

La polarisation des transistors

Droite de charge en continu, en courant continu, statique ou en régime statique (voir : le transistor)

On peut tracer la droite de charge sur les caractéristiques de collecteur pour mieux voir le fonctionnement du transistor et voir dans quelle région il fonctionne. Soit le circuit représenté à la figure 1. La tension d'alimentation V_{CC} polarise en inverse la diode collecteur via R_B . La tension entre les bornes de R_C égale $V_{CC} - V_{CE}$. Donc, le courant qui la traverse égale :

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad (1)$$

Cette relation est l'équation de la droite de charge statique.

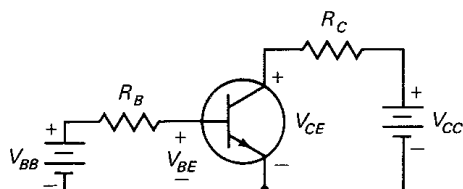


Fig. 1 – polarisation de la base

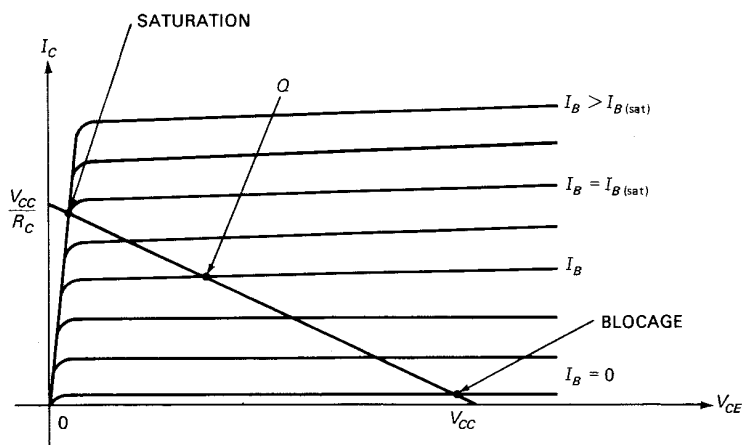


Fig. 2 – Droite de charge statique.

Exemple.

Supposons une tension d'alimentation de 10 V et que la résistance de collecteur est de 5 kΩ. Alors, l'équation de la droite de charge statique est :

$$I_C = \frac{10 - V_{CE}}{5000}$$

Pour calculer l'extrémité supérieure (ordonnée à l'origine) de la droite de charge, posons $V_{CE} = 0$. Il

vient :

$$I_C = \frac{10 - 0}{5000} = 2 \text{ mA}$$

Pour calculer l'extrémité inférieure (abscisse à l'origine) de la droite de charge, posons $I_C = 0$ et isolons V_{CE} . Il vient : $V_{CE} = 10 \text{ V}$

Pour obtenir l'ordonnée à l'origine de la droite de charge, on peut court-circuiter mentalement les bornes collecteur-émetteur du circuit représenté à la figure 5-16 a et calculer le courant collecteur résultant qui vaut V_{CC}/R_C . Pour obtenir l'abscisse à l'origine de la droite de charge, on peut ouvrir mentalement ces bornes et calculer la tension collecteur-émetteur résultante qui vaut V_{CC} .

Droite de charge statique quelconque.

De l'équation (1) on tire les deux formules : $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$ (ordonnée à l'origine) (2)

et : $V_{CE} = V_{CC}$ (abscisse à l'origine) (3)

A la figure 2 nous avons superposé la droite de charge statique sur les caractéristiques de collecteur.

L'ordonnée à l'origine (intersection avec l'axe de I_C égale V_{CC}/R_C et l'abscisse à l'origine (intersection avec l'axe de V_{CE}) égale V_{CC} . L'intersection de la droite de charge statique avec le courant base calculé est le point Q du transistor (aussi appelé le point de fonctionnement ou le point de repos). (Q vient du mot latin Quies (repos))

Polarisation des transistors bipolaires.

Un amplificateur est un dispositif qui augmente l'amplitude d'un signal et est un dispositif linéaire. Le principe consiste à appliquer un petit signal alternatif à l'entrée d'un transistor et à recueillir un plus grand signal alternatif de même fréquence. Les amplificateurs sont essentiels pour les récepteurs radio, les téléviseurs et les autres appareillages de communication.

Avant d'appliquer un signal alternatif à un transistor, il faut déterminer un point Q de fonctionnement

près du point milieu de la droite de charge statique. Le signal alternatif d'entrée produit des fluctuations au-dessus et au-dessous de ce point Q. Pour que le dispositif demeure linéaire, la diode émetteur doit rester en polarisation directe et la diode collecteur doit rester en polarisation inverse. Autrement dit, les fluctuations du courant et de la tension ne doivent pas saturer le transistor ni le bloquer.

Nous étudierons d'abord les diverses façons de polariser un transistor pour qu'il fonctionne linéairement. Pour cela, régler le point Q près du point milieu de la droite de charge statique. Ensuite, nous étudierons ce qui se passe lorsqu'on applique un signal alternatif au transistor.

Polarisation de base.

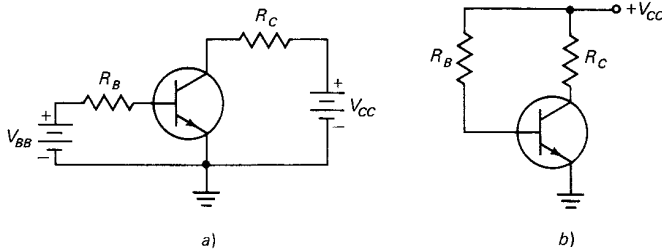


Fig. 3 - polarisation de base

La figure 3 représente un exemple de polarisation de base (aussi appelée polarisation fixe). Habituellement, l'alimentation de base est la même que l'alimentation de collecteur. Dans ce cas, on ramène les résistances de base et de collecteur à la borne positive de collecteur selon la fig. 3b.

Cette façon de polariser un transistor en fonctionnement linéaire est la pire parce qu'elle rend le point Q instable. Il faut savoir que β_{CC} peut

varier dans le rapport de 9/1 selon le courant et la température. On ne peut donc stabiliser Q en un point auquel on pourrait se fier en fabrication en série. Donc, nous n'utiliserons jamais la polarisation de base dans les circuits linéaires.

On utilise surtout la polarisation de base dans les circuits numériques. Dans ces circuits, le transistor commute entre le blocage et la saturation. Dans ce cas, on surmonte les variations de β_{CC} par la saturation dure.

Polarisation par réaction d'émetteur.

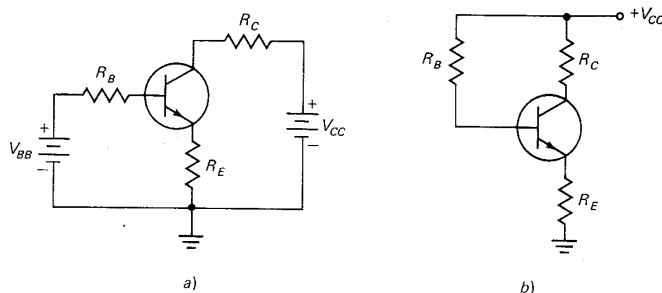


Fig. 4 - polarisation par réaction d'émetteur.

La figure 4 a représente une première tentative de compenser la variation de β_{CC} . Habituellement, les alimentations de base et de collecteur sont égales, et on dessine le schéma selon la figure 4 b. Dans les deux cas, on essaie d'utiliser la tension entre les bornes de la résistance d'émetteur pour contrebalancer la variation de β_{CC} . Si β_{CC} augmente, le courant collecteur augmente lui aussi. Cela augmente la tension d'émetteur, diminue la tension entre les bornes de la résistance de base et réduit le courant base. Cette diminution du courant base entraîne une diminution du courant collecteur, ce qui contrebalance partiellement l'augmentation initiale de β_{CC} .

Observation pratique.

La polarisation par réaction d'émetteur repose sur le courant collecteur accru qui produit une plus grande tension entre les bornes de la résistance d'émetteur, ce qui diminue le courant base et donc le courant collecteur.

Le principe semble bon, mais le transistor ne fonctionne pas très bien avec les valeurs pratiques de résistance. Pour avoir un bon rendement, la résistance d'émetteur doit être aussi grande que possible. C'est ici que le bât blesse. La résistance d'émetteur doit être relativement petite pour éviter la saturation du collecteur.

L'analyse mathématique ci-dessous le démontre.

Par « réaction » entendre qu'une grandeur de sortie (courant collecteur) fait varier une grandeur d'entrée (courant base). La résistance d'émetteur est l'élément de réaction parce qu'elle est commune aux circuits d'entrée et de sortie.

(supplément et justification pour les matheux)

Droite de charge en continu, en courant continu, statique ou en régime statique.

L'addition des tensions le long de la maille du collecteur du circuit représenté à la figure 4 b donne

$$V_{CE} + I_E R_E - V_{CC} + I_C R_C = 0$$

Comme I_E égale environ I_C , réarrangeons cette équation sous la forme :

$$I_C \cong \frac{V_{CC} - V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (4)$$

On voit maintenant que l'ordonnée à l'origine de la droite de charge représente un courant de saturation égal à $V_{CC}/(R_C + R_E)$ et l'abscisse à l'origine représente une tension de coupure égale à V_{CC} .

Effet de β_{CC} .

L'addition des tensions le long de la maille de la base donne : $V_{BE} + I_E R_E - V_{CC} + I_B R_B = 0$

Or $I_E \cong I_C$ et $I_B = I_C / \beta_{CC}$; donc l'équation ci-dessus devient :
$$I_C \cong \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_{CC}}} \quad (5)$$

On utilise la polarisation par réaction d'émetteur pour masquer la variation de β_{CC} . Pour cela, prendre la résistance R_E beaucoup plus grande que R_B / β_{CC} . Mais pratiquement, si l'on prend la résistance R_E suffisamment grande pour masquer l'effet de β_{CC} , on sature le transistor. Donc, la polarisation par réaction d'émetteur est presque aussi sensible à la variation de β_{CC} que la polarisation de base. La polarisation par réaction d'émetteur n'est donc pas la forme de polarisation préférée, aussi éviterons-nous de l'utiliser. Pour voir l'inefficacité du circuit contre la variation de β_{CC} se reporter à l'exemple ci dessous.

Saturation.

Si $R_B = \beta_{CC} R_C$, la relation (5) devient :
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + R_C}$$

Ce courant I_C est légèrement inférieur au courant de saturation $V_{CC}/(R_E + R_C)$ trouvé plus tôt. D'où la conclusion: une résistance de base légèrement inférieure à $\beta_{CC} R_C$ fait saturer un transistor polarisé par réaction d'émetteur.

Exemple.

Calculer le courant collecteur de saturation du transistor représenté à la figure 5 a et le courant collecteur pour $\beta_{CC} = 100$ et $\beta_{CC} = 300$.

Solution.

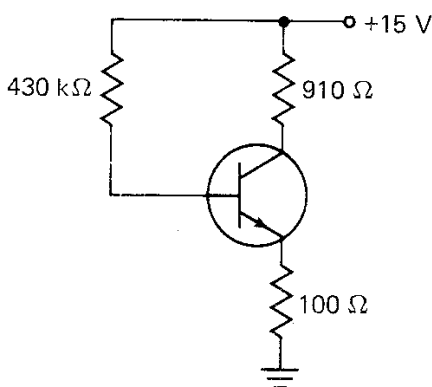
Le courant collecteur de saturation égale :
$$I_{C(sat)} = \frac{15 \text{ V}}{910 \Omega + 100 \Omega} = 14,9 \text{ mA}$$

Lorsque $\beta_{CC} = 100$, l'équation (6-2) donne :
$$I_C = \frac{15 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{100 \Omega + (430 \text{ k}\Omega / 100)} = 3,25 \text{ mA}$$

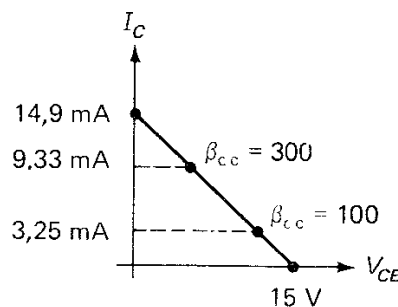
et lorsque $\beta_{CC} = 300$, elle donne :
$$I_C = \frac{15 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{100 \Omega + (430 \text{ k}\Omega / 3100)} = 9,33 \text{ mA}$$

La droite de charge statique et les deux points **Q** représentés à la figure 5 b résument les calculs.

Remarquer que la variation du simple au triple de β_{CC} produit une variation voisine du simple au triple du courant collecteur. Cette variation, est inacceptable. Le choix d'autres grandeurs pour le circuit montre que la polarisation par réaction d'émetteur reste trop sensible aux variations de β_{CC} pour devenir le circuit de polarisation préféré .



a)



b)

Fig. 5 – a) Circuit à transistor à émetteur polarisé
b) droite de charge statique et les deux points de fonctionnement

Polarisation par réaction de collecteur.

La figure 6 a représente la polarisation par réaction de collecteur (aussi appelée polarisation automatique). On ramène la résistance de base au collecteur plutôt qu'à l'alimentation, c'est ce qui diffère la polarisation par réaction de collecteur de la polarisation de base.

Réaction.

Voici comment la réaction fonctionne. Supposons que la température du circuit représenté à la figure 6 a augmente. Donc β_{CC} augmente. Cela augmente le courant collecteur et donc diminue la tension collecteur-émetteur (la chute de tension entre les bornes de R_C est plus grande). Alors la tension entre les bornes de la résistance de base diminue. Donc le courant base diminue. Le courant base plus petit contrebalance l'augmentation originale du courant collecteur. La polarisation par réaction de collecteur est donc plus avantageuse que la polarisation par réaction d'émetteur.

Droite de charge en continu, en courant continu, statique ou en régime statique.

L'addition des tensions le long de la maille du collecteur donne : $V_{CE} - V_{CC} + (I_C + I_B) R_C = 0$
 I_B étant beaucoup plus petit que le dans la région active, négligeons I_C et réarrangeons cette équation sous la

forme :

$$I_C \cong \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$

On voit immédiatement que l'ordonnée à l'origine de la droite de charge représente un courant de saturation égal à V_{CC} / R_C et l'abscisse à l'origine représente une tension de blocage égale à V_{CC} .

Effet de β_{CC}

L'addition des tensions le long de la maille de la base donne : $V_{BE} - V_{CC} + (I_C + I_B) R_C + I_B R_B = 0$
d'où :

$$V_{BE} - V_{CC} + I_C R_C + I_B R_B \cong 0$$

Or $I_B = I_C / \beta_{CC}$, d'où selon l'équation précédente : $I_C \cong \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / \beta_{CC}}$ (6)

La polarisation par réaction de collecteur est parfois plus efficace que la polarisation par réaction d'émetteur. Bien que le transistor soit encore sensible à la variation de β_{CC} , on utilise ce type de polarisation. Il offre l'avantage de la simplicité (seulement deux résistances) et d'une meilleure réponse en fréquence (étudiée plus loin). L'exemple ci dessous montre que la polarisation par réaction de collecteur surmonte efficacement la variation de β_{CC} .

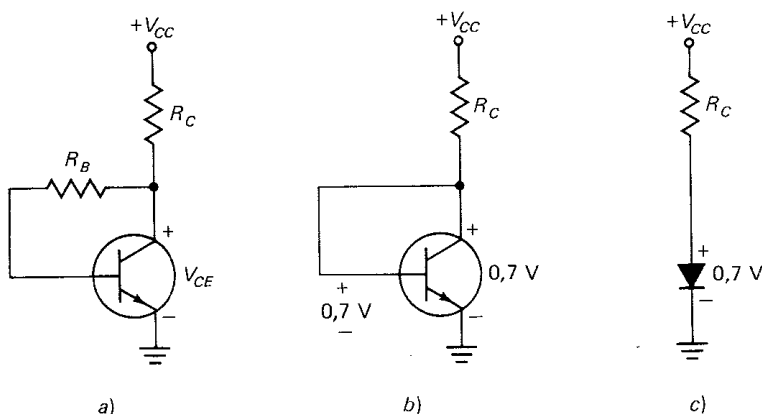


Fig. 6 – a) Circuit à transistor émetteur polarisé. B) Droite de charge statique à deux points de fonctionnement.

Le courant collecteur égale :

$$I_C \cong \frac{V_{CC} - 0,7}{R_C} \quad (7)$$

Cette valeur est légèrement inférieure à V_{CC}/R_C l'ordonnée à l'origine de la droite de charge statique: on ne peut donc saturer le transistor.

La figure 6c représente le circuit équivalent dans le cas d'une résistance de base nulle. Un transistor à base court-circuitée au collecteur se comporte comme une diode. Cette notion est importante dans les circuits intégrés. Nous verrons pourquoi.

Directive pour la conception.

Cas particulier.

L'impossibilité de saturer le transistor est un autre avantage de la polarisation par réaction de collecteur sur la polarisation d'émetteur. A mesure qu'on diminue la résistance de base, le point de fonctionnement se déplace vers le point de saturation sur la droite de charge statique, mais il ne l'atteint jamais, si petite que soit la résistance de base.

La résistance de base du circuit de polarisation par réaction de collecteur représenté à la figure 6 est nulle.

Remarquer que V_{CE} ne peut être inférieure à 0,7 V, la chute de tension entre les bornes base-émetteur.

Dans cet ouvrage, nous réglons habituellement le point Q près du point milieu de la droite de charge statique. Dans le cas de la polarisation par réaction de collecteur, il faut que : $R_B = \beta_{CC} R_C$ (8)
 La façon la plus simple de voir que, si cette égalité est satisfaite, alors le point Q est près du point milieu de la droite de charge statique, consiste à remplacer R_B par $\beta_{CC} R_C$ dans l'équation (6). Il vient :

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \beta_{CC} R_C / \beta_{CC}} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{2 R_C}$$

Ce rapport égale environ la moitié de V_{CC}/R_C , le courant de saturation. Le respect de la formule (8) place donc Q près du point milieu de la droite de charge. Sauf indication contraire, nous concevons des circuits de polarisation par réaction de collecteur en respectant l'égalité : $R_B = \beta_{CC} R_C$.

Exemple.

Concevoir un circuit de polarisation à Q centré par réaction de collecteur tel que $V_{CC} = 15 \text{ V}$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ et $\beta_{CC} = 200$.

Solution.

Il faut que la résistance de base : $R_B = 200 \times 1 \text{ k}\Omega = 200 \text{ k}\Omega$, la figure 7 représente le circuit.

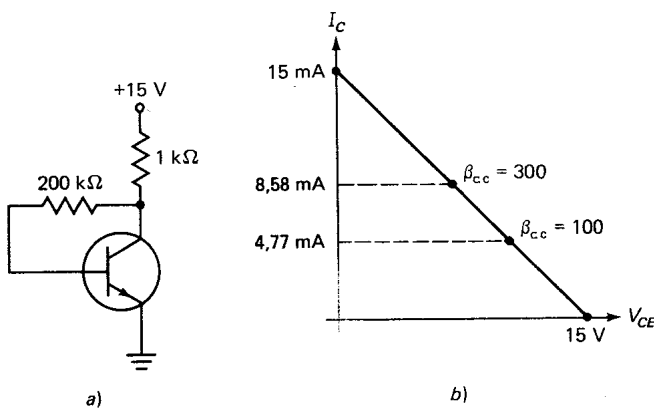
Exemple.

Considérer le circuit représenté à la figure 7 a et calculer le courant collecteur lorsque β_{CC} égale successivement 100 et 300.

Solution.

Lorsque $\beta_{CC} = 100$, l'équation (6) donne : $I_C = \frac{15\text{V} - 0,7\text{V}}{1\text{k}\Omega + 200\text{k}\Omega / 100} = 4,77 \text{ mA}$

Lorsque $\beta_{CC} = 300$: $I_C = \frac{15\text{V} - 0,7\text{V}}{1\text{k}\Omega + 200\text{k}\Omega / 300} = 8,58 \text{ mA}$



La figure 7 b représente la droite de charge statique et les points de fonctionnement. Lorsque β_{CC} varie du simple au triple, le courant collecteur double à peine. Le point Q n'est pas figé, mais il se comporte mieux qu'en polarisation par réaction d'émetteur. De plus, le transistor ne peut se saturer, si grand que devienne β_{CC} . Voilà pourquoi, on utilise parfois la polarisation par réaction de collecteur dans les amplificateurs petits signaux.

Fig. 7 – Circuit de polarisation par réaction de collecteur .
 b) Droite de charge statique à des points Q .

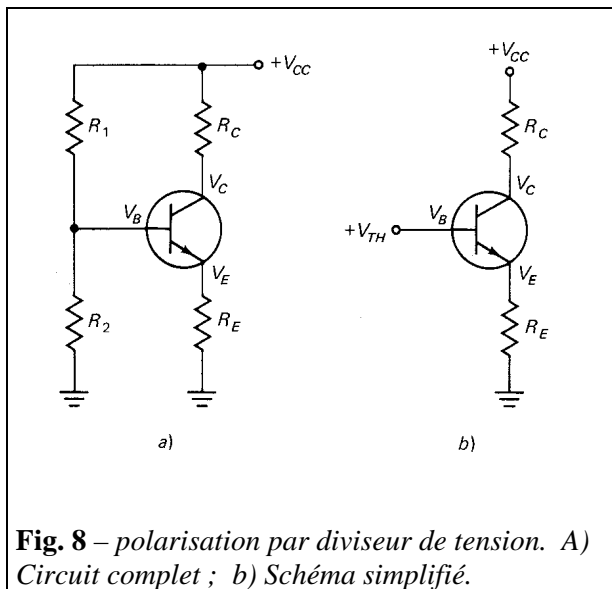
Polarisation par diviseur de tension.

La figure 8a représente le circuit de polarisation par diviseur de tension (aussi appelé circuit universel de polarisation). Cette polarisation est la plus utilisée dans les circuits linéaires. L'appellation « par diviseur de tension » provient du diviseur de tension formé par R_1 et R_2 . La tension entre les bornes de R_2 polarise la diode émetteur en direct.

Courant émetteur.

Voici comment obtenir la polarisation par diviseur de tension. Ouvrir mentalement le conducteur de base du transistor de la figure 8a. Puis regarder le diviseur de tension non chargé pour obtenir la tension de Thévenin :

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (8)$$



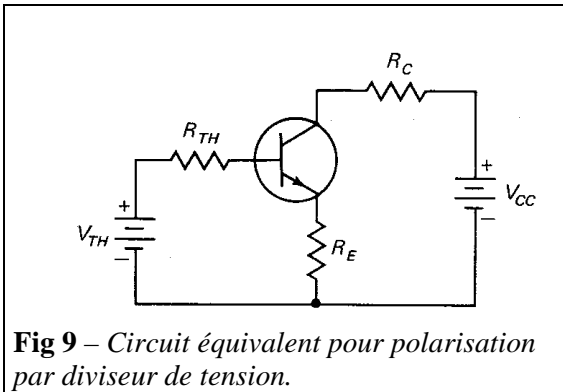
Rebrancher mentalement le conducteur de base. Si le diviseur de tension est soutenu, plus de 99 % de la tension de Thévenin attaque la base. Autrement dit, le circuit se ramène à celui représenté à la figure 8b et le transistor se comporte comme une source de courant commandée ou dépendante étudiée au chapitre 5. L'émetteur étant assujéti à la base, il vient :

$$I_L = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E} \quad (9)$$

Le courant collecteur approxime cette valeur. Remarquer que la formule du courant émetteur ne contient pas β_{cc} . Le circuit est donc insensible à la variation de β_{cc} et le point Q est fixe. Voilà pourquoi on préfère la polarisation par diviseur de tension dans les circuits linéaires à transistors. Vous la verrez presque partout.

Diviseur soutenu de tension.

L'usage d'un tel diviseur donne un circuit bien conçu. Voici comment concevoir un diviseur soutenu de tension.



L'application du théorème de Thévenin au réseau de la figure 8a donne le circuit équivalent représenté à la figure 9 dans lequel :

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (10)$$

qu'on écrit plus simplement : $R_{TH} = R_1 \parallel R_2$ (11)

Dans cette égalité, les barres parallèles sont mises pour « en parallèle avec ». La formule (11) se lit « R_{TH} égale R_1 en parallèle avec R_2 ». L'addition des tensions le long de la maille de base du circuit représenté à la figure 9 donne :

$$V_{BE} + I_E \cdot R_E - V_{TH} + I_B \cdot R_{TH} = 0$$

Or : $I_B \cong I_E / \beta_{cc}$. Donc l'équation précédente se réduit à :

$$I_E \cong \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{TH}}{\beta_{cc}}} \quad (12)$$

Si R_E égale $100 \times R_{TH} / \beta_{cc}$, alors R_E est grand par rapport à R_{TH} / β_{cc} et l'on obtient : $I_L = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E}$

Dans cet ouvrage, par circuit de polarisation par diviseur soutenu de tension entendre un circuit tel que :

$$R_{TH} \leq 0,01 \beta_{cc} R_E \quad (13)$$

Il faut respecter la règle de 100/1 pour le gain β_{cc} minimal rencontré dans toutes les conditions. Si le gain β_{cc} d'un transistor varie de 80 à 400, utiliser la valeur inférieure (80).

Habituellement, R_2 est plus petit que R_1 et la formule (6-12) devient : $R_2 \leq 0,01 \beta_{cc} R_E$ (14)

Cela est une évaluation prudente parce que le respect de la formule (14) entraîne le respect de la formule (13). Pour des raisons de commodité, nous utiliserons la formule (14) pour concevoir des diviseurs soutenus de tension.

Diviseur fermé de tension.

La petitesse éventuelle des résistances R_1 et R_2 d'un diviseur soutenu de tension soulève d'autres problèmes (étudiés plus loin). Dans ce cas, de nombreux concepteurs utilisent la formule de compromis

$$R_{TH} \leq 0,01 \beta_{cc} R_E$$

La formule : $R_2 \leq 0,01 \beta_{cc} R_E$ est encore intéressante. (15)

Dans la pire éventualité, le respect de cette formule donne un courant collecteur égal à environ 10 % du courant idéal collecteur donné par la formule (9).

Dorénavant, nous qualifierons de « ferme » tout diviseur de tension qui respecte la formule (15).

Habituellement, nous essayerons de concevoir un diviseur soutenu de tension. Pour des raisons (impédance d'entrée) que nous verrons plus tard, nous ferons parfois un compromis et nous concevrons un

diviseur ferme de tension pour obtenir un meilleur environnement.

Droite de charge en continu, en courant continu, statique ou en régime statique.

Additionnons les tensions le long de la maille de collecteur du circuit représenté à la figure 9 et isolons

le. Il vient :

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E} \quad (16)$$

Visiblement, l'ordonnée à l'origine représente un courant de saturation égal à $V_{CC} / (R_C + R_E)$ et l'abscisse à l'origine représente une tension de blocage égale à V_{CC} .

Tension d'un transistor

Pour dépanner, il faut parfois mesurer les tensions d'un transistor par rapport à la masse. La tension collecteur-masse V_C égale la tension d'alimentation moins la chute de tension entre les bornes de la résistance de collecteur, d'où :

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

La tension émetteur-masse égale :

$$V_E = I_E \cdot R_E$$

On a aussi : $V_E = V_{TH} - V_{BE}$, parce que l'émetteur suit la base à une chute V_{BE} . Dans le cas d'un diviseur de tension soutenu, la tension base-masse égale : $V_B = V_{TH}$

Directives de conception

La figure 10 représente un amplificateur. Un condensateur applique le signal alternatif à l'amplificateur et un autre l'en sort. Pour le courant continu, les condensateurs sont ouverts. Une petite tension alternative d'entrée attaque la base, et une tension alternative amplifiée sort du collecteur. Dans le présent chapitre, nous apprendrons à concevoir des amplificateurs à point Q stable.

Dans cet ouvrage, sauf indication contraire, nous utiliserons la règle du dixième qui rend la tension émetteur approximativement égale au dixième de la tension d'alimentation, soit : $V_E = 0,1 V_{CC}$

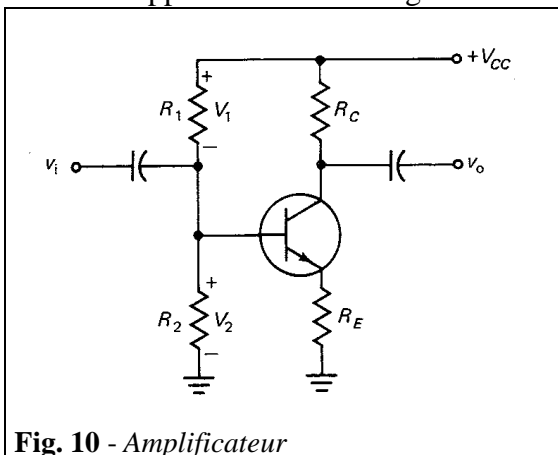


Fig. 10 - Amplificateur

Cette règle de conception convient pour la plupart des circuits mais se rappeler qu'elle n'est qu'une directive. Certains concepteurs ne l'utilisent pas. Ne vous étonnez pas de trouver des tensions émetteur différentes du dixième de la tension d'alimentation.

Commençons par calculer la résistance R_E nécessaire pour avoir le courant collecteur spécifié. Il vient :

$$R_E = \frac{V_E}{I_E}$$

Positionnons le point Q à peu près au milieu de la droite de charge statique. Dans ces cas, une tension d'environ $0,5 V_{CC}$ apparaît entre les bornes collecteur-émetteur et environ $0,4 V_{CC}$ apparaît entre les bornes de la résistance de collecteur, d'où :

$$R_C = 4 R_E$$

Concevons un diviseur soutenu de tension à l'aide de la règle de 100/1. Il vient : $R_2 \leq 0,01 \beta_{cc} R_E$

Si vous préférez un diviseur ferme de tension, appliquez la règle de 10/1.

Vous aurez : $R_2 \leq 0,1 \beta_{cc} R_E$

Finalement, calculons R_1 selon la règle de la proportionnalité. Il vient : $R_1 = \frac{V_1}{V_2} R_2$

Exemple

Le diviseur de tension du circuit représenté à la figure 11a est soutenu.

Tracer la droite de charge statique et représenter le point Q.

Solution

Ouvrons mentalement le transistor du collecteur à l'émetteur. Toute la tension d'alimentation apparaît entre les bornes collecteur-émetteur. L'abscisse à l'origine de la droite de charge représente donc une tension de blocage de 30 V.

Court-circuitons mentalement le transistor du collecteur à l'émetteur. Visiblement, R_C est en série avec

R_E et le courant collecteur de saturation égale : $I_{C(sat)} = \frac{30 \text{ V}}{3000 \Omega + 750 \Omega} = 8 \text{ mA}$

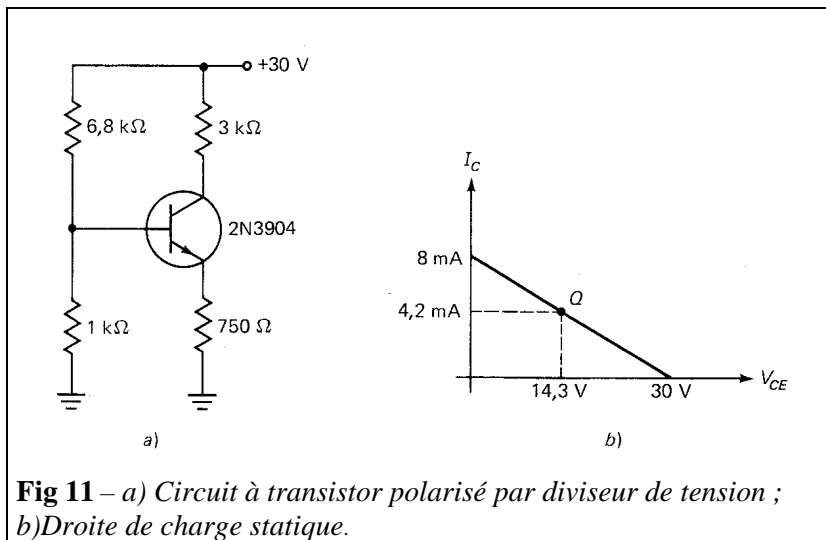


Fig 11 – a) Circuit à transistor polarisé par diviseur de tension ; b) Droite de charge statique.

La figure 11b représente la droite de charge statique et le point Q.

Visiblement, le point Q est près du point milieu de la droite de charge statique.

Exemple

La figure 12 représente un amplificateur à deux étages. (Un étage comprend un transistor, ses résistances de polarisation, incluant R_C et R_E). Calculer la tension continue émetteur et la tension continue collecteur de chaque étage.

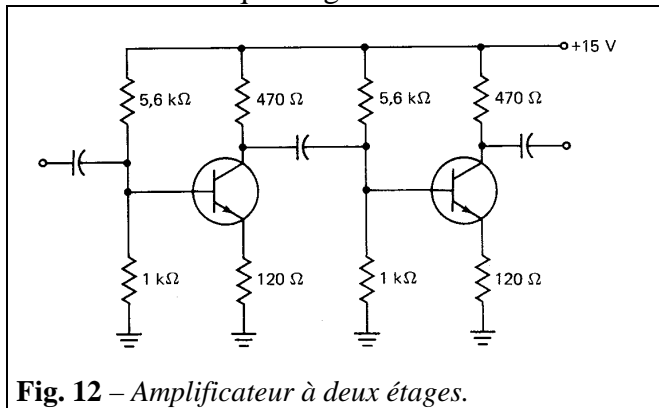


Fig. 12 – Amplificateur à deux étages.

En approximation serrée ; $I_C = 13,1 \text{ mA}$ et $V_C \cong 15 \text{ V} - (13,1 \text{ mA})(470 \Omega) = 8,84 \text{ V}$

Exemple

Concevoir un circuit de polarisation par diviseur de tension tel que $V_{ce} = 20 \text{ V}$, $I_C = 5 \text{ mA}$ et β_{cc} varie de 80 à 400.

Solution

La tension émetteur devrait être d'environ le dixième de la tension d'alimentation, d'où $V_E = 2 \text{ V}$. Comme le courant collecteur de repos imposé est de 5 mA, la résistance d'émetteur nécessaire égale :

$$R_E = \frac{2 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 400 \Omega$$

La résistance normalisée ou nominale la plus proche est de 390 Ω. Pour fonctionner près du point milieu de la droite de charge statique, la résistance de collecteur doit être d'environ le quadruple de la résistance d'émetteur, d'où : $R_C = 4 \times (390 \Omega) = 1560 \Omega$

La résistance normalisée ou nominale la plus proche est de 1,6 k Ω.

La tension base est de 0,7 V supérieure à la tension émetteur, d'où $V_B = 2,7 \text{ V}$. Cette tension est celle entre les bornes de R_2 . La tension entre les bornes de R_1 égale à : $V_1 = V_{CC} - V_2 = 20 \text{ V} - 2,7 \text{ V} = 17,3 \text{ V}$

Pour que le diviseur de tension soit soutenu, il faut : $R_2 \leq 0,01 \times (80) \times (390) = 312 \Omega$

La résistance normalisée ou nominale la plus proche est de 300 Ω, d'où $R_2 = 300 \Omega$

et :

$$R_1 = \frac{V_1}{V_2} R_2 = \frac{17,3 \text{ V}}{2,7 \text{ V}} (300 \Omega) = 1922 \Omega$$

La résistance normalisée ou nominale la plus proche est de 2 k Ω. Donc, nous prendrons :

$$R_E = 390 \Omega, \quad R_C = 1,6 \text{ k} \Omega, \quad R_1 = 2 \text{ k} \Omega, \quad R_2 = 300 \Omega$$

Cette valeur représente l'ordonnée à l'origine de la droite de charge statique.

La tension de Thévenin produite par le diviseur soutenu, de tension égale :

$$V_{TH} = \frac{1000}{6800 + 1000} 30 \text{ V} = 3,85 \text{ V}$$

Le courant émetteur égale :

$$I_E \cong \frac{3,85 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{750 \Omega} = 4,2 \text{ mA} \cong I_C$$

La tension collecteur égale :

$$V_C = 30 \text{ V} - (4,2 \text{ mA})(3 \text{ k} \Omega) = 17,4 \text{ V}$$

La tension émetteur égale :

$$V_E = 3,85 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 3,15 \text{ V}$$

D'où la tension collecteur-émetteur égale :

$$V_{CE} = V_C - V_E = 17,4 \text{ V} - 3,15 \text{ V} = 14,3 \text{ V}$$