

POLARISATION DU TRANSISTOR NPN

POLARISATION DU TRANSISTOR BIPOLAIRE NPN

1) DROITE DE CHARGE ET POINT DE FONCTIONNEMENT DU TRANSISTOR

On considère le montage de la figure 1 qui utilise un transistor NPN au silicium de type 2N1613 dont on donne les caractéristiques à 25°C . Ce transistor est alimenté par une tension continue V_{CC} égale à 15 V avec dans le collecteur $R_C = 820 \ \Omega$ et dans l'émetteur une résistance $R_E = 180 \ \Omega$.

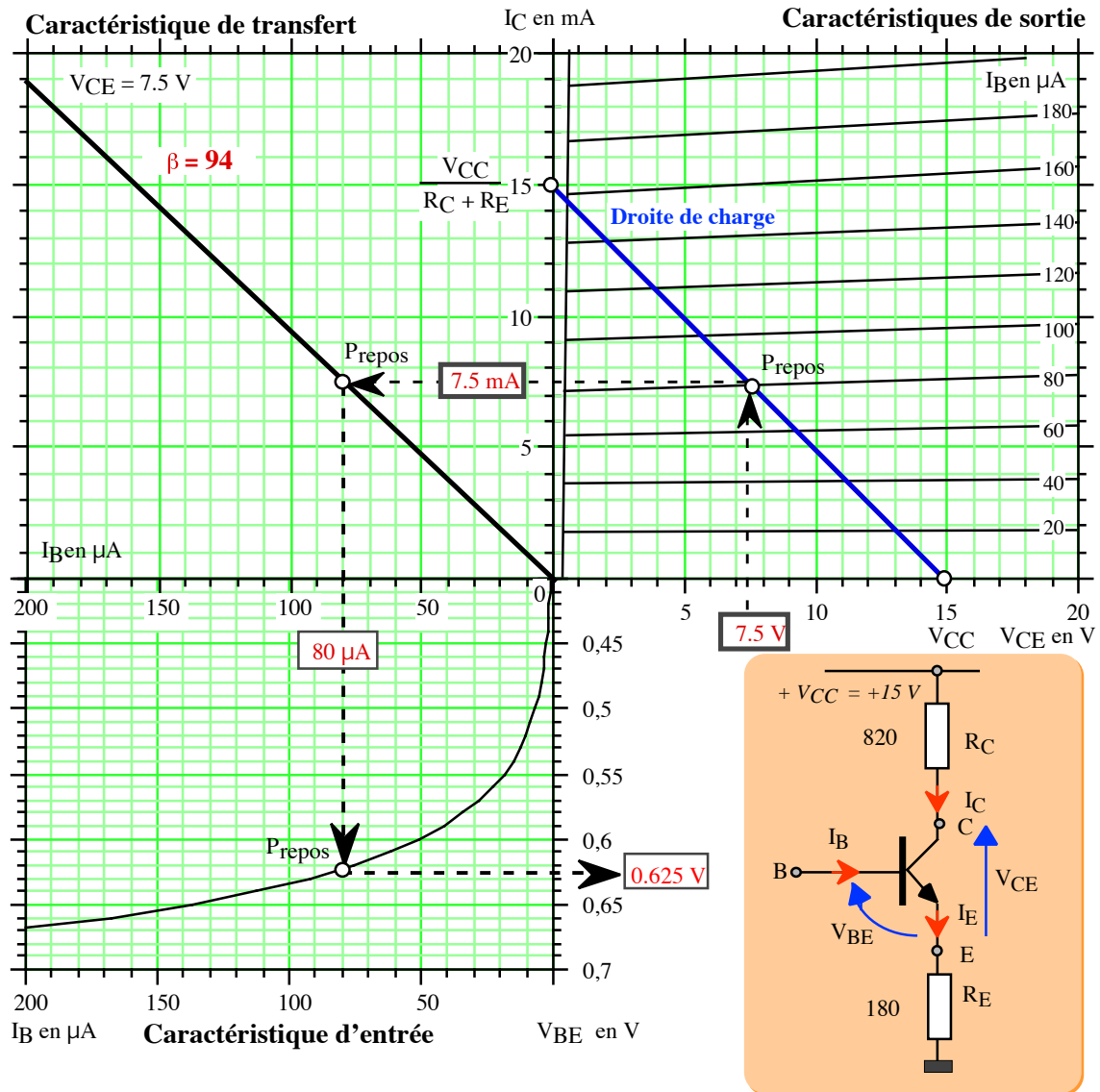


Figure 1 : caractéristiques du transistor et schéma du montage.

Le point de fonctionnement ou de repos du transistor se trouve sur la droite de charge statique du transistor. Celle-ci représente la relation entre V_{CE} et I_C pour le circuit extérieur au transistor :

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C \quad \text{avec : } I_E = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \approx I_C$$

La droite de charge est tracée dans le réseau de sortie compte-tenu des points remarquables : 15 mA (pour $V_{CE} = 0$ V) et 15V (pour $I_C = 0$ mA).

On choisit sur la droite de charge un point de repos P_{repos} tel que : $V_{CE \text{ repos}} = 7.5 \text{ V}$. Dans le réseau de caractéristiques, on en déduit :

- La **caractéristique de transfert** : $I_C = f(I_B)$ pour V_{CE} égal à **7.5 V constant** qui indique le gain en courant du transistor : $H_{FE} = \beta = I_C \text{ repos} / I_B \text{ repos} = 94$.
- La valeur des courants : $I_C \text{ repos} = 7.5 \text{ mA}$ et $I_B \text{ repos} = 80 \mu\text{A}$.
- La valeur de la tension $V_{BE \text{ repos}} = 0.625 \text{ V}$.

2) POLARISATIONS CLASSIQUES DU TRANSISTOR BIPOLAIRE NPN

Il existe deux méthodes classiques pour polariser le transistor c'est-à-dire fixer le courant $I_C \text{ repos}$.

2.1) POLARISATION EN COURANT

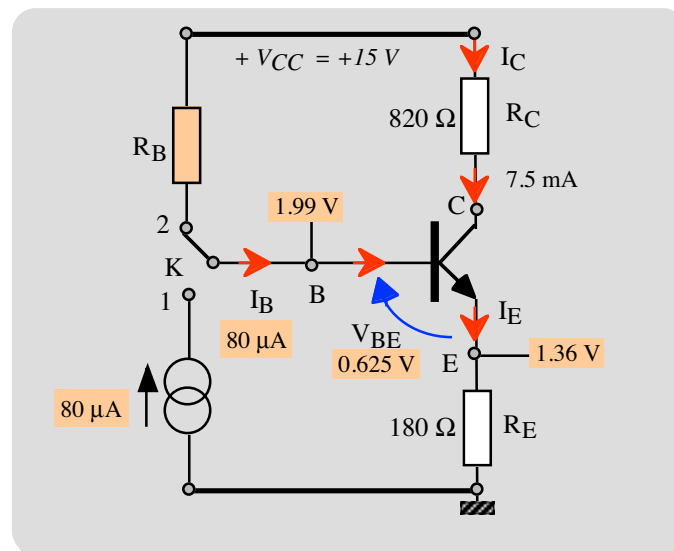


Figure 2 : polarisation « en courant »

Cette technique (figure 2 et K en 1) fait appel à un générateur de courant pour fixer $I_{B \text{ repos}} = 80 \mu\text{A}$.

La réalisation pratique de ce générateur de courant (K en 2) fait appel à la résistance R_B de valeur convenable reliant V_{CC} à la base B du transistor.

Détermination de la valeur de R_B :

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{B \text{ repos}}} = 162 \text{ k}\Omega \quad \text{soit } R_{B \text{ norm.}} = 150 \text{ k}\Omega$$

2.2) POLARISATION EN TENSION

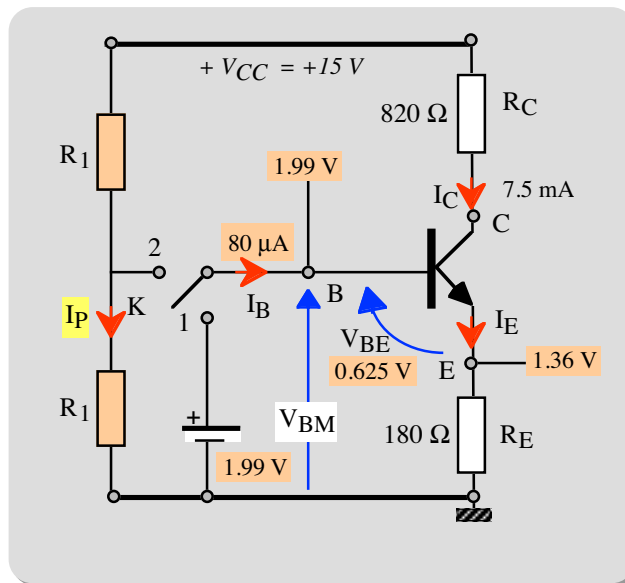


Figure 3 : polarisation « en tension »

Théoriquement, cette polarisation (figure 3) met en oeuvre un générateur de tension de 1.99 V (K en 1). La réalisation pratique de ce générateur (K en 2) s'effectue à l'aide d'un pont diviseur R_1 R_2 de la tension V_{CC} d'alimentation.

Le calcul des résistances de polarisation R_1 et R_2 est obtenu par le choix d'un courant de pont I_P tel que :

$$10 I_{B \text{ repos}} \leq I_P \leq 20 I_{B \text{ repos}}$$

En choisissant ici : $I_P = 1 \text{ mA}$ on obtient : $R_1 = \frac{V_{CC} - V_{BM}}{I_P + I_{B \text{ repos}}}$ $R_2 = \frac{V_{BM}}{I_P}$

$R_1 = 12 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1.99 \text{ k}\Omega$, valeurs normalisées : $10 \text{ k}\Omega$ et $1.8 \text{ k}\Omega$.

REMARQUE IMPORTANTE :

En pratique, pour polariser le transistor, la connaissance des réseaux de caractéristiques du transistor n'est pas nécessaire. En effet, il faut donner aux résistances de polarisation, une valeur normalisée voisine de la valeur calculée, ce qui rend inutile une valeur précise de la tension V_{BE} .

Aussi, pour déterminer une polarisation, il suffit de connaître :

- La valeur du gain en courant β du transistor bipolaire pour avoir $I_{B \text{ repos}} = \frac{I_{C \text{ repos}}}{\beta}$
- Prendre systématiquement $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$ afin de calculer la tension V_{BM} .

3) COMPARAISON DES POLARISATIONS EN COURANT ET EN TENSION VIS A VIS DES VARIATIONS DE TEMPERATURE

3.1) EFFETS DE LA TEMPERATURE SUR LE TRANSISTOR

Les caractéristiques d'un transistor sont sensibles à la température qui **modifie simultanément** :

- La caractéristique d'entrée (jonction passante) selon la loi : $\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} \approx -2.5 \text{ mV}^\circ\text{C}^{-1}$
- Le gain en courant avec : $\frac{1}{\beta} \frac{\Delta \beta}{\Delta T} = 0.6\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

Par exemple, pour une température évoluant de 25 à 125 °C, on obtient avec le transistor choisi :

Température	25°C	125°C	$\Delta T = 100^\circ\text{C}$
V_{BE} (V)	0.625	0.375	$\Delta V_{BE} = -0.25 \text{ V}$
β	94	150	$\Delta \beta = 56$

Les variations de V_{BE} et de β avec la température provoquent un déplacement important et néfaste du point de repos sur la droite de charge.

Une solution technique simple pour combattre ces effets consiste à placer une résistance R_E de valeur convenable entre l'émetteur du transistor et la masse.

3.2 COMPARAISON VIS A VIS DES VARIATIONS DE LA TEMPERATURE

Pour comparer les deux polarisations précédentes, lorsque la température évolue de 25 à 125 °C, on recherche, sur la droite de charge, la variation $\Delta I_C = I_C(125^\circ\text{C}) - I_C(25^\circ)$ du courant de repos de collecteur. La variation de courant ΔI_C , qui dépend à la fois de ΔV_{BE} et $\Delta \beta$, est obtenue en écrivant une différentielle totale :

$$dI_C = \left(\frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}\right)_{\beta ct} \cdot dV_{BE} + \left(\frac{\partial I_C}{\partial \beta}\right)_{V_{BE} ct} \cdot d\beta$$

$$\Delta I_C = S_V \cdot \Delta V_{BE} + S_\beta \cdot \Delta \beta \quad (1)$$

- S_V : coefficient de stabilité pour les variations de V_{BE}
- S_β : coefficient de stabilité pour des variations de β

Pour simplifier l'analyse, on effectue cette étude avec le schéma commun de la figure 4 qui est obtenu par application du théorème de Thévenin entre la base et la masse. Le tableau donne les résultats correspondants : E_{th} et R_{th}

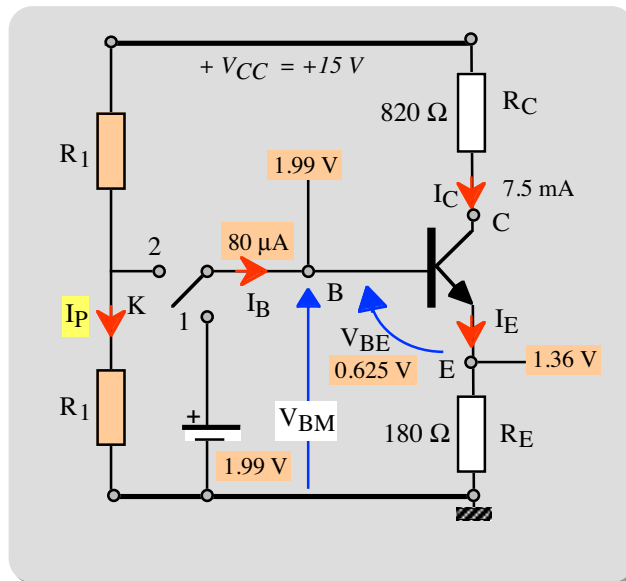


Figure 4 : schéma d'étude commune à 25 °C

	Tension E_{th}	Résistance R_{th}
Polarisation en courant	$V_{CC} = 15 \text{ V}$	$R_B = 162 \text{ k}\Omega$
Polarisation en tension	$V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 2.12 \text{ V}$	$R_1 // R_2 = 1.7 \text{ k}\Omega$

Avant d'appliquer l'équation (1), il faut déterminer l'expression du courant I_C en fonction de V_{BE} , du gain en courant β qui varie avec T et des éléments du montage. On en déduit ensuite, avec les dérivées partielles, les expressions des coefficients de stabilité S_V (en mS) et S_β (en μA) :

$$I_C = \beta \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} \quad S_V = - \frac{\beta}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} \quad S_\beta = \frac{(E_{Th} - V_{BE})(R_{Th} + R_E)}{[R_{Th} + (\beta + 1)R_E]^2}$$

Résultats de l'équation (1) pour $\Delta T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$:

	Polar en courant	Polar. en tension
$S_\beta (\mu\text{A})$	72.68	7.9
$S_V (\text{mS})$	- 0.524	-5
$\Delta I_C (\text{mA})$	4.23	1.7

Le tableau des résultats indique que la polarisation en tension assure la dérive en température la plus faible du courant de repos de collecteur. Elle sera donc choisie lorsque la plage de variation de la température du montage est importante.

4) AUTRE MODE DE POLARISATION DU TRANSISTOR BIPOLAIRE NPN

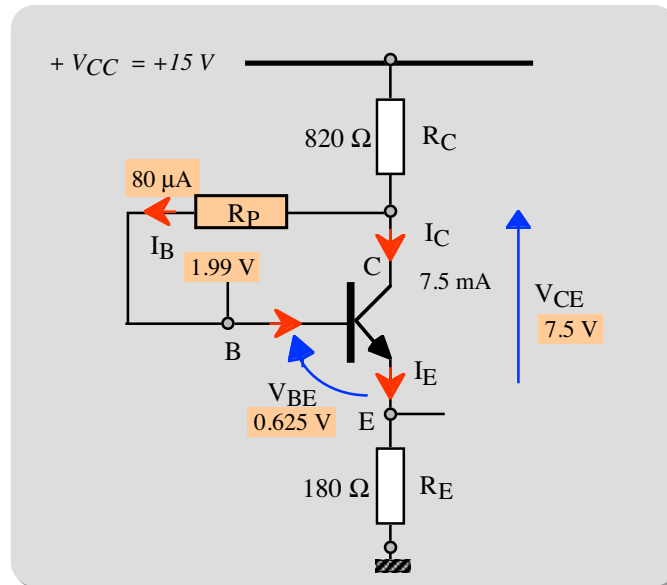


Figure 5 : polarisation « par rétroaction »

Il existe une autre possibilité de polarisation du transistor en utilisant une résistance collecteur-base R_p (figure 5) reliant la collecteur et la base du transistor. Sachant que la résistance R_p est parcourue par le courant de base :

$$R_p = \frac{V_{CE \text{ repos}} - V_{BE \text{ repos}}}{I_{B \text{ repos}}} = 85.9 \text{ k}\Omega \text{ soit } 82 \text{ k}\Omega \text{ normalisée}$$

Sachant que :

$$I_C = \frac{\beta (V_{CC} - V_{BE})}{R_p + (\beta + 1)(R_C + R_E)} \quad (2)$$

On obtient les coefficients de stabilité en température du montage :

$$S_v = -\frac{\beta}{R_p + (R_C + R_E)(\beta + 1)} \quad S_\beta = \frac{(V_{CC} - V_{BE}) \cdot (R_p + R_C + R_E)}{[R_p + (R_C + R_E)(\beta + 1)]^2}$$

À titre de comparaison avec les polarisations précédentes, pour une variation de température de 25 °C à 100° C, on obtient ici : $S_v = -5.2 \text{ mS}$ et $S_\beta = 38.2 \text{ }\mu\text{A}$ soit une dérive en température du courant de repos de collecteur : $\Delta I_C = 2.26 \text{ mA}$.

Cette polarisation est donc moins performante que la polarisation en tension. Cependant, ce montage a l'avantage de procurer une assez bonne stabilité en température (rôle de la résistance R_C dans l'équation (2)) même en l'absence de la résistance R_E , contrairement aux polarisations précédentes.

5) POLARISATION DANS LES CIRCUITS INTEGRES : MIROIR DE COURANT SIMPLE

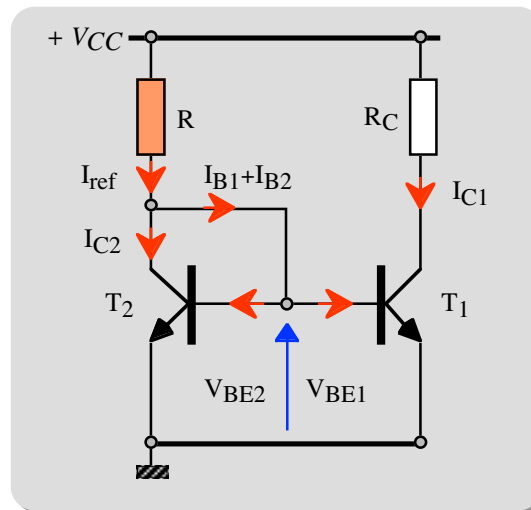


Figure 7 : montage miroir de courant simple

Les circuits intégrés offrent la possibilité de réaliser des transistors rigoureusement identiques obéissant à la loi habituelle :

$$I_C = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right) \quad (2)$$

où $U_T = 25 \text{ mV}$ à 25°C et I_{SBC} est le courant inverse de saturation de la jonction base-collecteur.

Le montage de la figure 7 est utilisé pour polariser le transistor T_1 dans un circuit intégré où les polarisations classiques ne sont pas utilisables. La polarisation de T_1 est alors assurée par T_2 (rigoureusement identique à T_1) monté en diode par un court-circuit collecteur base.

Sachant que, d'une part les tensions V_{BE1} et V_{BE2} sont égales et que d'autre part les transistors identiques sont caractérisés par un même courant I_{SBC} , on en déduit que les courants I_{C1} et I_{C2} sont aussi égaux. Dans ces conditions, on montre que :

$$I_{C1} = I_{ref} \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta}} \approx I_{ref}$$

Le courant de collecteur de T_1 recopie le courant I_{ref} d'où le nom du montage : « miroir de courant ». La stabilité en température de ce montage est excellente.