

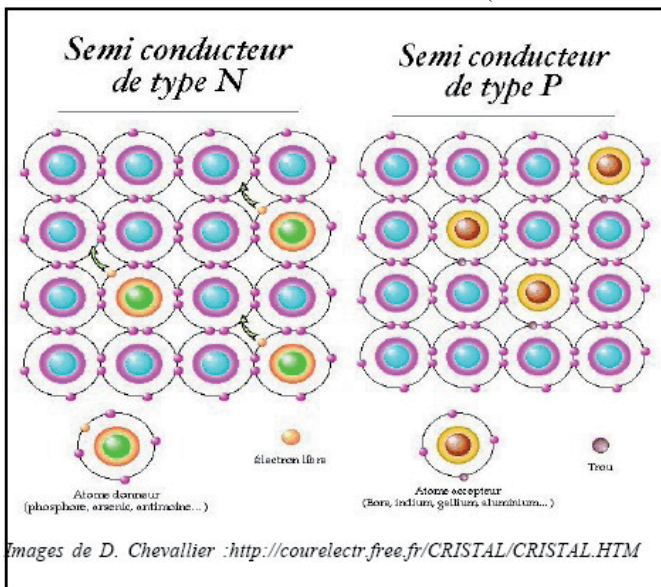
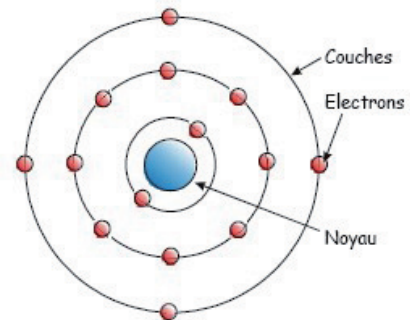
LE TRANSISTOR

I/ RAPPELS

Semi-conducteur

Un semi-conducteur est un matériau dont la conductivité électrique se situe entre celle des métaux et celle des isolants. A l'heure actuelle, les semi-conducteurs sont réalisés essentiellement en silicium. Cet atome possède 4 électrons sur sa dernière couche.

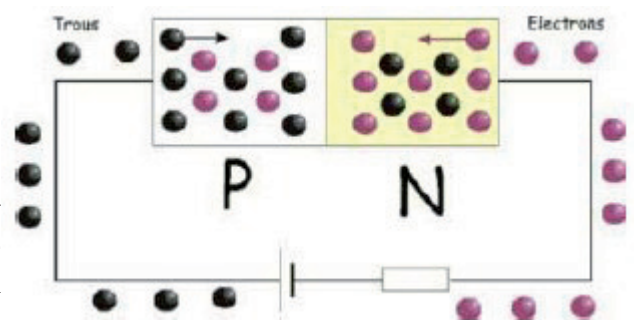
En ajoutant un faible pourcentage d'atomes dotés de 3 électrons sur la dernière couche (Bore Gallium...) on créé un *semi-conducteur P* déficitaire en électrons (excédentaire en *trous*). A l'inverse, en ajoutant des atomes ayant 5 électrons sur la dernière couche (Phosphore...) on créé un *semi-conducteur N* excédentaire en électrons (les *électrons libres*).



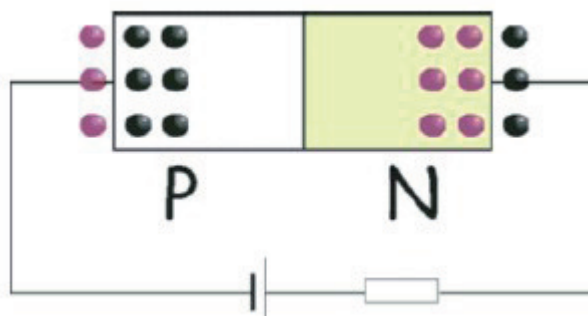
La diode

En associant un semiconducteur N à un semiconducteur P on créé une diode. La zone de contact entre les deux blocs est appelée *la jonction*.

Le dipôle ainsi fabriqué peut être polarisé de deux manières différentes :



En direct : le bloc P est branché à la borne + du générateur et le bloc N à la borne -. Les électrons vont circuler de la région N vers la région P et les trous en sens inverse. Le courant circule. La diode est passante.

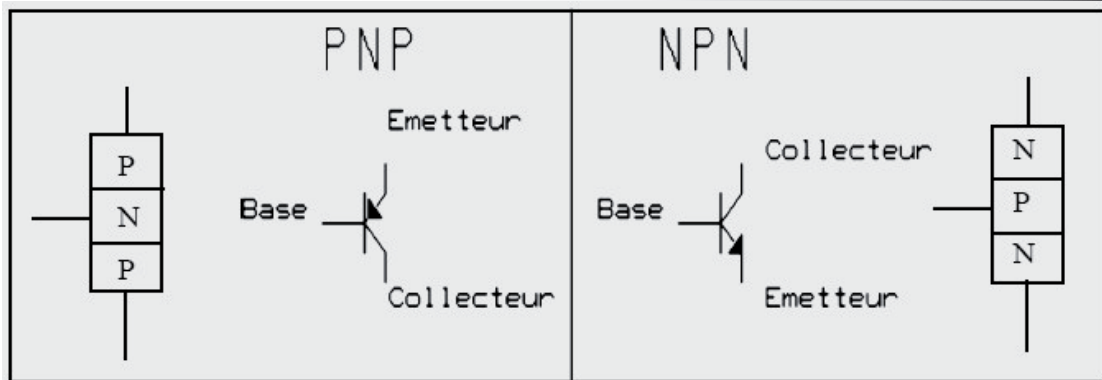


En inverse :

les porteurs de charges mobiles sont attirés vers les connexions extérieures par la présence des charges électriques de l'alimentation. Aucun courant ne circule, la diode est bloquée.

II/ GENERALITES SUR LE TRANSISTOR

Un transistor bipolaire est constitué de semi-conducteurs dopés P et N de façon à former deux jonctions. Selon l'agencement de ces couches N et P, on réalise un transistor NPN ou un transistor PNP.



Dans les deux cas les trois électrodes se nomment :

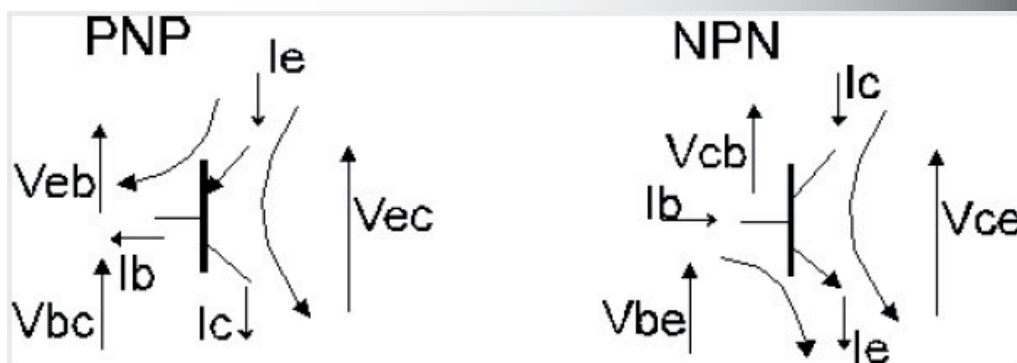
- Emetteur
- Base
- Collecteur

Moyen mnémotechnique : Dans le cas du transistor PNP la flèche de l'émetteur

Pénètre dans le symbole

P comme **PNP**

Le sens des courants est donné par le sens de la flèche du symbole :



Equations caractéristiques :

Courants : $I_E = I_C + I_B$

Tensions : NPN : $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$

PNP : $V_{EC} = V_{EB} + V_{BC}$

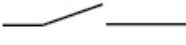
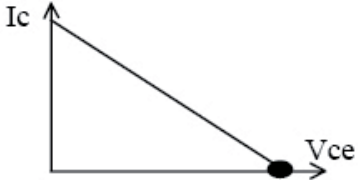
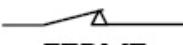
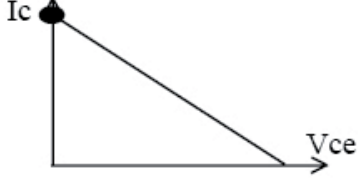
Amplification en courant : $I_C = \beta \cdot I_B$

III/ LE TRANSISTOR EN COMMUTATION

II.1/ Définition

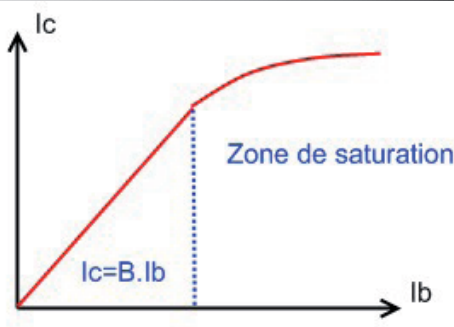
Un transistor est utilisé en commutation lorsque son mode de fonctionnement s'apparente à un interrupteur.

En réalité sa polarisation ne lui permet que deux modes de fonctionnement par opposition au fonctionnement en régime linéaire (amplification).

Interrupteur	Transistor	Point de fonctionnement
 OUVERT	BLOQUE $I_c=0 ; V_{ce} = V_{cc}$	
 FERME	SATURE $V_{ce} \approx 0 ;$ $I_c = \text{Courant maximum autorisé par le circuit}$	

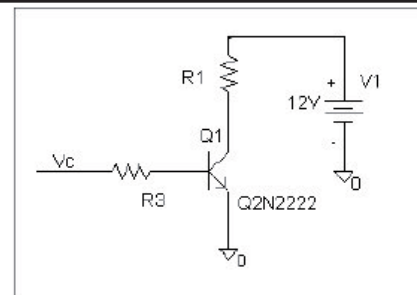
Définitions :

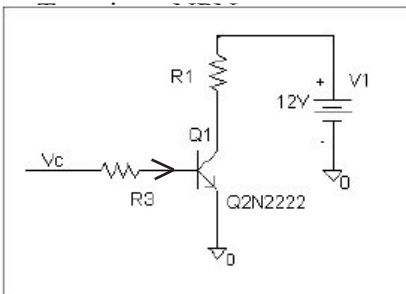
- On dit qu'un **transistor est passant** lorsque son courant de collecteur est non nul.
- On dit qu'un **transistor est bloqué** lorsque son courant de collecteur est nul
- On dit qu'un **transistor est saturé** lorsque la relation $I_c = \beta \cdot I_b$ n'est plus vérifiée. Dans ce cas son V_{ce} est proche de 0v (dans la pratique 0,1v à 0,4V). Un transistor saturé est forcément passant mais l'affirmation contraire est fausse.



III.2/ Analyse qualitative

Prenons comme exemple le schéma suivant:



N°	Méthode	Dans l'exemple
1	Identifier le type du transistor (voir page 2)	 Si $V_c = 12V$ alors PASSANT
2	Indiquer par une flèche le sens du courant de du transistor	
3	A partir de la tension de commande, vérifier que le courant de base réel est bien dans le sens de la flèche et non nul. Si OUI => Transistor passant Si NON => Transistor bloqué	

Par la mesure:



Pour vérifier par la mesure la saturation d'un transistor, il suffit de mesurer sa tension V_{ce} (ou V_{ec}). Si elle est quasiment égale à 0 (et que bien sûr le montage est alimenté et correctement polarisé), le transistor est saturé. Si elle est égale à la tension d'alimentation, le transistor est bloqué. **Pour vérifier le bon fonctionnement d'un transistor utilisé en commutation, il faut impérativement vérifier la saturation et le blocage du transistor.** En effet, un transistor défectueux peut être tout le temps bloqué ou tout le temps saturé.

II.3/ Saturation d'un transistor

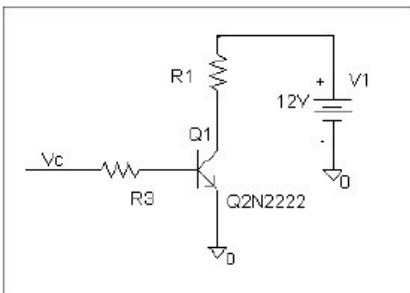
Comme énoncé à la page 2 : On dit qu'un **transistor** est **saturé** lorsque son V_{ce} est proche de 0v (dans la pratique 0,4v) et que son courant de base réel se situe dans la zone non linéaire de la courbe $I_c=f(I_b)$. Un transistor saturé est forcément passant mais l'affirmation contraire est fausse.

Cela signifie que si l'on veut être sûr de la saturation d'un transistor, il faut calculer son courant de base nécessaire ($I_{b_{nécessaire}} = I_{c_{nécessaire}}/\beta$), puis son courant de base (I_{b_r}) obtenu avec le circuit de polarisation de la base.

Si $I_{b_{nécessaire}} < I_{b_r}$ obtenu avec la polarisation du montage alors le transistor est correctement polarisé en saturation.

Retour à l'exemple de Q1 $V_{ce_{sat}}=0,4V$; $V_{be_{sat}}=0,7V$; $\beta=100$ $R1=330\Omega$ $R3=10k\Omega$, $V_c=12V$

Etape	Méthode	Exemple
1	On calcule $I_{c_{nécessaire}}$	$I_c = (\text{_____}) / R1$ $I_c = 35mA$
2	On calcule $I_{b_{nécessaire}}$ avec $V_c=12V$ à partir de $I_{c_{nécessaire}}$ et de β	$I_{b_{nécessaire}} = I_{c_{nécessaire}} / \text{_____}$ $I_{b_{nécessaire}} = 350\mu A$
3	On calcule I_{b_r} à partir des éléments du montage	$I_{b_r} = (\text{_____}) / R3$ $I_{b_r} = 1,13mA$
4	On compare les deux valeurs de I_b	$I_{b_r} \text{ _____ } I_{b_{nécessaire}}$ le transistor est saturé



II.4/ Puissance dissipée par un transistor en commutation



Sachant que la puissance dissipée par un transistor est égale à $P = V_{ce} \cdot I_c$ donner la puissance dissipée lorsque :

- le transistor est bloqué : $P = \text{_____}$
- le transistor est saturé : $P = \text{_____}$

Conclusions :

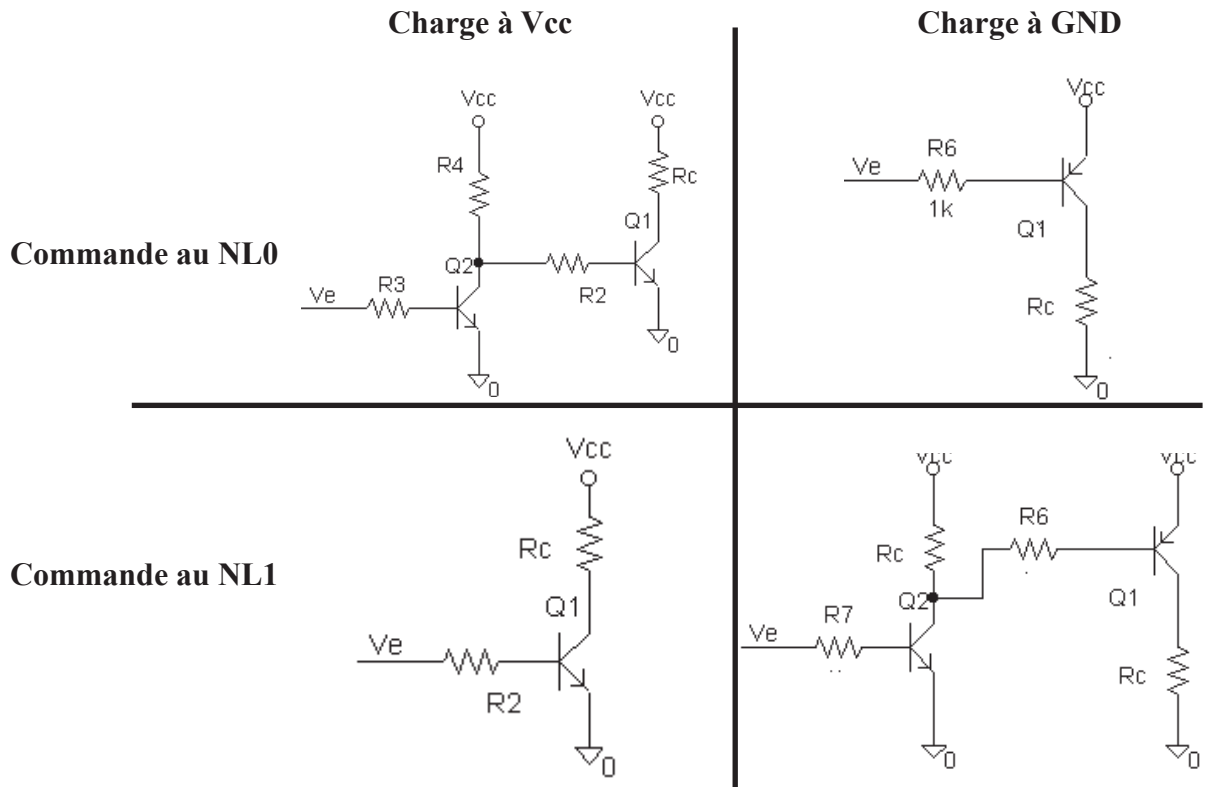
A fréquence de commutation très faible, la puissance dissipée par un transistor en commutation est quasiment égale à _____.

Plus la fréquence de commutation est importante et plus la puissance de dissipation moyenne du transistor est importante.

II.5/ Calcul de la polarisation d'un transistor en commutation

Le transistor en commutation est utilisé pour résoudre un problème. Ce dernier doit donc être parfaitement établi.

Le choix du type de transistor se fait en fonction de la charge et de la commande. Le tableau ci-dessous résume les situations simples.

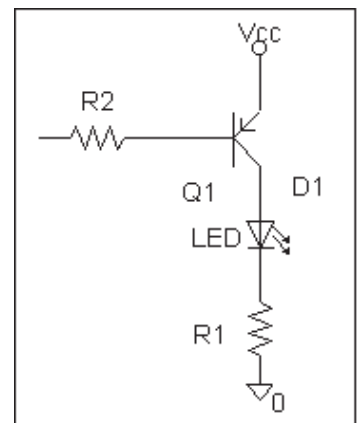


Calcul de la polarisation

Supposons que l'on souhaite commander une LED avec le schéma ci-contre

$V_{cc}=12V; V_F=1,5V; I_{Fnom}=20mA$

Etape	Méthode	Exemple
1	Choisir un transistor capable de fournir le courant nécessaire sous la tension nominale	Q doit supporter 12V et 20mA: 2N2907 avec $\beta_{min}=100$
2	Si besoin on polarise les autres composants	$R1=(12-V_{ce}-V_f)/I_f$
3	On calcule le courant de base nécessaire avec $I_b=I_c/\beta$	$I_b=200\mu A$
4	On applique un coefficient de sursaturation	$I_{b2}=I_b \cdot 5=1mA$
5	On calcule la résistance de polarisation du transistor	$R2=(V_{cc}-V_{be})/I_{b2}$ $R2=11300\Omega$
6	On prend une valeur normalisée inférieure pour garantir la saturation	$R2=10K\Omega$



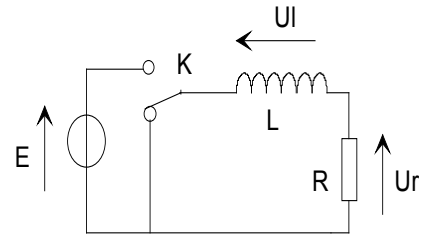
Dans les documents constructeur le **coefficient d'amplification en courant** β est souvent donné en deux valeurs : la **valeur maximale** et la **valeur minimale garantie**. Cela s'explique par le fait que dans un même lot de transistors les caractéristiques peuvent légèrement changer.

Définition : Coefficient de sursaturation : C'est un coefficient de sécurité qui assure de manière certaine la saturation du transistor. Il correspond au rapport entre le courant de base que l'on souhaite avoir et le courant de base minimum nécessaire au fonctionnement. Ce coefficient est pris en général entre 3 et 10

III/ RÔLE D'UNE DIODE DE ROUE LIBRE

III.1/ Rappels :

Une inductance s'oppose à une variation brutale du courant en son sein. Elle est capable de stocker des charges électriques qu'elle restitue lorsqu'aucune source ne lui impose un courant. Elle se comporte alors en générateur dont la tension aux bornes est :



$$U_L = -L \cdot di/dt$$

où **di** est la variation du courant qu'elle subit et **dt** le temps s'écoulant entre cette variation.

Plus la rupture de courant est importante et plus la tension aux bornes de l'inductance est importante.

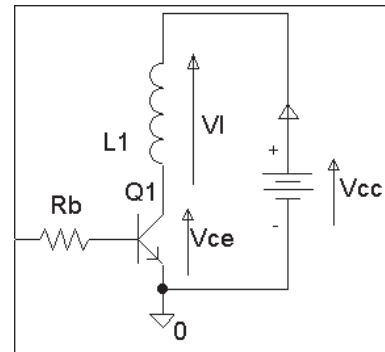
III.2/ Commutation sur charge selfique - Diode de roue libre

Supposons la commutation sur une charge L1. Lors du blocage du transistor, la tension VI prend la valeur $VI = -Ldi/dt$.

Or d'après la loi des mailles :

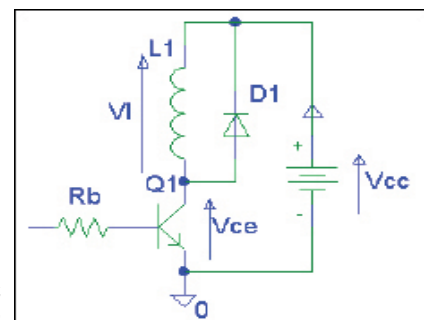
$$V_{ce} = V_{cc} - VI \text{ soit } V_{ce} = V_{cc} + Ldi/dt$$

Comme **dt** est faible, une surtension importante apparaît aux bornes du transistor. Celle ci peut entraîner sa destruction.



Pour éviter cette dégradation, on place aux bornes de la charge ou du transistor une diode de protection. On l'appelle **DIODE DE ROUE LIBRE**

- Lorsque le transistor est saturé : la diode est branchée en inverse et ne perturbe pas le montage
- Lorsque le transistor se bloque : la tension négative en VI rend la diode passante permettant ainsi l'évacuation des charges emmagasinées. VI est limitée à la tension de seuil de la diode, donc Vce est limité à $V_{cc} + V_F$



A chaque fois que l'on commande un circuit inductif (inductance, relais, transformateur, moteur, etc...) avec un transistor il est nécessaire de placer en parallèle avec celui-ci une **DIODE** dite **DE ROUE LIBRE** permettant l'écoulement des charges stockées dans l'inductance lors du blocage du transistor et empêchant la destruction de ce dernier.