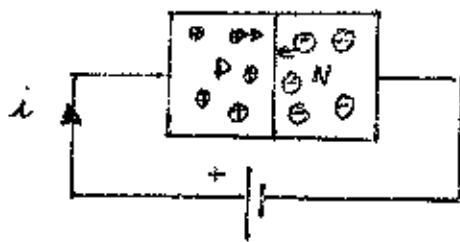


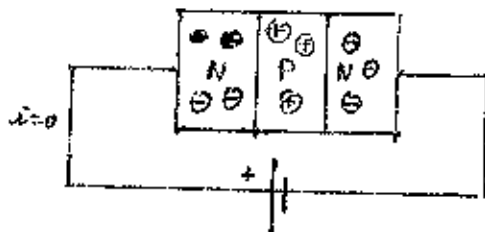
le transistor

On a vu précédemment que des cristaux de silicium, par exemple, pouvaient être "dopés" positivement (= comporter des charges positives libres = les trous appelés aussi parfois "lacunes") ou dopés négativement (= comporter des charges négatives libres = les électrons)

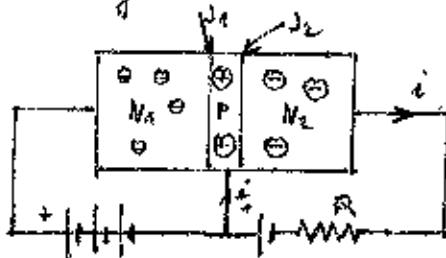
La juxtaposition de cristaux dopés P et dopés N constitue une diode à jonction qui ne laisse passer le courant que dans le sens P vers N



Si on associe trois cristaux dopés respectivement N, P, N et qu'on applique une tension aux extrémités N, il ne passe pas de courant car on a l'équivalent de deux diodes montées en opposition



Réalisons alors le montage suivant. Je désigne la jonction N_1P et J_1 la jonction PN_2



la jonction J_1 ne laisse pas passer de courant car N_1 est relié au +, par contre la jonction J_2 conduit (N_2 est relié au -) la résistance R limite la valeur de i pour ne pas détruire

la jonction J_2

Dans la zone P au voisinage de J_2 les trous sont en partie "bouchés" par les électrons venant de N_2 , mais dans la zone P au voisinage de J_1 il reste encore des trous qui ont d'ailleurs tendance à s'éloigner de J_1 comme les électrons de N_1 si bien que la jonction J_1 est bloquée.

Si la zone P est très mince, même extrêmement mince, presque tous les trous de P seront bouchés si bien que cette zone P sera pour ainsi dire neutralisée et les électrons venant de N_2 attirés par N_2 relié au +, pourront traverser la zone P sans se faire capturer par des trous de la zone P.

Il y aura donc un mouvement d'électrons de N_2 vers N_1 donc un courant électrique de N_1 vers N_2 .

Ce courant sera d'autant plus important que beaucoup de trous de P auront été "bouchés" c'est à dire qu'on aura fait passer un courant dans le transistor.

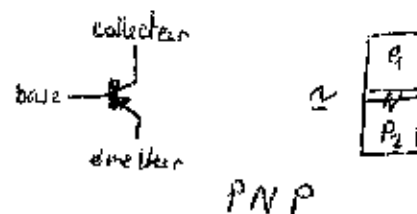
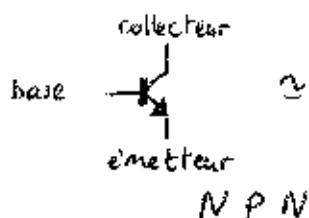
Le phénomène est appelé effet transistor.

Ce qu'on vient d'expliquer avec l'association de cristaux N-P-N, fonctionne aussi avec des cristaux P-N-P; il suffit d'inverser les polarités.

Dans le premier cas on a un transistor dit NPN

dans l'autre cas " " " " PNP

Schématiquement on représente les transistors comme suit



les électrodes sont appelées respectivement collecteur, base et émetteur.

la base c'est la zone P (ou N) : au milieu du "sandwich" $N_1 P N_2$ (ou $P_1 N P_2$)
Théoriquement les zones $N_1 N_2$ (ou $P_1 P_2$) aux extrémités sont identiques mais en fait par fabrication la zone N_2 (ou P_2) est très petite par rapport à N_1 (ou P_1) c'est l'émetteur.

L'effet transistor est très marqué quand on fait circuler le courant de commande entre base et émetteur qui entraîne l'apparition d'un courant plus important en collecteur et émetteur.

La base est l'électrode de commande comme la grille d'une triode.

Dans la pratique les transistors se présentent encapsulés dans différents boîtiers dont la forme et les dimensions dépendent



de la puissance du transistor

le repérage des broches dépend du type de boîtier

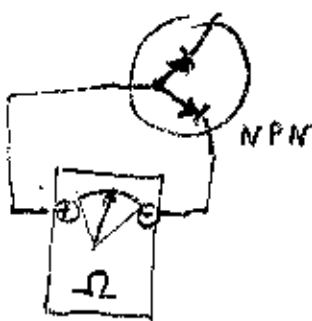
Pour les petits transistor en boîtier métallique l'ergot indique l'émetteur et ensuite nous avons la base puis le collecteur (en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre



vu côté fils

Pour repérer le branchement d'un transistor inconnu, il suffit d'un ohmmètre (appareil pour mesurer les résistances)

On mesure successivement la résistance entre deux "pattes" avec l'ohmmètre (à galvanomètre) sur le calibre $\Omega \times 100$. Il y a 6 possibilités compte-tenus des polarités différentes des cordons de de l'ohmmètre. Très rapidement on repérera les deux cas où la résistance n'est pas infinie : c'est lorsqu'on mesure dans le bon sens la résistance de la jonction base émetteur ou base collecteur



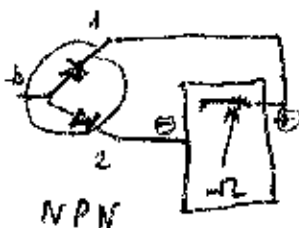
NPN



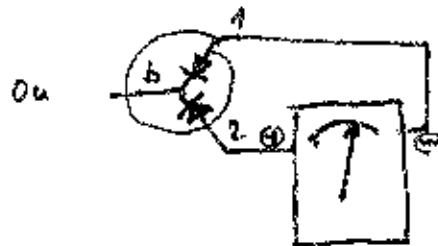
PNP

L'électrode commune aux deux cas où le courant passe est la base et la polarité des cordons indique le sens de la jonction donc s'il s'agit d'un transistor NPN ou d'un PNP

Pour différencier le collecteur de l'émetteur il faut utiliser l'effet transistor en réalisant le montage suivant

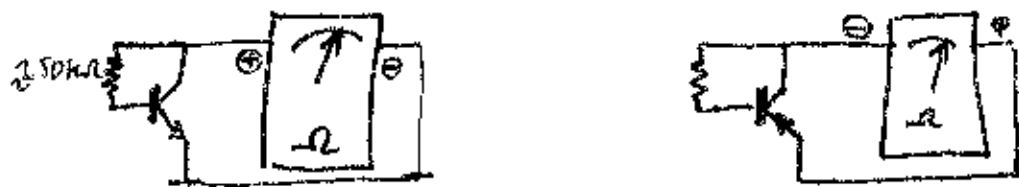


NPN



ou

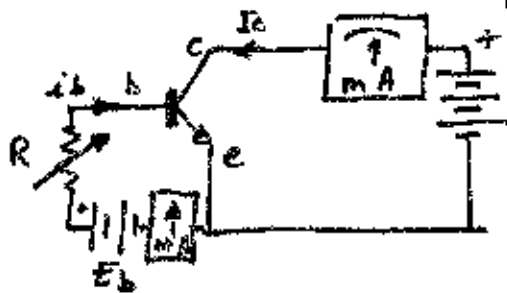
Dans un premier temps la résistance mesurée est pratiquement infinie (2 diodes en opposition) mais si on fait passer un courant dans la jonction base-électrode 2 en reliant l'électrode 1 à la base par une résistance de l'ordre de $50\text{ k}\Omega$ (= en court-circuitant 1 et base avec vos doigts mouillés) si 1 est le collecteur et 2 l'émetteur la résistance mesurée entre 1 et 2 sera faible. Si ce n'est pas le cas inverser 1 et 2. Le cas où la résistance en 1 et 2 est la plus faible indique que 1 est le collecteur et 2 l'émetteur.



La résistance collecteur-émetteur est faible (il passe un courant entre collecteur et émetteur parce le courant de base entre base et émetteur "débloque" le transistor).

Caractéristiques des transistors

Réalisons le montage suivant



la jonction base-émetteur est soumise à une tension dans le sens passant (sens de la flèche).

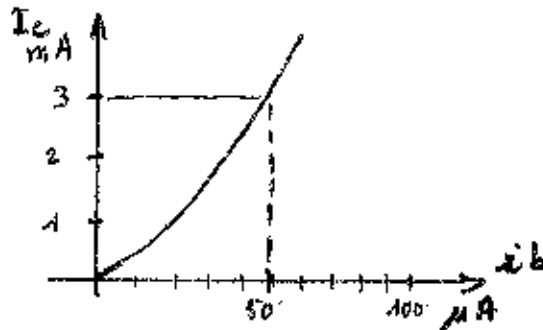
Il passe donc un courant dit courant de base. La valeur

du courant de base dépend de la valeur de la résistance variable R en série et de la fem du générateur E_b .

Ce courant de base I_b vaut d'ailleurs $I_b = \frac{E_b - 0,6\text{V}}{R}$ ($0,6\text{V}$ c'est la tension aux bornes de la jonction base-émetteur si le transistor est au silicium).

Le montage permet de faire varier le courant de base le milliampermètre en série dans le collecteur mesure le courant du collecteur. Celui dans le circuit de base mesure le courant de base.

Si on représente sur un graphique la valeur du courant de collecteur en fonction de la valeur du courant de base on obtient la courbe à l'allure suivante :



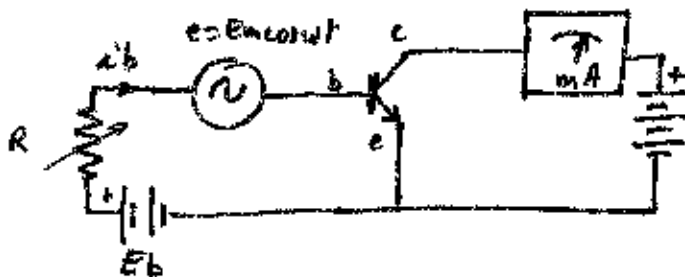
la courbe est à peu près rectiligne. Sa pente est appelée le gain en courant et on le note : β (lettre grecque bêta)

$$\beta = \frac{I_c}{I_b} \quad \text{dans l'exemple précédent } \beta = \frac{3 \text{ mA}}{50 \mu A} = 60$$

le gain en courant d'un transistor dépend du type de transistor généralement compris entre 10 et 500 voire 1000.

Utilisation du transistor en amplification

Si on réalise le montage suivant dans lequel on intercale un générateur de courant alternatif sinusoïdal en série dans le circuit de base et de valeur $e = E_m \cos \omega t$

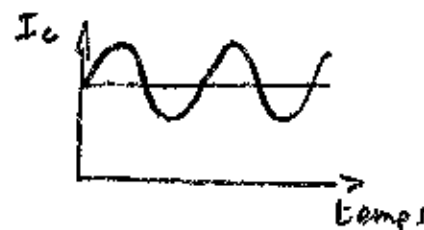
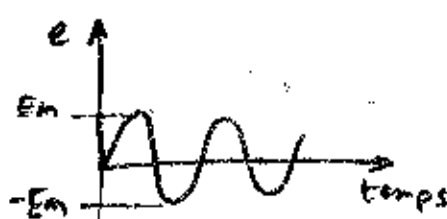


le courant de base sera :

$$i_b = \frac{E_b + E_m \cos \omega t - 0,6}{R}$$

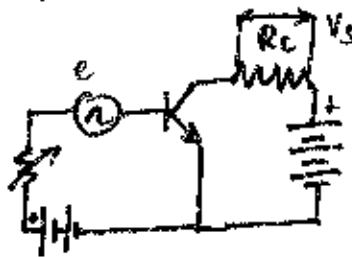
le courant de collecteur sera $I_c = \beta i_b = \beta \frac{E_b + E_m \cos \omega t - 0,6}{R}$

donc variera au rythme de la tension de la tension alternative en série dans le circuit de base



Si on intercale une résistance de charge R_c dans le circuit de collecteur les variations de courant de collecteur feront apparaître une variation de tension aux bornes de la résistance de charge.

Finalement on obtient une tension aux bornes de la résistance de charge R_c qui varie au rythme de la source de tension alternative en série dans la base.



$$V_s = R_c I_c$$

Tout comme avec les triodes on peut avec les transistor "recopier" (donc amplifier) des tensions variables.

De même qu'avec les triodes on peut amplifier sélectivement des tensions avec des transistors en intercalant un circuit oscillant par exemple dans le collecteur.

Polarisation d'un transistor

Pour obtenir une amplification fidèle (linéaire) il faut qu'en repos (en l'absence de tension alternative dans la base) on ait un courant de collecteur tel, que quand la tension variable dans la base devient négative, le transistor ne se bloque pas, ce qui conduirait à une amplification déformée : les alternances négatives n'étant pas amplifiées totalement.

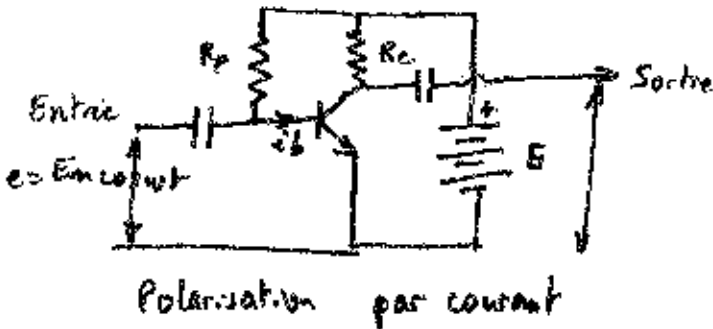


exemple de polarisation insuffisante
(courant de base trop faible)

le transistor ne conduit plus pendant les crêtes d'alternances négatives appliquées à la base.

Systèmes de polarisation

Un des systèmes les plus employés pour polariser un transistor en n'utilisant qu'une seule source de tension est le suivant :



la résistance de polarisation R_p est choisie pour obtenir le courant de base souhaité :

$$i_b = \frac{E - 0,6}{R_p}$$

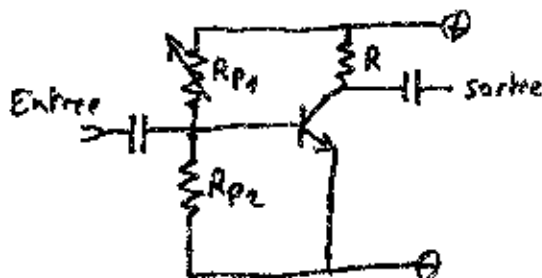
le courant de collecteur est alors $\beta \cdot i_b$

la tension alternative sinusoïdale qu'on veut amplifier est appliquée sur la base par l'intermédiaire d'un condensateur (qui ne laisse passer que le courant alternatif).

la tension amplifiée est recueillie sur la résistance de charge dans le collecteur. le condensateur permet de n'avoir que la composante alternative de la tension de sortie (le condensateur ne laisse pas passer le courant continu).

Finalement le transistor amplifie les tensions variables appliquées entre base et émetteur.

On peut aussi polariser le transistor en fixant la tension de base à une valeur légèrement supérieure à 0,6 V qui entraîne un courant de base d'où un courant de collecteur.

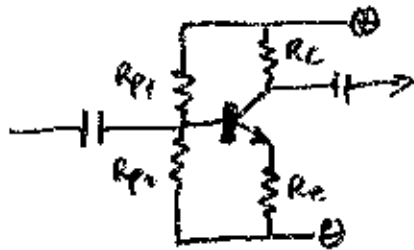


le pont diviseur $R_{p1} - R_{p2}$ est calculé pour avoir un peu plus de 0,6 sur la base. le montage est très instable car même avec une résistance R_{p1} du pont diviseur variable il est très

difficile d'ajuster i_b à la valeur voulue car il faut rappeler que la jonction base émetteur est une diode

dont la résistance diminue très rapidement dès que le courant augmente. A la moindre élévation de température la tension de seuil de la jonction base-émetteur diminue (résistance de la diode diminue) donc le courant de base augmente et la résistance diminue entraînant un courant de base trop important, donc un courant de collecteur trop important qui provoque l'échauffement du transistor jusqu'à sa destruction.

Le remède à ce phénomène "d'emballement" thermique est d'ajouter une résistance dans l'émetteur.



En effet si le courant de collecteur augmente celui d'émetteur aussi (c'est au courant de base près le même)

donc apparaît une chute de tension aux

bornes de R_e . La tension entre base et émetteur (qui provoque le courant de base) diminue, donc le courant de base diminue et le courant de collecteur aussi. Tout "rentre dans l'ordre" la résistance R_e a un effet dit de contre-réaction. Elle limite le courant du collecteur.

Transistor saturé - transistor bloqué



Dans le montage ci-contre si R_p est suffisamment faible i_b sera grand et I_c aussi théoriquement mais la tension aux bornes du collecteur va chuter terriblement à cause de R_c et ne sera plus que de 0,5 à 2V selon le type de transistor. le transistor est alors saturé.



Si par contre on relie la base à l'émetteur la tension base-émetteur étant nulle (inférieure à 0,6V) le transistor est alors bloqué : le courant de collecteur est nul.

Avec ces montages on peut réaliser ainsi des interrupteurs électroniques.