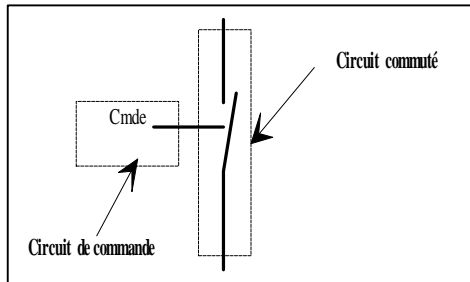


Le transistor en commutation

1 - Généralités

Le transistor en commutation est utilisé afin d'ouvrir ou de fermer un circuit. Ainsi il peut commander une LED, un relais, un moteur...etc... On assimile généralement le circuit de sortie du transistor à un interrupteur qui est commandé soit par une tension, soit par un courant suivant le type de transistor choisi.

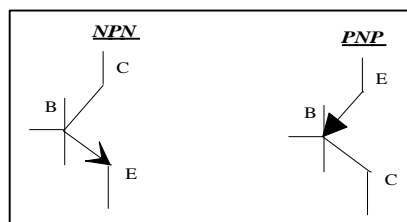


Le montage d'un transistor en commutation peut être décomposé en deux circuits :

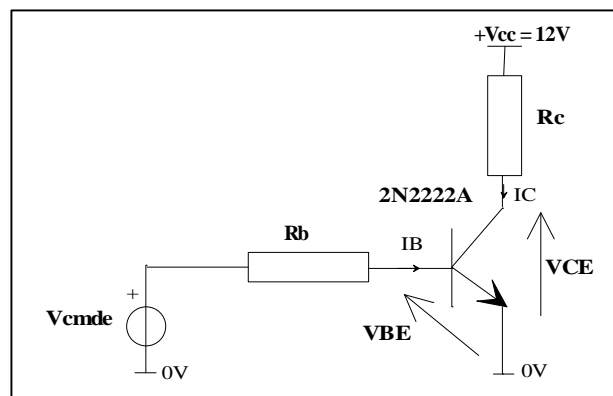
- Circuit de commande ou Circuit d'entrée
- Circuit commuté ou circuit de sortie

2 - Le transistor bipolaire en commutation

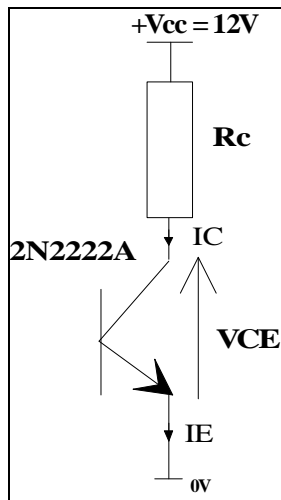
Il existe deux types de transistor bipolaire : Transistors NPN et PNP



Soit le circuit de commutation suivant utilisant un transistor bipolaire de type NPN :



2-1- Le circuit de sortie



Le courant I_C est fixé par la valeur de V_{CC} , de R_C et par la valeur de V_{CE} que l'utilisateur désire.

Exemple 1 :

On désire un courant dans le collecteur $I_C = I_{C1} = 10 \text{ mA}$ et une d.d.p $V_{CE} = V_{CE1} = 4 \text{ V}$.

On dispose d'une source de tension $V_{CC} = 12 \text{ V}$.

Le calcul de la résistance R_C donne $R_C = (V_{CC} - V_{CE1}) / I_{C1}$
 $R_C = 800 \text{ Ohms}$ (théorie).

Exercices d'application :

CALCULER la valeur théorique de R_C pour les besoins suivants sachant que $V_{CC} = 12 \text{ V}$.

- $I_{C2} = 20 \text{ mA}$ et $V_{CE2} = 5 \text{ V}$.
- $I_{C3} = 5 \text{ mA}$ et $V_{CE3} = 3 \text{ V}$.
- $I_{C4} = 10 \text{ mA}$ et $V_{CE4} = 0 \text{ V}$.

Remarques :

Lorsque le circuit de sortie du transistor est polarisé dans le cas c) on dit que le transistor est **SATURE** car son $V_{CE} = 0 \text{ V}$.

☛ **Lorsque le transistor est saturé :** l'interrupteur est fermé donc la tension V_{CE} est égale à 0 V (transistor parfait). Dans la réalité il est impossible de polariser un transistor avec $V_{CE} = 0 \text{ V}$ car par construction ce composant ne peut pas prendre pour V_{CE} une valeur inférieure à V_{CEsat} qui est donnée par le constructeur du composant.

(EX : pour le transistor 2N2222A $V_{CEsatmax} = 0,3 \text{ V}$ pour $I_B = 15 \text{ mA}$ et $I_C = 150 \text{ mA}$ à 25°C)
 (La tension V_{CEsat} dépend en outre des courants I_C et I_B)

V_{CEsat} varie de $0,1 \text{ V}$ pour les transistors de faible puissance à quelques volts pour les transistors de puissance. Dans les calculs on utilisera la valeur de V_{CEsat} max ou min en fonction du pire des cas à mettre en œuvre.

On en déduit alors soit le courant I_C qui circule dans la résistance R_C (si la valeur de R_C est connue), soit la valeur de la résistance R_C (si la valeur du courant I_C est connue).

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{I_C}$$

☛ **Lorsque le transistor est bloqué :** l'interrupteur est ouvert, le courant $I_C = 0$. Alors la tension V_{CE} est sensiblement égale à V_{CC} .

$$V_{CE} = V_{CC}$$

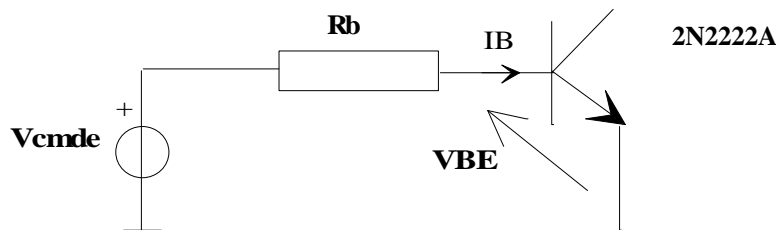
En réalité un courant de fuite circule dans la jonction Collecteur – Base (I_{CB0}) ce qui implique $V_{CE} \approx V_{CC}$.

Le constructeur indique que la tension V_{CE} doit être inférieure à $V_{(BR)CE0}$ lorsque le transistor est bloqué sous peine de détruire le composant.

(EX : pour le transistor 2N2222A $V_{(BR)CE0min} = 40V$ pour $I_B = 0$ et $I_C = 10mA$ à $25^\circ C$)

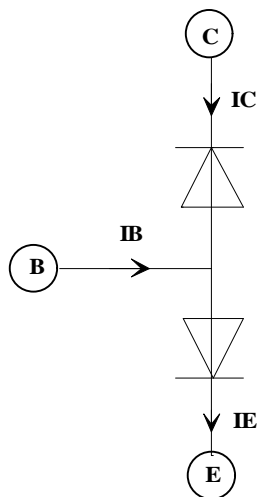
$V_{(BR)CE0}$: Valeur (minimum) de la tension V_{CE} à partir de laquelle il y a destruction du transistor lorsqu'il est bloqué.

2-2- Le circuit de commande



Les valeurs de V_{cmde} et R_b imposent le courant de base I_B .

Le schéma équivalent d'un transistor N-P-N est le suivant.



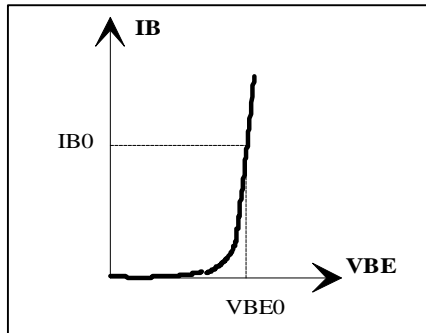
On remarque que le schéma équivalent est en fait constitué de deux jonctions (deux diodes).

On admettra le **THEOREME DU TRANSISTOR** suivant :

Un transistor est convenablement polarisé dans l'état passant (ou saturé) si la jonction **Base-Emetteur est polarisée en sens direct** et la jonction Base-Collecteur est polarisée en sens inverse.

2-2-1- Caractéristique d'entrée

La jonction Base - Emetteur est équivalente à une diode dont la caractéristique est la suivante :



Définitions :

La jonction Base – Emetteur est dite passante lorsque la tension V_{BE} est supérieure à la tension de conduction de la diode

($V_{BE} > 0,7V$ pour un transistor au silicium à $0,4$ Volts pour un transistor à l'Arséniure de gallium.).

Dans ces conditions il y a présence d'un courant I_B .

La jonction Base – Emetteur est considérée bloquée si la tension V_{BE} est inférieure à $0,7V$.

Le courant I_B est fixé par la valeur de V_{cmde} , de R_b et par la valeur de V_{BE} qui est propre au transistor utilisé et qui vaut $0,7$ Volts pour les transistors au Silicium qui sont utilisés couramment.

Exemple 1 :

On désire un courant dans la Base $I_B = I_{B1} = 100 \mu A$.

On dispose d'une source de tension $V_{cmde} = 5 V$.

Le calcul de la résistance R_b donne $R_b = (V_{cmde} - V_{BE}) / I_{B1} = 44 K\Omega$ (théorie).

Exercices d'application :

CALCULER la valeur théorique de R_b pour les besoins suivants :

a) $I_{B2} = 200 \mu A$.

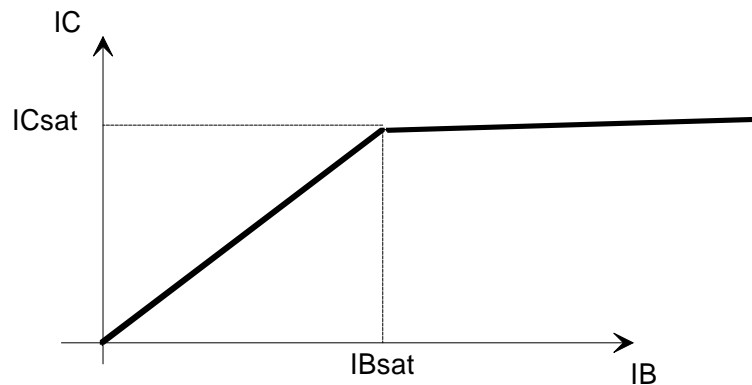
b) $I_{B3} = 500 \mu A$.

☛ **Lorsque le transistor est saturé**, la jonction Base – Emetteur est passante. L'inverse n'est pas réciproque car on peut avoir un fonctionnement linéaire.

Le constructeur indique que la tension V_{BEsat} dépend en outre des valeurs de courants I_B et I_C .

(EX : pour le transistor 2N2222A $V_{BEsatmax} = 1,2V$ pour $I_C = 150mA$ et $I_B = 15mA$ à $25^\circ C$ ou $V_{BEsatmax} = 2V$ pour $I_C = 500mA$ et $I_B = 50mA$ à $25^\circ C$).

2-2-2- Caractéristique de transfert



On peut remarquer deux régions sur cette caractéristique : Une région de régime linéaire pour laquelle $I_C = \beta \cdot I_B$ et une région de régime saturé où même si I_B continue d'augmenter le courant I_C n'augmente plus (ou presque plus car il y a une légère pente).

$I_C = \beta \cdot I_B$ est la formule clef de la commande d'un transistor bipolaire. Cette formule n'est valable que pour la région linéaire, c'est à dire tant que le transistor n'est pas saturé.

La constante β (qui est en fait la pente de la caractéristique de transfert en régime linéaire) s'appelle le **GAIN EN COURANT** du transistor est il est donné par le constructeur sous la forme d'une plage de gain garantie pour un échantillon de composants.

La valeur de I_{Csat} dépend uniquement du circuit de sortie.

Exemple :

Pour le transistor NPN 2N2222A le constructeur donne : $100 < \beta < 300$ (dans certaines conditions de I_C et V_{CE}).

C'est à dire que le moins bon des transistors pris dans un échantillon de la série des 2N2222A garantira au moins un β de 100 et que le meilleur ne pourra pas dépasser un β de 300.

Il faudra donc tenir compte de cette dispersion des caractéristiques lors du calcul de montages à transistors bipolaires car en cas de remplacement du transistor (Maintenance) une autre pièce portant la même référence n'aura certainement pas le même gain en courant.

Dans la pratique, on calculera les montages en utilisant le β le plus faible de la série pour être certain du bon fonctionnement de la structure même avec l'échantillon le plus mauvais.

☛ **Lorsque le transistor est bloqué**, la jonction Base – Emetteur n'est plus passante.

La tension V_{BE} est inférieure à la tension de conduction ($V_{BEsat}=0,7V$), la valeur du courant I_B est nulle. Ce qui implique que

$$V_{cmde} < V_{BEsat}$$

Le constructeur indique que la tension V_{BE} ne doit pas atteindre la valeur de la tension $V_{(BR)EB0}$ sous peine de détruire le transistor.

$V_{(BR)EB0}$: Tension inverse minimale de la jonction base – Emetteur à ne pas dépasser
(EX : pour le transistor 2N2222A la tension $V_{(BR)EB0min}$ est de 6V pour $I_C = 0$ à 25°C)
Si la tension V_{BE} est inférieure à -6V alors la jonction sera détruite.

Remarques :

La conduction de la jonction Base – Emetteur n'implique pas obligatoirement la saturation du transistor. Il faut aussi que la tension V_{CE} atteigne la valeur V_{CEsat} .

Pour saturer correctement un transistor il faut impérativement respecter la condition :

$$I_{Bréel} > I_{Bsat}$$

La commande de ce circuit de commutation se fait par la présence ou non du courant I_B dans la jonction Base – Emetteur. Ce courant est généré par la tension V_{cmde} et la résistance R_b .

Pour déterminer l'état du transistor (bloqué ou saturé) par des mesures il suffit de mesurer les tensions V_{BEsat} et V_{CEsat} ou de vérifier la condition $I_{Bréel} > I_{Bsat}$.

3 - Caractéristiques générales

