



Leçon 14

LE POINT DE FONCTIONNEMENT



ACTIVITÉS

Activité

Un circuit fermé est formé d'un générateur G ($2V$; 10Ω), et d'un conducteur ohmique de résistance 6Ω en série.

- Proposer une figure correspondante à l'énoncé.
- Tracer sur la même courbe les caractéristiques $U = f(I)$ du conducteur ohmique (R) et du générateur (G).
- Déterminer, graphiquement et par calcul, le point de fonctionnement de ce circuit.

Objectifs

- Définir et déterminer le point de fonctionnement d'un circuit.
- Appliquer la loi de Pouillet pour déterminer l'intensité du courant dans une maille.

1. Quelques définitions

- ✦ On appelle **réseau électrique**, tout ensemble constitué de conducteurs reliés entre eux.
- ✦ Une **maille** est tout circuit fermé contenu dans un réseau électrique.
- ✦ On appelle **point de fonctionnement d'un circuit**, le couple de valeurs (I ; U) ou (U ; I) pour lequel le circuit fonctionne.

2. Étude d'un circuit comportant un dipôle passif et un dipôle actif

Considérons la figure 14.1 ci-dessous, constitué d'un générateur (G), d'un résistor (R) et d'un interrupteur (K) montés en série.

Lorsqu'un récepteur est alimenté par un générateur, l'intensité dans le circuit s'établit à une valeur bien déterminée I , de même que la tension U aux bornes de chaque élément.

À ce couple de valeurs (I , U) correspond un point particulier appelé **point de fonctionnement**, appartenant à la fois à la caractéristique du générateur et à celle du récepteur. Il se trouve donc à leur intersection lorsque ces caractéristiques sont tracées sur le même graphique.

Dans ce manuel, nous limiterons notre étude à des générateurs linéaires alimentant des dipôles passifs.

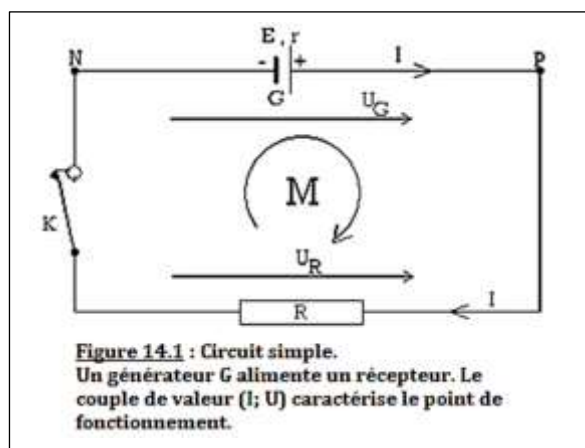


Figure 14.1 : Circuit simple.
Un générateur G alimente un récepteur. Le couple de valeur (I ; U) caractérise le point de fonctionnement.

2.1. Détermination du point de fonctionnement : Méthode théorique

Utilisation de la loi des mailles

Énoncé : « En parcourant une maille dans le sens arbitraire choisit, la somme algébrique de toutes les tensions est nulle ».

Considérons la maille **M** de la figure 14.1 ci-dessus. En appliquant la loi des mailles et en considérant le sens de la flèche de la figure, on aura :

$$\begin{aligned} U_G - U_R &= 0 \\ \Leftrightarrow U_G &= U_R \end{aligned} \quad (14.1)$$

$$\text{Or } \begin{cases} U_G = E - rI \\ U_R = RI \end{cases} \quad (14.2)$$

$$\Rightarrow E - rI = RI. \quad (14.3)$$

- Le résultat (14.3) permet d'avoir l'intensité **I** :

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (14.4)$$

- En exploitant (14.3) et (14.4) le point de fonctionnement aura pour coordonnées

$$\begin{pmatrix} U \\ I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U \\ \frac{E}{R + r} \end{pmatrix} \quad (14.5)$$

Remarque

- Si $I > 0$, le sens de I choisi est le sens réel ;
- Si $I < 0$, prendre $|I|$ et changer son sens dans le circuit.

2.2. Détermination du point de fonctionnement : Méthode pratique

Elle consiste à tracer dans le même repère les caractéristiques intensité-tension des deux dipôles constituant le circuit. Les coordonnées du point de fonctionnement correspondront donc à l'intersection des deux droites obtenues.

Exemple

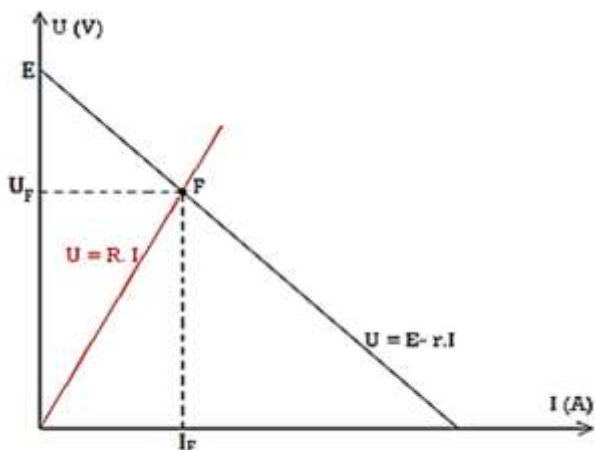


Figure 14.2 : Détermination expérimentale du point de fonctionnement F.

Remarque

- Lorsque les caractéristiques ne sont pas linéaires, seule la méthode graphique peut être utilisée pour déterminer le point de fonctionnement.
- Les caractéristiques doivent avoir la même échelle.
- Quelques écarts peuvent être observés entre la méthode graphique et la méthode par calcul. Une marge d'erreur sera donc indiquée.

2.3. Polarisation du transistor

- Il est aussi possible de déterminer le point de fonctionnement des dipôles passifs non linéaires tel que les transistors (composant électronique). Pour cela, il revient tout d'abord à **polariser le transistor**.
- Polariser un transistor, c'est lui fixer un ensemble de valeurs caractérisant son état de fonctionnement. Pour cela on applique sur les trois électrodes du transistor des potentiels continus de valeurs convenables.

- Cela revient à fixer les valeurs des tensions de polarisation des diodes V_{BE} (alimentation de circuit de base-émetteur) et V_{CE} (alimentation du circuit collecteur – émetteur) ainsi que le courant de commande I_B (courant de la base) et le courant d'émetteur ou de collecteur.
- Selon qu'il s'agisse de la base ou de l'émetteur ou du collecteur, le point de fonctionnement du transistor, peut être défini à partir de deux droites particulières appelées **droite d'attaque** et **droite de charge**.
- Le transistor étant un composant à trois entrées, pour appliquer les résultats vus sur les quadripôles, il faut prendre un des pôles communs à l'entrée et à la sortie. Le montage le plus utilisé est le montage « **émetteur commun** », mais il existe aussi les montages « **base commune** » et « **collecteur commun** » où ce sont la base et le collecteur qui servent de pôle commun.
- Dans la suite de cette leçon, le transistor sera monté en **émetteur commun**.
- Polariser un transistor va donc consister à insérer ce quadripôle entre un réseau d'entrée, qui va fixer les valeurs V_{BE} et I_B , et un réseau de sortie qui va fixer les valeurs V_{CE} et I_C .
- Il a été vu que tout réseau linéaire et invariant dans le temps peut se mettre sous forme de dipôle de Thévenin, on en déduit le schéma de principe général d'un transistor polarisé montré à la figure 14.3 ci-dessous.

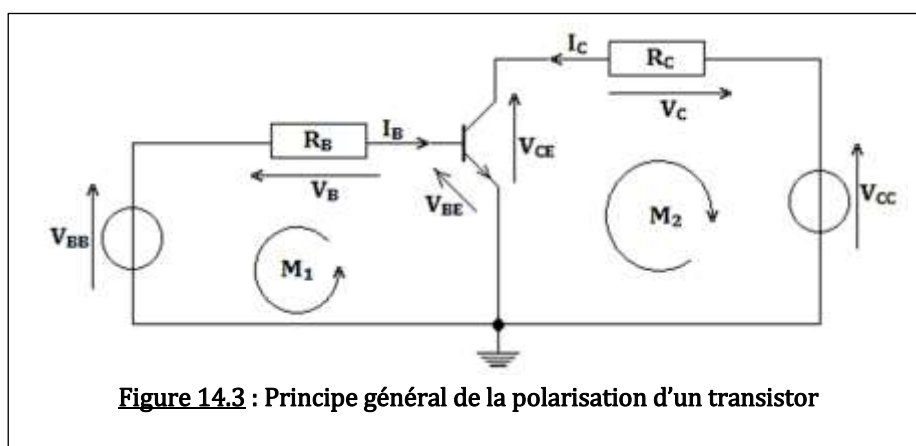


Figure 14.3 : Principe général de la polarisation d'un transistor

2.3.1. Notion de droite d'attaque

En appliquant la loi de maille sur le réseau d'entrée de la maille M_1 , on a :

$$V_{BB} = V_B + V_{BE} \quad (14.6)$$

$$\Rightarrow V_{BB} = R_B \times I_B + V_{BE} \quad (14.7)$$

$$\Leftrightarrow V_{BE} = -R_B \times I_B + V_{BB} \quad (14.8)$$

- On obtient là l'équation d'une droite que l'on appellera la **droite d'attaque** de pente négative $-R_B$ et d'ordonnée à l'origine V_{BB} .
- Cette droite est représentée sur la caractéristique de base du transistor. Les valeurs de V_{BE} et de I_B devant vérifier à la fois l'équation de fonctionnement du transistor et celle du réseau d'entrée, elles seront déterminées par l'intersection entre la droite d'attaque statique et la caractéristique de base du transistor comme le montre la figure 14.4 ci-contre.

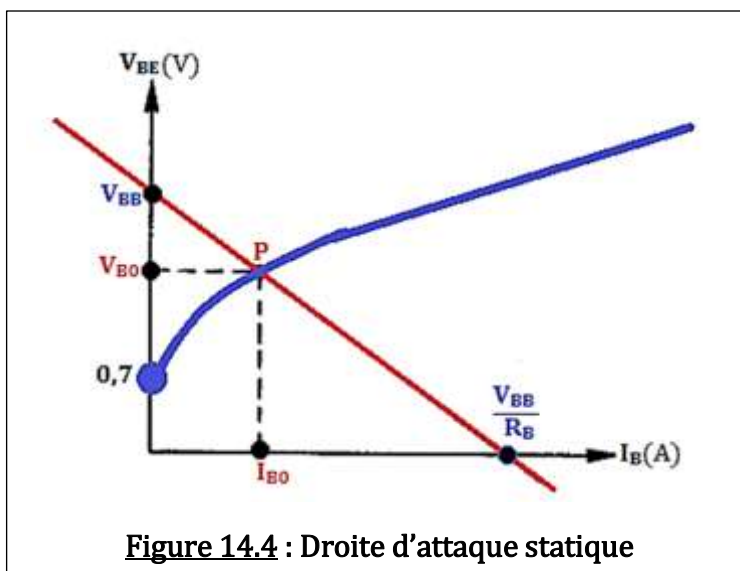


Figure 14.4 : Droite d'attaque statique

Remarque

- Sur la courbe ainsi obtenue, le point P est le point de polarisation et correspond au point de fonctionnement.
- Si P est tel que $V_{BE} < 0,6 \text{ V}$, le transistor est dit bloqué et $I_{B0} = 0$.

2.3.2. Notion de droite de charge

Considérons pour cela, le réseau de sortie représentée par la maille M_2 . On a alors :

$$V_{CC} = V_{CE} + V_C \quad (14.9)$$

$$\Rightarrow V_{CC} = R_C \times I_C + V_{CE} \quad (14.10)$$

$$\Leftrightarrow I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (14.11)$$

- La droite représentative de l'équation (14.11) est appelée **droite de charge statique**.
- L'intersection de cette droite avec la caractéristique de collecteur du transistor donne les valeurs de V_{CE} et d' I_C comme le montre la figure 14.5.
- La caractéristique de collecteur choisie correspondra au courant de base I_{B0} déterminé par la droite d'attaque statique.

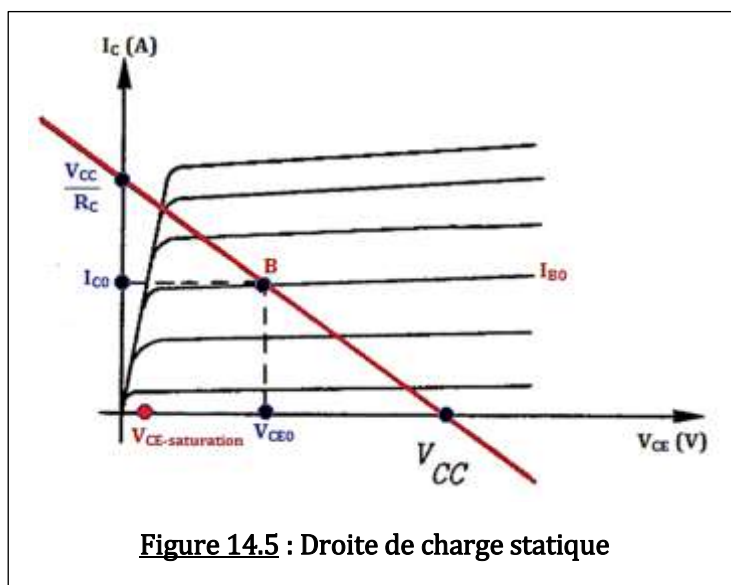


Figure 14.5 : Droite de charge statique

Remarque

- Lorsque $V_{BE0} < 0,6 \text{ V}$, le transistor est bloqué et $I_B = I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$.
- Lorsque $V_{CE} < V_{CE\text{-saturation}}$ ($V_{CE\text{-saturation}}$ varie entre quelques dixièmes de volts et 1 volt), on peut donner une excellente approximation de I_C par la formule :

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (14.12)$$

- Tous les points de fonctionnement tels que $V_{CE\text{-saturation}} < V_{CE} < V_{CC}$ et $0 < I_C < \frac{V_{CC}}{R_C}$, donc situés entre les points de blocage et de saturation, se trouvent dans la **zone active**.

Exemple

Le transistor 2N4401 du circuit de la figure (a) est un transistor au silicium avec $\beta = 80$.

- Tracer la droite de charge statique.
- Déterminer le point P de polarisation lorsque $R_B = 390 \text{ k}\Omega$

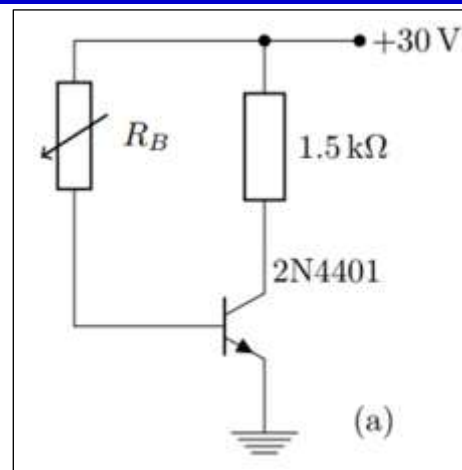
Solution

Données : $R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$; $V_{CC} = 30 \text{ V}$.

- D'après (14.12), $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$ **AN** : $I_C = 20 \text{ mA}$.

$$V_{CE\text{-blocage}} = V_{CC} = 30 \text{ V}$$

- La figure b représente la droite de charge statique.



Déterminons I_B .

On a vu que : $V_{BB} = R_B \times I_B + V_{BE} \Rightarrow$

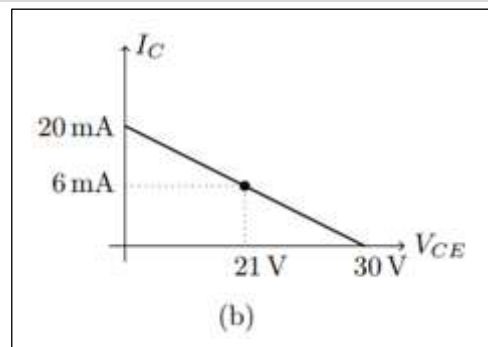
$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{30 - 0,7}{390 \cdot 10^3} = 75,1 \mu A$$

Le courant collecteur I_C est donné par la relation :

$$I_C = \beta \times I_B = 6 \text{ mA.}$$

La tension du collecteur-émetteur est :

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \times R_C = 21 \text{ volts.}$$



La figure (b) donne le point P avec ses coordonnées $I_C = 6 \text{ mA}$ et $V_{CE} = 21 \text{ V}$. On remarque que le point P est sur la droite de charge statique car cette droite représente tous les points de fonctionnement possibles. Si on changeait la valeur de R_B , le point P se déplacerait alors en un autre point de la droite de charge.

Remarque

- ✍ Nous avons travaillé ici en régime statique.
- ✍ En régime dynamique (*hors programme pour le moment*), en présence d'un condensateur par exemple monté sur la base du transistor, on obtient le point de polarisation à partir des droites d'attaque dynamique et de charge dynamique.

3. Généralité de la loi des mailles : la loi de Pouillet

Déterminons, sur la figure ci-dessous, l'intensité du courant I qui traverse le circuit.

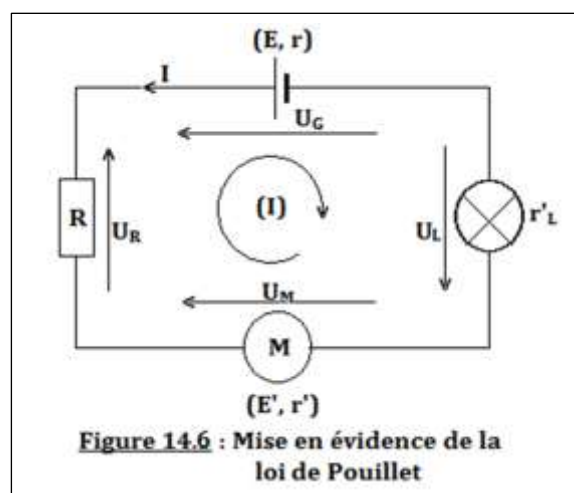
L'ensemble générateur, lampe à incandescence, résistor et moteur, est monté en série. Et chaque équipement électrique porte ses caractéristiques comme l'indique la figure 14.6 ci-dessous.

D'après la maille (I), on a :

$$U_R + U_L + U_M - U_G = 0 \quad (14.13)$$

$$\text{Or } \begin{cases} U_R = RI \\ U_M = E' + r' I \\ U_L = \underbrace{E_L}_{0} + r'_L I \\ U_G = E - rI \end{cases} \quad (14.14)$$

$$\Rightarrow I = \frac{E - E'}{R + r' + r + r'_L} \quad (14.15)$$



Énoncé de la loi de Pouillet

« Dans une maille, l'intensité I du courant est égale au rapport de la différence entre la somme algébrique des f.é.m. et celle de f.c.é.m. à la somme des résistances :

$$I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum R} \quad (14.16)$$

Où $\sum E$ est la somme des f.é.m. de tous les générateurs du circuit et $\sum E'$ la somme des f.c.é.m. de tous les récepteurs du circuit.

Nota Bene

- Avant d'appliquer la loi de Pouillet, il faut d'abord se rassurer que le circuit est en série. Cela signifie que si certains dipôles passifs sont en parallèle (cas des résistors), il faut d'abord déterminer le schéma équivalent afin de ramener l'ensemble du circuit en série.
- Recenser tous les dipôles passifs et tous les dipôles actifs.

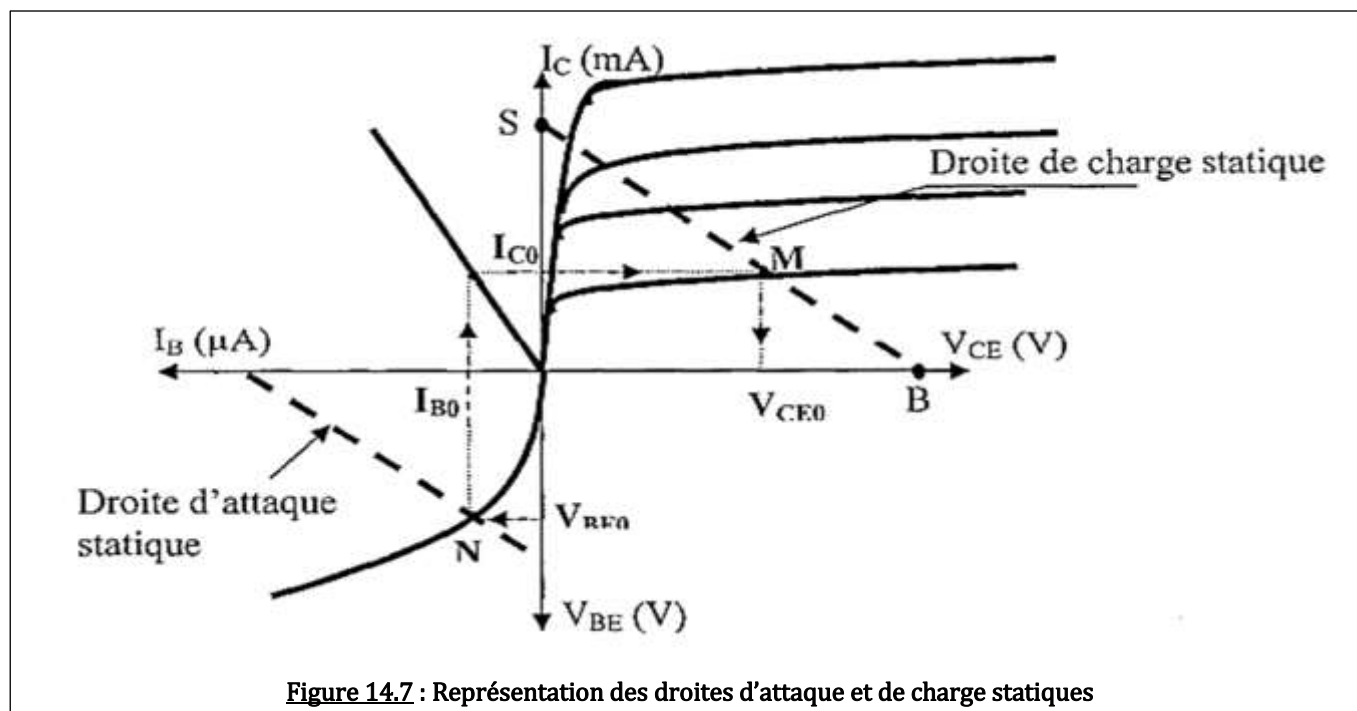


Figure 14.7 : Représentation des droites d'attaque et de charge statiques

Exemple (Non résolu → En exercices)

Un circuit fermé est formé d'un générateur G ($2V$; 10Ω), et d'un conducteur ohmique de résistance 6Ω en série.

- Proposer une figure correspondante à l'énoncé.
- Tracer sur la même courbe les caractéristiques $U = f(I)$ du conducteur ohmique (R) et du générateur (G).
- Déterminer, graphiquement et par calcul, le point de fonctionnement de ce circuit.

4. Jeu bilingue

Expression française	English expression
Maille	Stitch
Fonctionnement	Working, performance.
Transistor	Transistor
Polarisation	Polarization.

Sentence

P1: The transistor is a small electrical component used to amplify voltage, output or current.

P2: The law of stitch is only used when the electrical components of one circuit are in chain.