

Le transistor bipolaire

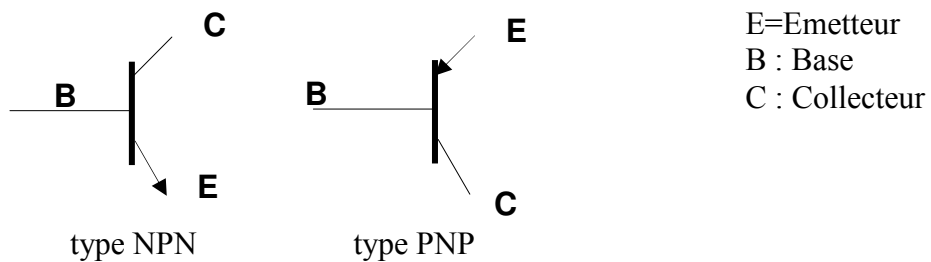
1°) Rôle d'un transistor

Le transistor bipolaire peut avoir 2 fonctions

- Il peut être utilisé comme une résistance dont la valeur varie en fonction d'un **courant** (Fonctionnement en mode linéaire)
- Il peut être utilisé comme un interrupteur commandé par un **courant** (fonctionnement à saturation)

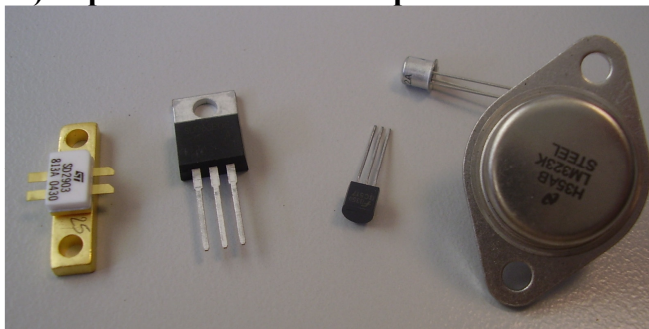
Un transistor correspond à une vanne dans un circuit hydraulique

Schéma



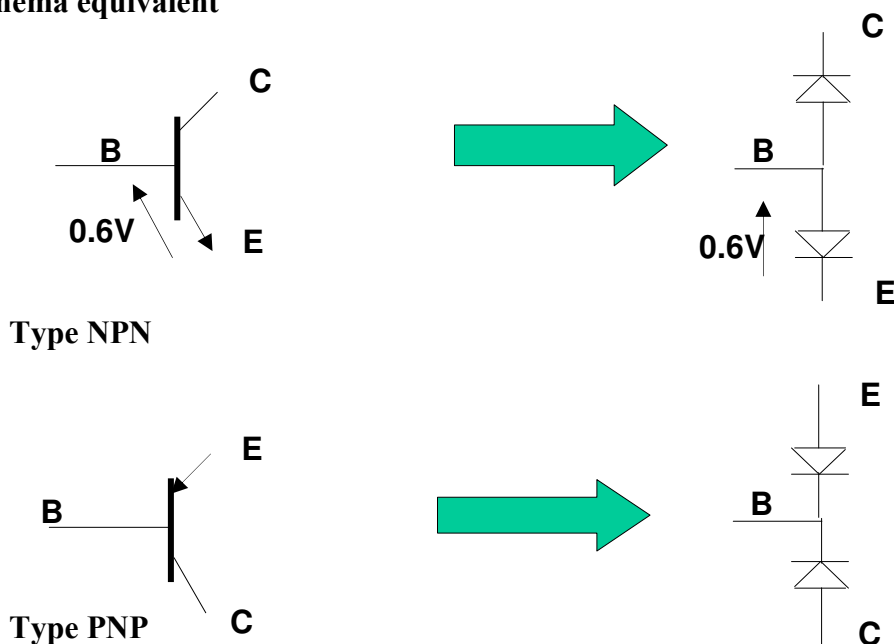
Symbole : T

2°) Aspect d'un transistor bipolaire



La forme des transistors dépend de la puissance qu'ils sont capables de dissiper

3°) Schéma équivalent



4°) Caractéristique du transistor bipolaire

Soit le montage suivant :

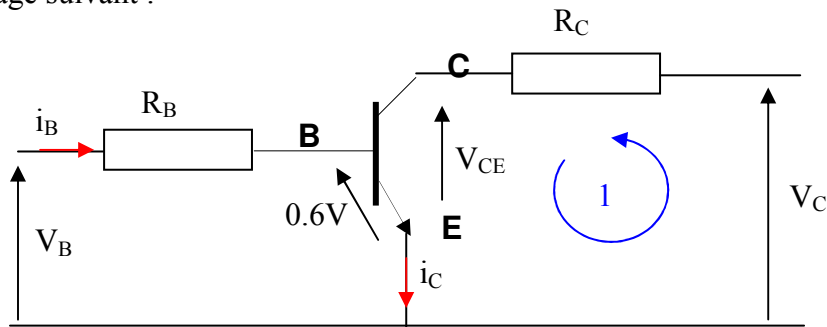
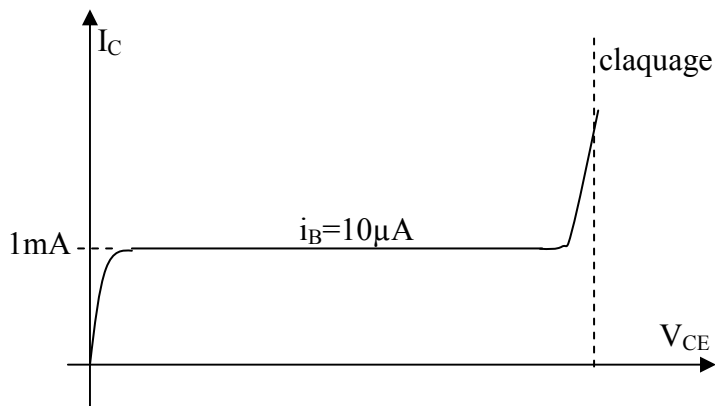


Fig 1

Le transistor est de type NPN

* Tracer de I_C en fonction de V_{CE}

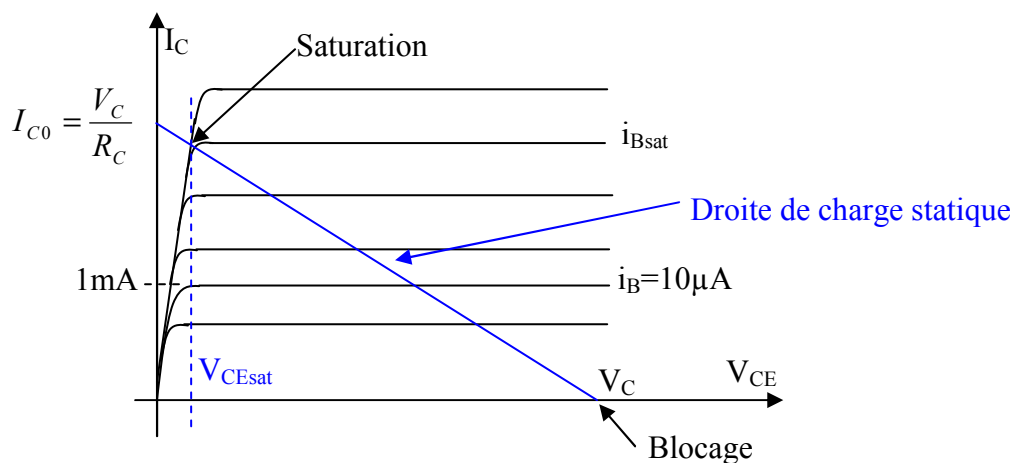


Dans ce cas le transistor à un gain de $\beta=100$ avec $\beta = \frac{i_C}{i_B}$ β est parfois noté h_{FE} dans les spécifications des transistors

D'après ce graphique on constate que pour i_B donné, i_C reste constant quelque soit la valeur de V_{CE} , dans la limite de la tension de claquage.

Le transistor se comporte comme un générateur de courant

* Droite de charge statique



La maille 1 donne l'équation de la droite de charge statique : $i_C = \frac{V_c - V_{CE}}{R_C}$

*** Saturation**

Le montage est saturé lorsque i_C reste constant avec i_B qui augmente au delà de i_{Bsat} .

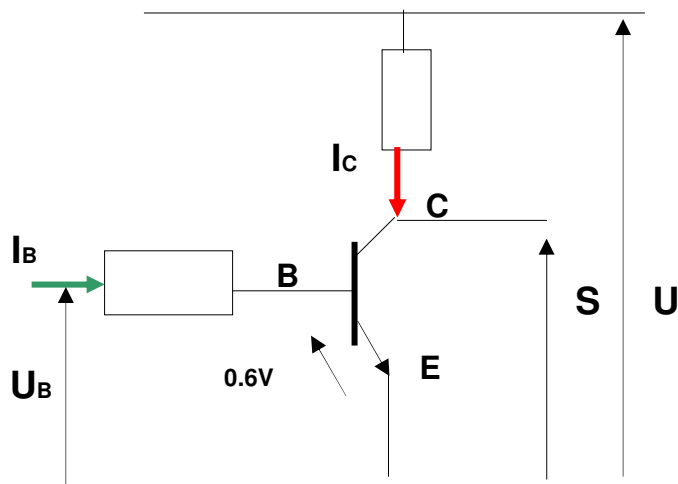
*** Blocage**

Le transistor est bloqué lorsque le courant i_C est nul alors que $V_C > 0$
 Le transistor se trouve dans cette configuration quand $i_B = 0$.

5°) Fonctionnement d'un transistor bipolaire à saturation

Type NPN

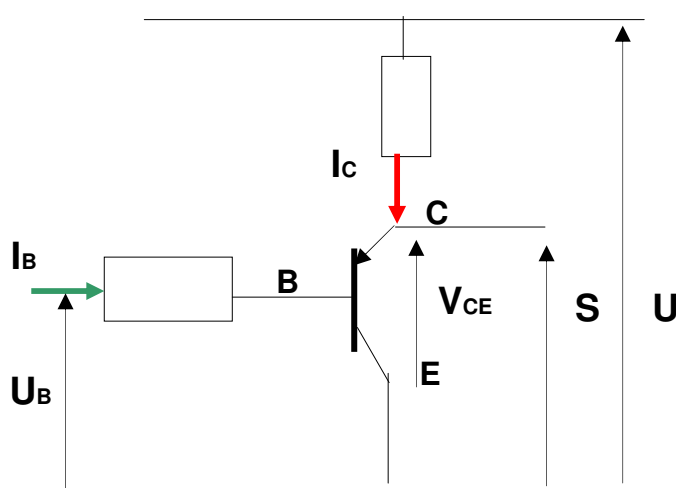
Soit le montage suivant



U_B	I_C	S
0	0	U
1	1	0

Type PNP

Soit le montage suivant



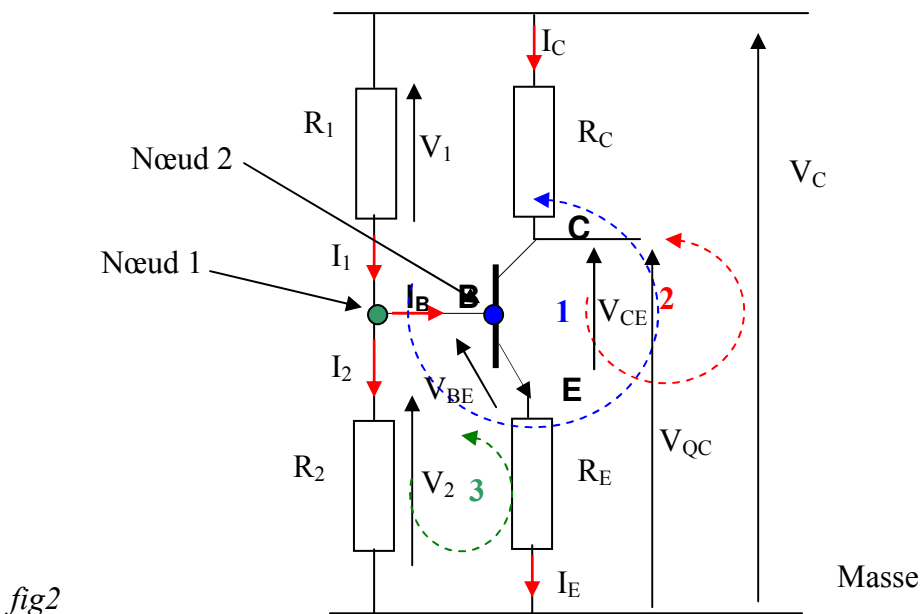
U_B	I_C	S
0	1	0
1	0	U

Dans les 2 cas $I_B > I_{Bsat}$

6°) Polarisation d'un transistor bipolaire par diviseur de tension

Lorsque l'on veut faire fonctionner un transistor en mode linéaire (un amplificateur), il est bon de caler son point de fonctionnement, Q, au milieu de la droite de charge statique.

Soit le montage suivant :



Cherchons R1, R2, RE et RC afin d'avoir le point Q au milieu de la droite de charge statique.

Nous connaissons

V_C, I_{C0} (Choix pour le montage)

V_{BE}, V_{CEsat} et β (Données du fabricant du transistor)

Calcul de I_{QC}

$I_{QC} = \frac{I_{C0}}{2}$ on souhaite être au milieu de la droite de charge statique

Calcul de R_E et R_C

Nous pouvons calculer $R_C + R_E$ afin d'obtenir I_{C0} nous avons $R_C + R_E = \frac{V_C}{I_{C0}}$

Nous pouvons choisir une valeur normalisée de R_E nous en déduisons $R_C = \frac{V_C}{I_{C0}} - R_E$

Nous choisissons une valeur standardisée de R_C la plus proche possible de la valeur calculée

Calcul de I_{C0} et I_{Csat} et I_{QC}

A partir des valeurs standards choisies pour R_C et R_E nous pouvons recalculer I_{C0}, I_{Csat} et I_{QC}

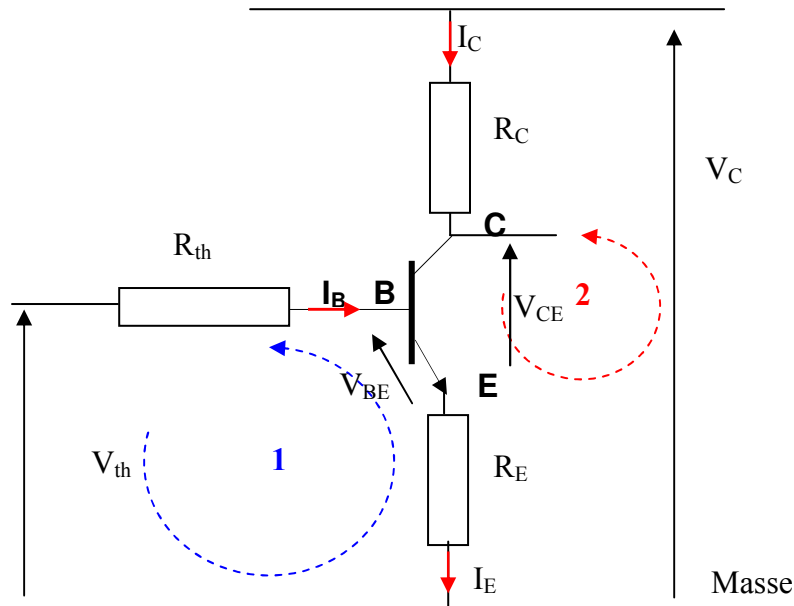
Nous avons : $I_{C0} = \frac{V_C}{R_C + R_E}$ et $I_{QC} = \frac{I_{C0}}{2}$ et enfin $I_{Csat} = \frac{V_C - V_{CEsat}}{R_C + R_E \times \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$

Calcul de I_B et I_E

Nous avons $I_B = \frac{I_{QC}}{\beta}$ et $I_E = I_{QC} + I_B$

Calcul de R_1 et R_2

Le montage fig2 est équivalent au montage suivant



Avec V_{th} tension de Thevenin et R_{th} résistance de Thévenin.

Calcul de R_{th} et V_{th}

Il existe une règle de conception très utile pour déterminer R_{th} qui est $R_{th} \leq 0.1 \times \beta \times R_E$

Choisissons une valeur de R_{th} inférieure à $0.1 \times \beta \times R_E$

D'après la maille 1 nous avons $V_{th} = R_{th} \times I_B + V_{BE} + R_E \times I_E$

Connaissant R_{th} et V_{th} nous pouvons en déduire R_1 et R_2 . En effet nous avons le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} R_{th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \\ V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{cases}$$

Soit $R_1 = \frac{R_{th} + A \times R_{th}}{A}$ et $R_2 = A \times R_1$ avec $A = \frac{V_{th}}{V_C - V_{th}}$

On choisit une valeur normalisée la plus proche possible des valeurs calculées pour R_1 et R_2
Puis on calcul, I_1 , I_2 , V_{th} , R_{th} , I_E , V_C , V_{QCE} et I_{QC}

Calcul de I_1 et I_2 avec les valeurs standardisées de R_1 et R_2

La maille 1 de la fig2 donne $R_1 \times I_1 + R_2 \times I_2 = V_C$

l'équation du nœud 1 de la fig 2 donne $I_1 = I_B + I_2$

Nous avons $R_1 \times (I_B + I_2) + R_2 \times I_2 = V_C$ soit $I_2 = \frac{V_C - R_1 \times I_B}{R_1 + R_2}$

Calcul de I_{QC} et V_{QCE} avec les valeurs standardisées de R_C et R_E

Nous avons $V_{QCE} = V_{QC} - V_E$

D'après la maille 3 de la fig2, nous avons $V_E = R_2 \times I_2 - V_{BE}$ et $I_E = \frac{V_E}{R_E}$

Le nœud 2 de la fig2, nous donne $I_{QC} = I_E - I_B$ d'où $V_{QC} = V_C - R_C \times I_{QC}$

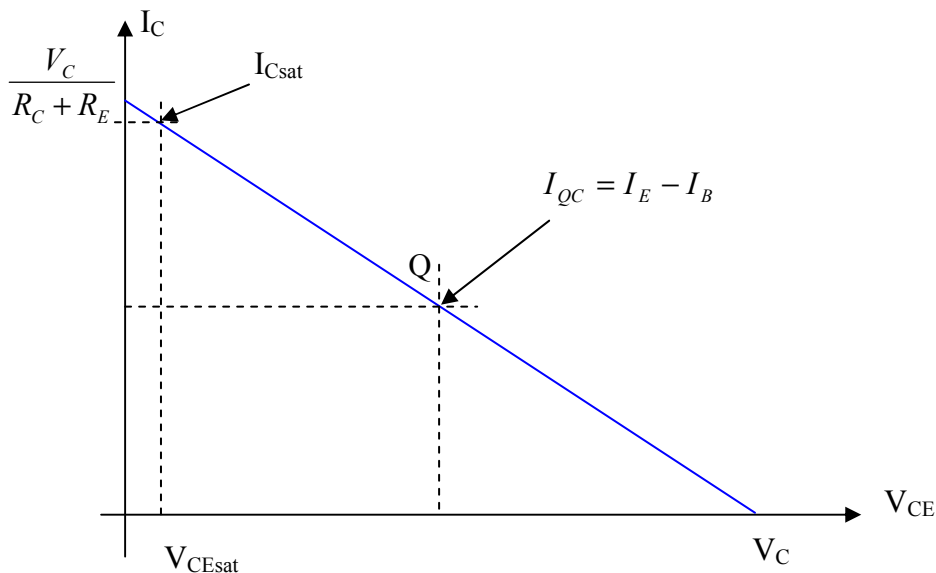
Donc $V_{QCE} = V_C - R_C \times I_{QC} - R_2 \times I_2 + V_{BE}$

Calcul de I_{CSAT}

La maille 2 donne $V_C = R_C \times I_{Csat} + V_{CEsat} + R_E \times (I_{Csat} + I_B)$

Soit $I_{Csat} = \frac{V_C - V_{CEsat} - R_E \times I_B}{R_C + R_E}$ si $I_B = \frac{I_{Csat}}{\beta}$ alors $I_{Csat} = \frac{V_C - V_{CEsat}}{R_C + R_E \times \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$

La droite de charge est



Application numérique : voir le fichier excel Transistor bipolaire droite statique

6°) Applications

Saturation (Commande de relais à partir d'un transistor NPN)

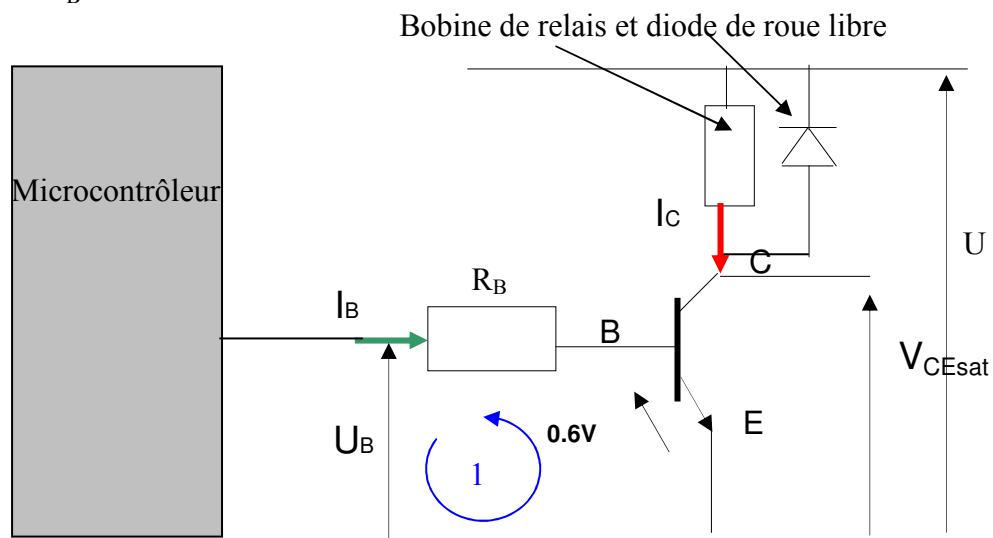
Nous souhaitons commander un relais à partir d'une sortie de microcontrôleur.

La sortie du microcontrôleur ne délivre que 20mA (donnée du fabricant du microcontrôleur)

Le relais, pour fonctionner doit absorber un courant de 200mA.

Il faut donc un étage d'amplification entre le microcontrôleur et le relais, c'est le rôle du montage ci-dessous.

Avec $U=12V$ et $U_B=5V$ ou $0V$



Fonctionnement :

Quand $U_B=5V$ le transistor est saturé le relais est collé ($I_C=200mA$)

Quand $U_B=0V$ le transistor est bloqué, le relais est décollé ($I_C=0$)

Nous avons $I_C=200mA$ et $I_B=20mA$ max. nous allons prendre $I_B=10mA$ afin de ménager la sortie du microcontrôleur.

Calcul du gain d'amplification $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ soit $\beta=20$

Choix du transistor

Il faut un transistor :

- capable de supporter un courant $I_C > 200mA$
- capable de dissiper une puissance thermique $P = V_{CEsat} \times I_C$
- capable de supporter une tension $V_{CE} > U$
- $\beta > 20$ ou $h_{FE} > 20$

Le 2N2222A répond à ces 4 critères comme le montre la documentation de ce transistor

Calcul de R_B

La maille 1 donne $U_B = R_B \times I_B + 0.6$ soit $R_B = \frac{U_B - 0.6}{I_B}$ nous avons $R_B = \frac{12 - 0.6}{0.01}$

Soit $R_B=1140\Omega$ Prenons $R_B=1200\Omega$ calculons $I_B = \frac{U_B - 0.6}{R_B}$ soit $I_B = \frac{12 - 0.6}{1200}$ soit

$I_B=9.5mA$, par conséquent $\beta=21$


La puissance est $P = R_B \times I_B^2$ nous avons $P = 1200 \times 0.0095^2$ soit $P=109$ mW.

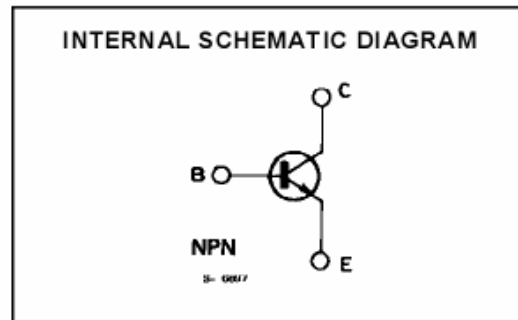
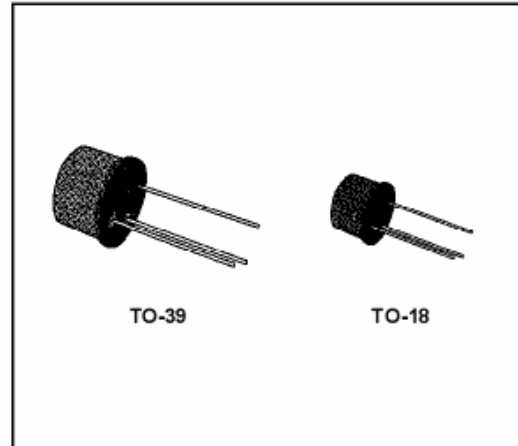
Une résistance de 1200Ω 0.25W fera l'affaire.

HIGH SPEED SWITCHES

DESCRIPTION

The 2N2218A, 2N2219A, 2N2221A and 2N2222A are silicon planar epitaxial NPN transistors in Jedec TO-39 (for 2N2218A and 2N2219A) and in Jedec TO-18 (for 2N2221A and 2N2222A) metal cases. They are designed for high-speed switching applications at collector currents up to 500 mA, and feature useful current gain over a wide range of collector current, low leakage currents and low saturation voltages.

 2N2218A/2N2219A approved to CECC 50002-100, 2N2221A/2N2222A approved to CECC 50002-101 available on request.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-base Voltage ($I_E = 0$)	75	V
V_{CEO}	Collector-emitter Voltage ($I_B = 0$)	40	V
V_{EBO}	Emitter-base Voltage ($I_C = 0$)	6	V
I_C	Collector Current	0.8	A
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ for 2N2218A and 2N2219A for 2N2221A and 2N2222A at $T_{case} \leq 25^\circ\text{C}$ for 2N2218A and 2N2219A for 2N2221A and 2N2222A	0.8	W
		0.5	W
		3	W
		1.8	W
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to 200	$^\circ\text{C}$
T_j	Junction Temperature	175	$^\circ\text{C}$

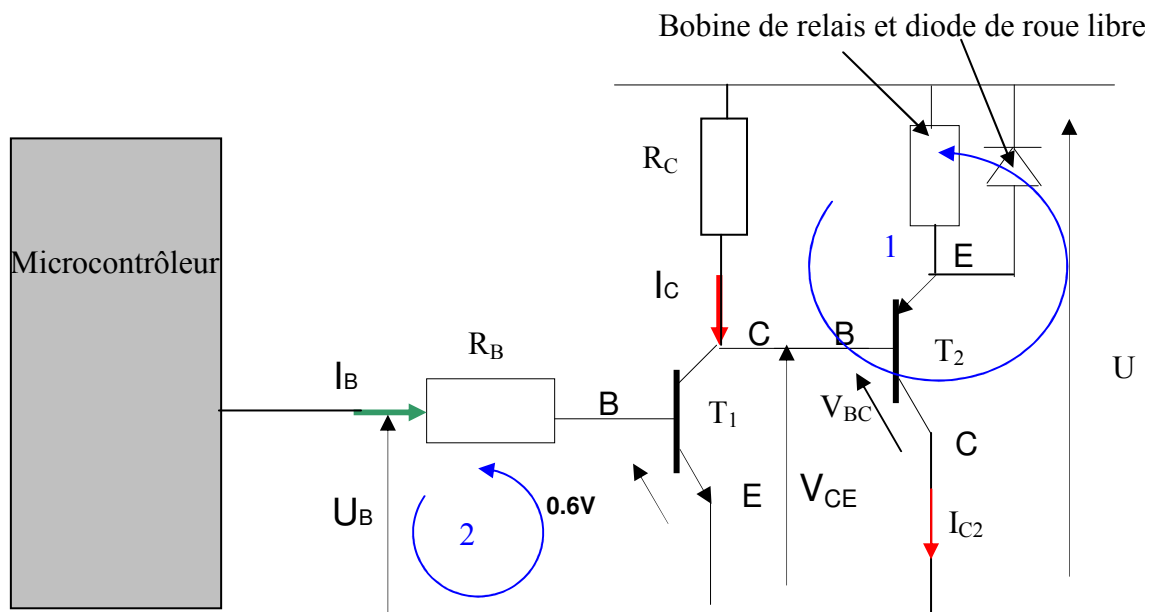
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cutoff Current ($I_E = 0$)	$V_{CB} = 60\text{ V}$ $V_{CB} = 60\text{ V}$ $T_{amb} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$			10 10	nA μA
I_{CEX}	Collector Cutoff Current ($V_{BE} = -3\text{ V}$)	$V_{CE} = 60\text{ V}$			10	nA
I_{EBO}	Emitter Cutoff Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 3\text{ V}$			10	nA
I_{BEX}	Base Cutoff Current ($V_{BE} = -3\text{ V}$)	$V_{CE} = 60\text{ V}$			20	nA
$V_{(BR)CBO}$	Collector-base Breakdown Voltage ($I_E = 0$)	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}$	75			V
$V_{(BR)CEO}^*$	Collector-emitter Breakdown Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 10\text{ mA}$	40			V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-base Breakdown Voltage ($I_C = 0$)	$I_E = 10\text{ }\mu\text{A}$	6			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{ mA}$ $I_B = 15\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $I_B = 50\text{ mA}$			0.3 1	V V
$V_{BE(sat)}^*$	Base-emitter Saturation Voltage	$I_C = 150\text{ mA}$ $I_B = 15\text{ mA}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $I_B = 50\text{ mA}$	0.6		1.2 2	V V
h_{FE}^*	DC Current Gain	for 2N2218A and 2N221A $I_C = 0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $T_{amb} = -55\text{ }^{\circ}\text{C}$	20 25 35 40 25 20 15		120	
h_{FE}^*	DC Current Gain	for 2N2219A and 2N2222A $I_C = 0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 1\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 500\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $I_C = 150\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$ $T_{amb} = -55\text{ }^{\circ}\text{C}$	35 50 75 100 40 50 35		300	

Bilan

- $I_C = 800\text{ mA}$ c'est supérieur à 200 mA OK
- $V_{CE} = 40\text{ V}$ c'est supérieur à 12 V OK
- $V_{EB} = 6\text{ V}$ c'est supérieur à 5 V OK
- $h_{FE} = 100$ c'est supérieur à $\beta = 20$ OK
- Puissance de dissipation : 1.8 W
- Nous avons $V_{CEsat} = 0.3\text{ V}$
- $P = V_{CEsat} \times I_C$ soit $P = 0.3 \times 0.2$
- $P = 0.06\text{ W}$ soit $P = 60\text{ mW}$ c'est inférieur à 1.8 W OK

Saturation (Commande de relais à partir d'un transistor PNP)



Fonctionnement :

Quand $U_B=5V$ le transistor T_1 est saturé et le transistor T_2 est bloqué car $V_{CE}=V_{CEsat}$ et $V_{CEsat} \approx 0V$, **le relais est décollé ($I_C=0mA$)**

Quand $U_B=0V$ le transistor T_1 est bloqué et le transistor T_2 est saturé car $V_{CE}=U$, **le relais est collé ($I_C=200mA$)**

Comme vous pouvez le constater ce montage fonctionne à l'inverse du précédent

Choix de T2

Comme précédemment nous prendrons un 2N2222A

$\beta=100$ donc $I_C = \frac{I_{C2}}{\beta}$ soit $I_C = \frac{0.2}{100}$ d'où $I_C=2mA$

Calcul de R_C

D'après la maille 1, nous avons $U = R_C \times I_C + V_{BC}$ soit $R_C = \frac{U - V_{BC}}{I_C}$

Nous avons $R_C = \frac{12 - 0.6}{0.002}$ d'où $R_C=5700\Omega$

Calcul de la puissance dissipée par la résistance R_C lorsque T_1 est bloqué ($I_C=0.002A$), nous avons $P = R_C \times I_C^2$ soit $P=0.0228W$

Calcul du courant I_C lorsque T_1 est saturé. Nous avons $U = R_C \times I_C + V_{CE}$ d'où $I_C = \frac{U - V_{CE}}{R_C}$

lorsque T_1 est saturé V_{CE} devient V_{CEsat} et $V_{CEsat}=0.3V$ par conséquent $I_C = \frac{12 - 0.3}{5700}$ soit

$I_C=2mA$

Choix de T₁

Nous pouvons prendre le même transistor que T₂

$I_C=2\text{mA}$, d'après la spécification du 2N2222A à 1mA $\beta=50$ Par conséquent nous pouvons considérer que $\beta=50$ pour notre montage.

Nous avons $I_B = \frac{0.002}{50}$ soit $I_B=40\mu\text{A}$. Afin d'éviter d'avoir des petits courant nous allons prendre $I_B=1\text{mA}$

Calcul de R₁

La maille 2 donne $U_B = R_B \times I_B + 0.6$ soit $R_B = \frac{U_B - 0.6}{I_B}$. U_B est la tension fournie par la sortie du microcontrôleur. U_B est soit à 0V ou 5V par conséquent

$$R_B = \frac{5 - 0.6}{0.001} \text{ d'où } \mathbf{R_B=4400\Omega}$$

La puissance dissipée par la résistance sera $P = R_B \times I_B^2$ soit $P = 4400 \times 0.001^2$ d'où **P=4.4mW**

Conclusion

Pour ce montage nous utiliserons les composants suivants :

T1	2N2222A
T2	2N2222A
RB	4400Ω 0.25W
RC	5700Ω 0.25W

Contrôle d'un transistor bipolaire



Base
Emetteur

