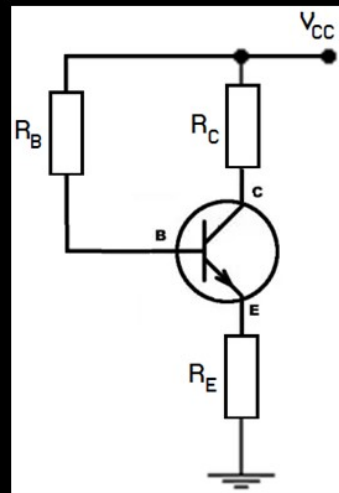
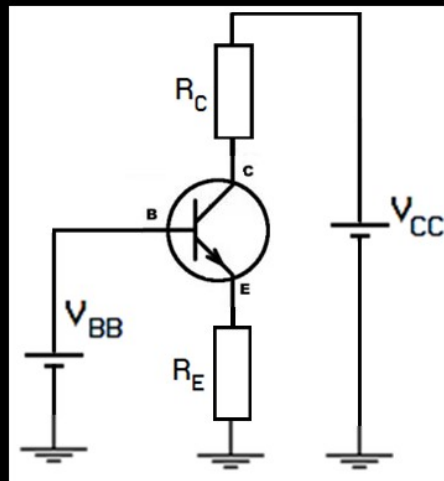
Primeira análise



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

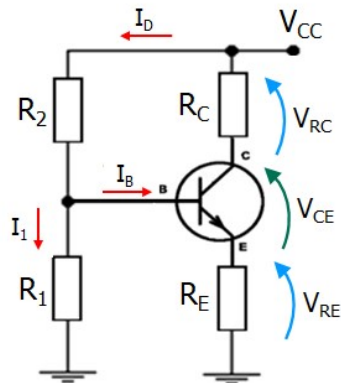
$$I_E = I_C + I_B$$

Polarização



Polarização por divisão de tensão na base

- ↑ Polarizar significa colocar o Transistor em uma condição ideal de funcionamento tornando-se indispensável
- ↑ Aproveita a tensão de V_{CC} para gerar I_B
- ↑ Isto sela uma definição interessante: o circuito composto por 4 resistores é praticamente indispensável ao bom funcionamento do transistor e sinaliza que o transistor "solitário" não funciona na maioria das aplicações.



Método $I_C \leq 10 \text{ mA}$

- ⤴ Existem muitos métodos de polarização de transistores, Assim, vamos analisar este em particular que é muito simples e funcional.
- ⤴ Cabe aqui algumas considerações:

⊗ $I_C \leq 10 \text{ mA}$

⊗ $\beta \geq 100$

⊗ $I_B = 0$ (irreal mas a aproximação é válida porque $\beta \geq 100$ e $\beta = \frac{I_C}{I_B}$)

⊗ $I_D = 0.1 \times I_C$

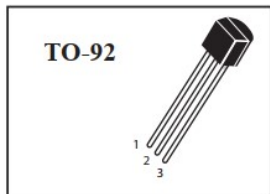
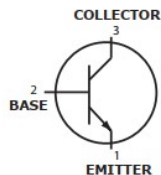
⊗ $I_C = I_E$

⊗ $V_{CE} = 0.5 \times V_{CC}$

⊗ $V_{RE} = 0.1 \times V_{CC}$

Exemplo de aplicação

❶ Considere polarizar um transistor BC548B com $I_C = 8 \text{ mA}$ com $V_{CC} = 9 \text{ V}$. Daí :



Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30\text{V}, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10\text{mA}, I_B=0.5\text{mA}$ $I_C=100\text{mA}, I_B=5\text{mA}$		90 200	250 600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10\text{mA}, I_B=0.5\text{mA}$ $I_C=100\text{mA}, I_B=5\text{mA}$		700 900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}$ $V_{CE}=5\text{V}, I_C=10\text{mA}$	580	660	700 720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=10\text{mA}, f=100\text{MHz}$		300		MHz

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 - 220	200 - 450	420 - 800

❶ Como podemos observar, $200 \leq \beta \leq 450$ do qual podemos trabalhar com algum valor médio, algo em torno de 330. $V_{BE} = 0.66\text{V}$

❶ Que respeitadas as características iniciais

☒ $V_{CE} = 4.5 \text{ V}$

☒ $V_{RE} = 0.9 \text{ V}$

☒ $I_C = 8 \text{ mA}$

Então...

👉 Como podemos ver a malha externa, por Kirchhoff:

$$9 - V_{RC} - 4.5 - 0.9 = 0$$

$$9 - 4.5 - 0.9 = V_{RC}$$

$$V_{RC} = 3.6 \text{ V}$$

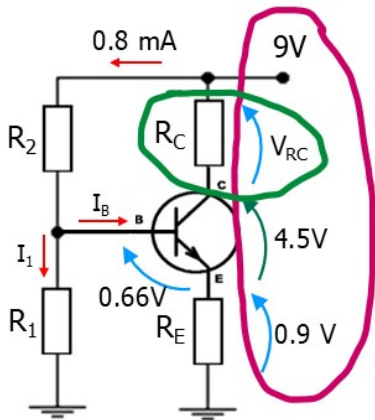
👉 Observando o circuito vemos que :

$$V_{RC} = R_C \times I_C$$

$$3.6 = R_C \times 8 \times 10^{-3}$$

$$\text{De onde } R_C = \frac{3.6}{8 \times 10^{-3}}$$

$$R_C = 450 \Omega$$



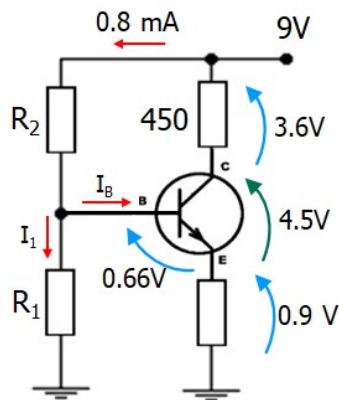
Analizando

Como $I_E = I_C$ então $V_{RE} = R_E \times I_C$ e daí:

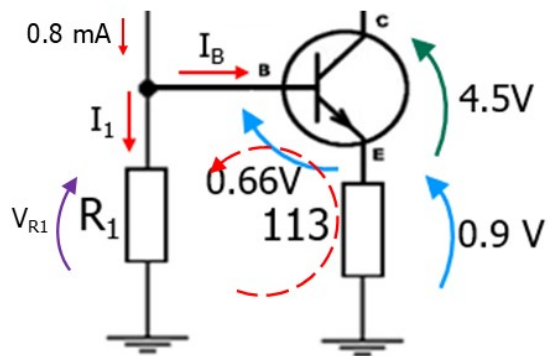
$$0.9 = R_E \times 8 \times 10^{-3}$$

$$\text{De onde } R_E = \frac{0.9}{8 \times 10^{-3}}$$

$$R_E = 113 \Omega$$



⬆ Agora preste atenção a esta malha ! (das tensões)



$$\left\{ \begin{array}{l} 0.9 + 0.66 - V_{R1} = 0 \\ \text{e se } I_B = 0 \text{ então} \\ I_1 = I_D = 0.8 \text{ mA} \end{array} \right.$$

Logo:

$$0.9 + 0.66 = V_{R1}$$

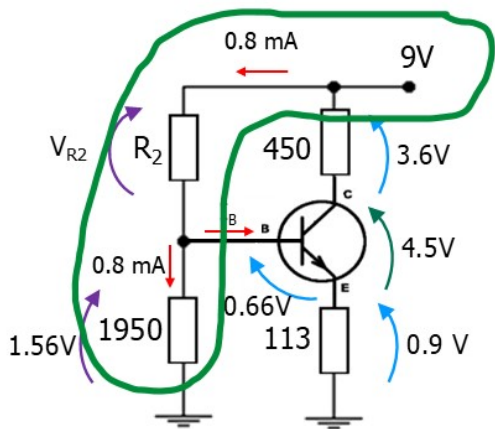
$$\text{ou } V_{R1} = 1.56 \text{ V}$$

$$R_1 \times I_1 = 1.56$$

$$R_1 = \frac{1.56}{I_1} = \frac{1.56}{0.8 \times 10^{-3}}$$

$$R_1 = 1950 \Omega$$

↑ E então observe que:



$$9 - V_{R2} - 1.56 = 0$$

$$V_{R2} = 9 - 1.56$$

$$V_{R2} = 7.44 \text{ V}$$

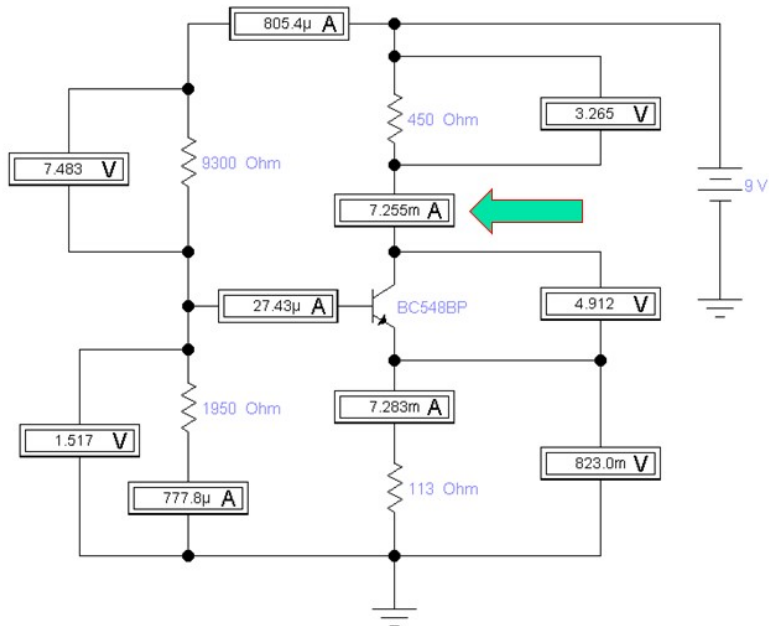
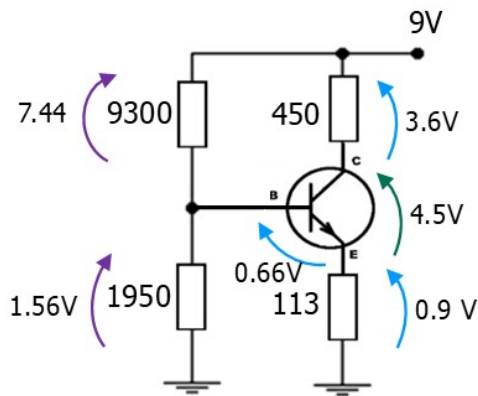
$$R_2 \times I_D = 7.44$$

$$R_2 = \frac{7.44}{I_D} = \frac{7.44}{0.8 \times 10^{-3}}$$

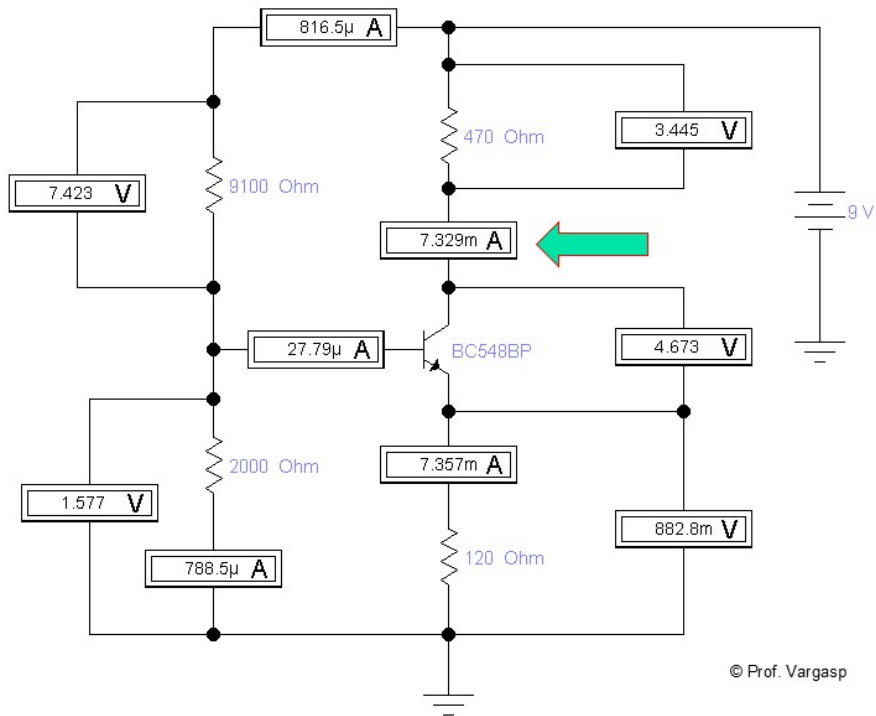
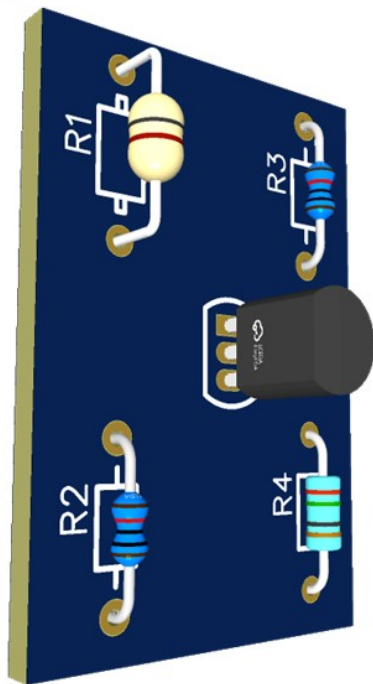
$$R_2 = 9300 \Omega$$

Finalmente temos

Que devidamente montado apresenta os 8 mA de I_C desejados conforme simulação no EWB 5.12



Usando valores comerciais de resistores



Em termos de erro %

	Esperado	Obtido	E%
V_{RC}	3.6 V	3.45 V	4,31
V_{CE}	4.5 V	4.67 V	-3,84
V_{RE}	0.9 V	0.88 V	1,89
I_C	8.0 mA	7.33 mA	8,38
I_D	0.8 mA	0.79 mA	1,50
V_{R1}	1.56 V	1.58 V	-1,09
V_{R2}	7.44 V	7.42 V	0,23



Exercício de aplicação

- 1 Calcule os resistores de polarização para um transistor BC635 para obter uma corrente de coletor com 6.5 mA utilizando uma fonte de 12V.



Conclusão

- ⤴ Seria injusto, para não dizer arrogante, concluir que isto representa o conhecimento básico de Eletrônica. A eletrônica tem uma história muito longa. É motivo de estudo por toda uma vida, mostrando a cada oportunidade de leitura novas facetas, a serem lapidadas mais e mais em um circuito eterno. Cabe a cada um de nós determinar o quanto deseja aprender e, evidentemente, isto implica em muitas horas analisando os novos aprendizados. No final, sempre vale a pena.

- ⤴ Sucesso a todos !



Até mais, a gente se vê !