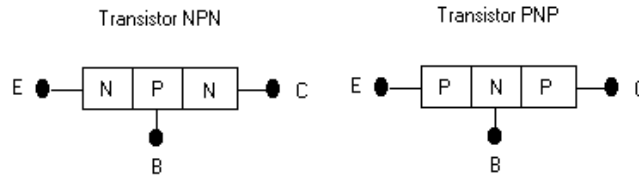


Amplification de courant dans un transistor bipolaire

I. Structure simplifiée du transistor bipolaire.

Un transistor bipolaire est constitué de trois zones semi-conductrices séparées par deux jonctions (succession NPN ou PNP).



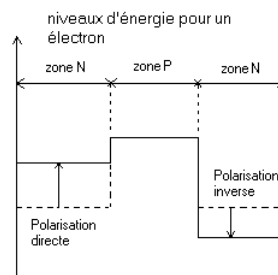
Le composant obtenu est donc un tripôle. La borne E est reliée à une zone semi-conductrice appelée **émetteur**, la borne B à une zone appelée **base** et la borne C à une zone appelée collecteur.

Rq : pour des raisons technologiques, les zones ne sont pas dopées avec les mêmes concentrations et n'ont pas la même taille.

I.1. Cas du transistor NPN.

Si on polarise la jonction E-B en direct ($V_{BE} > 0$), nous allons abaisser la barrière de potentiel que doivent franchir les électrons de l'émetteur. Nous allons donc faciliter leur passage dans la base, dans laquelle, ils vont se retrouver en excès (porteurs minoritaires).

Si, dans un même temps, on polarise la jonction B-C en inverse ($V_{CB} > 0$), les électrons en excès dans la base vont pouvoir passer plus facilement dans le collecteur.

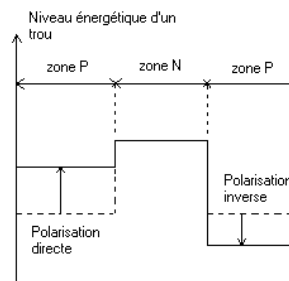


Néanmoins, une discussion sur la largeur de la base s'impose. En effet, dans le cas d'une base très large, nombre d'électrons provenant de l'émetteur risquent de se recombiner avant d'avoir pu passer dans le collecteur. Dans la pratique, la base sera donc suffisamment étroite pour que le nombre d'électrons qui se recombinent ne soit pas trop important. Il existera toujours des cas de recombinaison. Pour maintenir la densité de trou dans la base, il sera donc nécessaire d'injecter un courant I_B pour les compenser.

I.2. Cas du transistor PNP.

Si on polarise la jonction E-B en direct ($V_{BE} < 0$), nous allons abaisser la barrière de potentiel que doivent franchir les trous de l'émetteur. Nous allons donc faciliter leur passage dans la base, dans laquelle ils vont se retrouver en excès (porteurs minoritaires).

Si, dans un même temps, on polarise la jonction B-C en inverse ($V_{CB} < 0$), les trous en excès dans la base vont pouvoir passer plus facilement dans le collecteur.



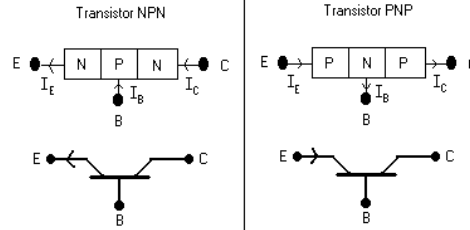
Cette fois encore, des trous provenant de l'émetteur risquent de se recombiner avant d'avoir pu passer dans le collecteur, d'où la nécessité d'une base étroite.

Comme il existera toujours des cas de recombinaisons, il sera nécessaire d'extraire un courant I_B pour les compenser.

II. Symboles et caractéristiques des transistors bipolaires.

II. 1. Symboles.

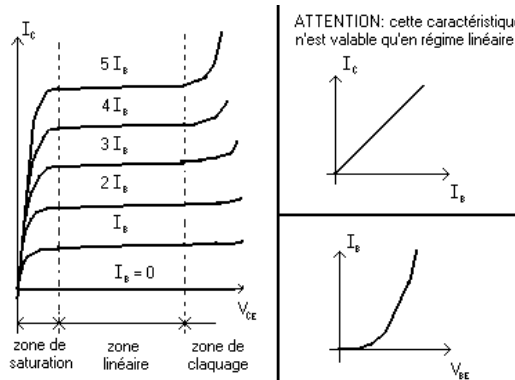
Nous venons de voir que le sens de circulation des courants, et les signes des tensions de polarisation étaient opposés suivant que l'on considère un transistor NPN ou un PNP. Sur la figure suivante, on rappelle la structure schématique du transistor avant de donner son symbole juste en dessous.



II.2. Caractéristique du transistor NPN.

La caractéristique principale du transistor bipolaire donne l'évolution du courant de collecteur I_C en fonction de la tension qui existe entre le collecteur et l'émetteur (V_{CE}). On présente en général un réseau de caractéristiques $I_C(V_{CE})$ pour plusieurs valeurs de I_B . V_{CE} est forcément positif, compte tenu de la polarisation des deux jonctions.

Suivant les valeurs de V_{CE} imposées au composant, nous allons distinguer plusieurs zones de fonctionnement sur le réseau de courbes $I_C(V_{CE})$.



❖ Caractéristique $I_C(V_{CE})$

- Pour V_{CE} proche de 0 (pratiquement, pour $0 < V_{CE} < 0,4$ V), on dit que **le transistor est saturé**. Ce régime de fonctionnement est utilisé quand on fait fonctionner le transistor en commutation (comme interrupteur commandé). C'est le cas dans certains convertisseurs de puissance en électrotechnique (comme dans un hacheur, par exemple). Mais en électronique, ce mode est peu utilisé.

- Pour V_{CE} très élevé, on risque de claquer le composant (zone de claquage). Cette zone n'a aucun intérêt pratique. On doit seulement veiller à ne pas mettre le composant dans cette situation.

- Pour V_{CE} compris entre ces deux zones, le transistor est dit en **régime linéaire**. C'est là que l'on fait travailler le transistor en amplificateur (cas le plus fréquemment rencontré en électronique).

Dans cette zone, le courant de collecteur est de la forme suivante:

$$I_C = \beta \cdot I_B + \frac{V_{CE}}{\rho}$$

Le deuxième terme indique que le courant de collecteur augmente avec V_{CE} . Cette croissance est appelée effet Early. Quand V_{CE} augmente, sachant que V_{BE} évolue peu (restant voisin de 0,6 V en général), on a également une augmentation de V_{CB} . La jonction base-collecteur est donc de plus en plus fortement polarisée en inverse, ce qui entraîne un élargissement de la zone de charge d'espace, notamment du côté de la base, ce qui rend cette dernière plus étroite. Le nombre d'électrons venant de l'émetteur qui vont se recombiner va alors décroître et le courant de collecteur va augmenter. En général, l'effet Early peut être négligé en première approximation.

Le premier terme est prépondérant. C'est lui qui permet de dire que le composant représente un amplificateur de courant. En effet, en général, β est de l'ordre de 100. Au moyen d'un courant I_B modeste, on peut donc contrôler un courant I_C beaucoup plus important. La loi entre les deux courants est alors à peu près linéaire (Cf figure précédente).

Il faut noter que pour fabriquer un transistor de gain en courant le plus élevé possible, on a intérêt à limiter le nombre de recombinaisons dans la base (soit augmenter la durée de vie des porteurs dans cette dernière, soit la

concevoir la plus étroite possible). Suivant la structure du transistor, la valeur de β peut donc beaucoup varier, c'est pourquoi nous n'avons donné qu'un ordre de grandeur.

✱ La courbe donnant $I_B(V_{BE})$ est celle d'une diode à jonction semi-conductrice polarisée en direct. Lorsque le courant I_B est différent de 0, c'est que V_{BE} est voisin de 0,6 V (pour les transistors de faible puissance).

II.3. Caractéristique du transistor PNP.

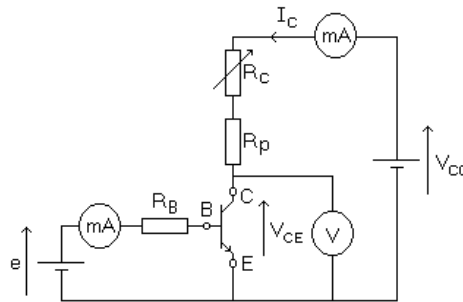
On obtient les mêmes caractéristiques, mais cette fois les courants sont dans le sens inverse, et on remplace V_{CE} par V_{EC} et V_{BE} par V_{EB} .

Dans la pratique, il faut noter qu'il est plus délicat de fabriquer des transistors PNP ayant des gains en courant β élevés que des transistors NPN équivalents.

II.4. Exemple de relevé du gain en courant β d'un transistor bipolaire.

Pour relever les caractéristiques d'un transistor, il existe des appareils qui donnent directement les résultats. Nous n'en disposons pas. Nous allons donc réaliser un circuit qui permet d'obtenir différents points de fonctionnement et donc les caractéristiques statiques du système. Nous travaillerons en continu. Dans ce cas les limitations dynamiques du composant n'apparaissent évidemment pas.

II.4.1. Le schéma du circuit (le transistor utilisé est de type NPN et c'est un 2N1711):



- R_p est une résistance qui permet de fixer le courant de base (on peut essayer plusieurs valeurs prises entre 47 k Ω et 220 k Ω pour travailler avec plusieurs valeurs de I_B).
- R_c est une résistance (obtenue par la mise en série de trois potentiomètres de 470 Ω , 1k Ω et 20k Ω afin d'avoir une bonne sensibilité de réglage). Elle permet de contrôler le courant I_c . R_p est une résistance de 220 Ω de protection qui permet de limiter le courant maximum quand R_c devient faible.
- E sera prise égale à 10V environ. $V_{cc} = 15V$

II.4.2. Analyse de l'expérience.

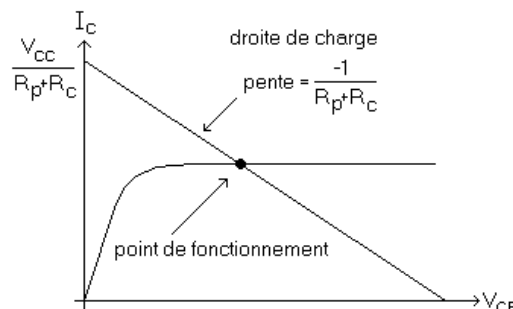
En terme d'équations, on a

$$e = V_{BE} + R_B \cdot I_B \quad \text{soit} \quad I_B = \frac{e - V_{BE}}{R_B} \approx \frac{e}{R_B} \quad (\text{si } e = 10V \text{ sachant que } V_{BE} < 0,8V)$$

On a également

$$V_{CE} = V_{cc} - (R_p + R_c) \cdot I_C$$

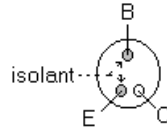
• Avec ce circuit, on devra faire en sorte de caractériser le transistor dans la zone d'amplification linéaire (sinon β n'est plus une constante et le composant perd tout intérêt en tant qu'amplificateur). Pour cela, on fera en sorte d'avoir $V_{ce} > 0,4 V$, ce qui est possible en jouant sur R_c . Si on raisonne dans le plan $I_c(V_{CE})$, le point de fonctionnement est défini par l'intersection entre la caractéristique du transistor et la droite de charge (fixée par les éléments extérieurs, résistances et alimentation V_{cc}).



- Pour faire varier I_B , on modifie R_B (en changeant tout simplement la résistance). Dans ce cas, on décale la caractéristique du transistor comme cela a été indiqué au paragraphe II.2.

II.4.3. Travail expérimental.

- Brochage du transistor : le composant comporte trois pattes, dont l'une est électriquement reliée à la carcasse métallique. Cette dernière est le collecteur. Une fois cette patte identifiée, en regardant le composant du dessous, on identifie les pattes de la façon suivante :



- Réalisation du circuit et mesures:

- Aller chercher dans la notice du 2N1711 le courant I_C maximal supporté par le transistor (sans radiateur). En déduire une valeur cohérente de R_p qui protège le transistor quand R_c tend vers 0.
- Réaliser le circuit. Placer R_c à sa valeur maximale (il s'agit de trois potentiomètres en série).
- Fixer une valeur de R_B (et donc I_B) et faire décroître R_c . Alors I_C croît progressivement, tout comme V_{CE} . Relever plusieurs points de fonctionnement (V_{CE} , I_C) en gardant I_B constant. Faire apparaître la zone linéaire du transistor. Que vaut alors V_{BE} ?
- Reprendre cette expérience pour plusieurs valeurs de I_B (changer R_B). Tracer alors $I_C(\text{linéaire}) = f(I_B)$ et en déduire β .
- Relever la caractéristique $I_B = g(V_{BE})$ en allant jusqu'à des résistances R_B les plus grandes possibles afin d'atteindre des courant I_B assez faibles. Quel type de caractéristique retrouve-t-on ?