

FORMULE D'ELECTRONIQUE

TRANSISTORS EN BASSE FREQUENCE

Caractéristiques principales

En plus de sa structure (PNP et NPN), les caractéristiques principales d'un transistor bipolaire, utilisé en basse fréquence pour le traitement des petits signaux, sont les suivantes :

- la tension collecteur-émetteur maximale en base ouverte (V_{CEmax}) ;
- le courant collecteur maximal (I_{Cmax}) ;
- la puissance collecteur maximal (P_{Cmax}), donnée généralement pour une température ambiante de $+ 45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- le gain de courant (β ou h_{fe}) donné pour un I_C et un V_{CE} précis ;
- la tension base-émetteur (V_{BE}). En première approximation, et pour un courant de fonctionnement habituel, elle se situe entre 0,1 et 0,3 V pour un transistor au germanium, ou entre 0,6 et 0,7 V pour un transistor au silicium.

Il est également très utile de connaître :

- la température maximale de jonction (T_j) ;
- la fréquence de transition (f_T) fournie pour un courant donné. Elle détermine le produit : gain \times bande passante. (Si par exemple $f_T = 300\text{ MHz}$, le gain de courant est 1 à 300 MHz ou 30 à 10 MHz...);
- le facteur de bruit (F) exprimé en décibels : ce facteur est donné pour une fréquence ou une bande passante précise.

Gain de courant

Il faut distinguer le gain statique (ou en courant continu) et le gain dynamique.

Le gain statique est donné par la formule :

$$B \text{ (ou } h_{FE}) = \frac{I_C}{I_B}$$

I_B étant le courant de base et I_C le courant collecteur résultant (I_C et I_B doivent avoir les mêmes unités).

Le gain dynamique est donné par la formule :

$$\beta \text{ (ou } h_{fe}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

ΔI_C est la variation de courant collecteur due à la variation ΔI_B du courant de base.

Remarques :

1° Le gain est donné par le constructeur avec les paramètres suivants : V_{CE} , I_C et une fréquence f .

2° Généralement : $\beta > B$.

3° Le gain est maximal, pour une certaine valeur de I_C (fig. 1).

Exemple : Au repos, pour un V_{CE} de 10 V, le courant collecteur d'un transistor est de 32 mA et le courant de base de 100 μA .

Toujours avec le même V_{CE} , on fait varier le courant de base de 80 à 120 μA , ce qui entraîne une variation de courant collecteur de 25 à 39 mA. Quelles sont les valeurs de B et de β ?

Gain statique : $B = \frac{32}{0,1} = 320$

Gain dynamique : $\beta = \frac{39 - 25}{0,120 - 0,080} = 350$

On rencontre encore le terme α qui désigne le gain de courant dans un transistor monté en base commune (fig. 2).

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

α = gain de courant en base commune (très proche de l'unité),

I_C = courant collecteur,

I_E = courant émetteur.

Si l'on considère que le courant émetteur est égal à 1, le courant collecteur a pour valeur α et le courant base la différence, soit $1 - \alpha$.

De cela, on en tire le gain : $\beta \left(= \frac{I_C}{I_B} \right)$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

On a de même : $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$

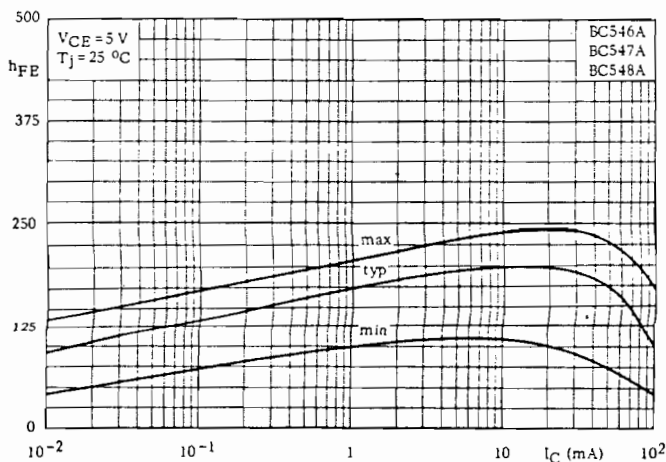


FIGURE 1

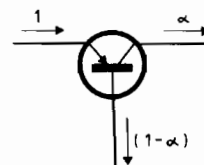


FIGURE 2

Courants dans un transistor

D'après la loi de Kirchhoff (somme des courants d'entrée = somme des courants de sortie), la somme des courants dans un transistor est nulle (fig. 3).

$$\sum (I_C, I_B, I_E) = 0$$

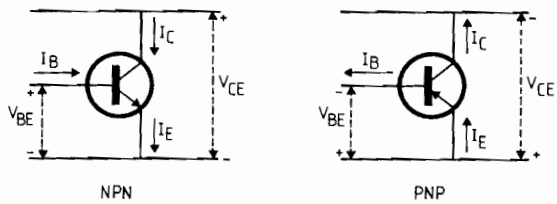


FIGURE 3

Exemple : $I_C = + 10 \text{ mA}$, $I_B = + 0,1 \text{ mA}$,
 $I_E = - 10,1 \text{ mA}$.
 On a bien $10 + 0,1 - 10,1 = 0$.

En laissant de côté les signes, on obtient la formule pratique : $I_E = I_C + I_B$.

Ou encore, dans le cas général où I_B est faible par rapport à I_C (gain élevé) : $I_E \cong I_C$.

Lorsqu'une des trois sorties n'est pas connectée, un courant résiduel traverse le transistor. On distingue :

– Courant I_{CBO} (fig. 4) entre collecteur et base, émetteur « en l'air ». Il est de quelques microampères pour les transistors au silicium (BC 107, $I_{CBO} < 15 \mu\text{A}$).

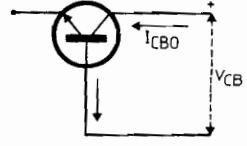


FIGURE 4

– Courant I_{EBO} (fig. 5) entre émetteur et base, collecteur non branché. Il est de l'ordre de quelques microampères.

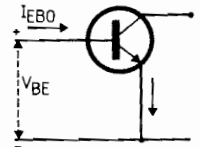


FIGURE 5

– Courant I_{CEO} (fig. 6) entre collecteur et émetteur, base non connectée. Il est sensible à la température et est fonction de la tension V_{CE} . Sa valeur est de l'ordre de quelques dizaines de microampères. on a la relation : $I_{CEO} = B \times I_{CBO}$.

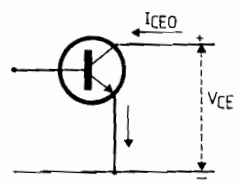


FIGURE 6

Exemple : Si pour $V_{CB} = 20 \text{ V}$ et $T_j = 150^\circ\text{C}$, on a : $I_{CBO} = 9 \mu\text{A}$. Pour un gain statique de 260, le courant I_{CEO} aura la valeur : $260 \times 9 = 2\,340 \mu\text{A}$, soit $2,34 \text{ mA}$.

Résistance de sortie

Cette résistance est donnée par la formule : $r_c = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}$

avec :
 ΔV_{CE} = variation de la tension collecteur-émetteur.
 ΔI_C = variation du courant collecteur pour un courant de base I_B constant.

Exemple : Sur le réseau de caractéristiques ci-dessous (fig. 10), pour un courant I_B constant de $0,2 \text{ mA}$, si on considère la variation ΔV_{CE} entre 5 et 16 V, la variation correspondante ΔI_C est de 15 à 17 mA.

La résistance de sortie a pour valeur :

$$r_c = \frac{16 - 5}{17 - 15} = 5,5 \text{ k}\Omega$$

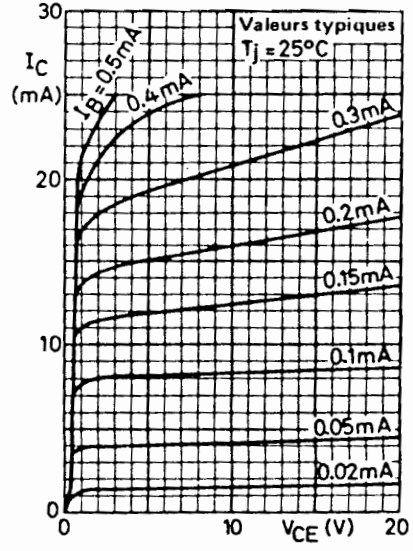


FIGURE 10

Puissance collecteur maximale

Cette puissance, ainsi que les limites I_{Cmax} et V_{CEmax} , est fixée par le constructeur.

La puissance collecteur P_C est donnée par la formule :

$$P_C = V_{CE} \times I_C$$

avec :

- P_C = puissance collecteur (en milliwatts)
- V_{CE} = tension collecteur-émetteur (en volts)
- I_C = courant collecteur (en milliampères).

Il faut que : $V_{CE} \times I_C < P_{Cmax}$.

On trace la courbe de dissipation maximale (fig. 7) en calculant I_C pour différentes valeurs de V_{CE} .

Exemple : Un transistor a un P_{Cmax} de 0,3 W. Quelles sont les valeurs de courant à ne pas dépasser pour des V_{CE} de 16 V et de 8 V ?

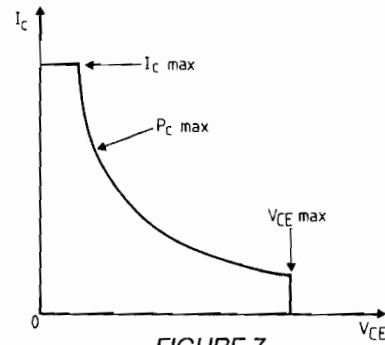


FIGURE 7

$$\text{Pour } V_{CE} = 16 \text{ V, } I_C = \frac{300}{16} = 18,75 \text{ mA}$$

$$\text{Pour } V_{CE} = 8 \text{ V, } I_C = \frac{300}{8} = 37,5 \text{ mA}$$

Résistance d'entrée

La résistance d'entrée statique R_e est donnée par la formule :

$$R_e = \frac{V_{BE}}{I_B}$$

avec :

- V_{BE} = tension base-émetteur
- I_B = courant base

La résistance d'entrée dynamique r_e est donnée par la formule :

$$r_e = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

avec :

- ΔV_{BE} = variation de tension base-émetteur.
- ΔI_B = variation résultante du courant de base.

Remarques :

- 1° La résistance d'entrée r_e est également appelée h_{11} (paramètre h).
- 2° Au cas où une charge d'impédance Z est placée dans le circuit émetteur du transistor, la résistance d'entrée devient : $r'_e = \beta \times Z$

Exemple : Sur la figure 8, lorsque $I_B = 2,5$ mA, nous avons :

$$R_e = \frac{0,35}{2,5}, \text{ soit } 140 \Omega.$$

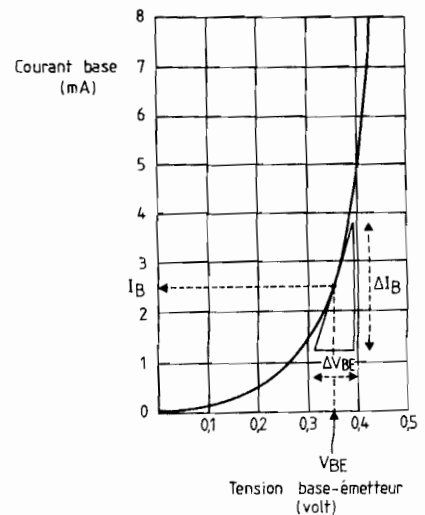
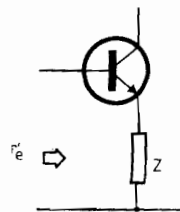


FIGURE 8

La pente de la courbe en ce point donne la résistance dynamique pour 2,5 mA de courant base. A un ΔV_{BE} de 0,08 V, (0,395 - 0,315) correspond un ΔI_B de 2,5 mA (3,75 - 1,25). La résistance dynamique est :

$$r_e = \frac{0,08}{2,5}, \text{ soit } 32 \Omega.$$

Effet de la température

En ce qui concerne la puissance collecteur max., on utilise la formule :

$$P_{max} = \frac{T_{j,max} - T_{amb}}{R_{th}}$$

(Voir formulaire de février 1986, page 157).

La température a également une action sur I_{CBO} et V_{BE} .

La tension V_{BE} diminue lorsque la température augmente. Cette chute est de 2 mV par °C pour le silicium et de 1,2 mV pour le germanium.

Exemple : La tension V_{BE} d'un transistor au silicium est de 600 mV à 25 °C. Quelle est la valeur de cette tension à 75 °C ?

La tension V_{BE} à cette température est :
600 - 2 (75 - 25), soit 500 mV.

Le courant I_{CBO} augmente considérablement avec la température. Ce courant double tous les 10 °C pour le germanium et tous les 7 °C pour le silicium.

Le calcul peut se faire avec la formule suivante :

$$I_{CBO(tx)} = I_{CBO(t.ref.)} \times 2^{(tx - t.ref.)/k}$$

avec :

- t_{ref} = température de référence (en °C).
- t_x = nouvelle température (en °C).
- $I_{CBO(t.ref.)}$ = courant I_{CBO} à la température de référence.
- $I_{CBO(tx)}$ = courant I_{CBO} à la nouvelle température.
- R = 10 pour le germanium, 7 pour le silicium.

Exemple : Un transistor au germanium a un I_{CBO} de 5 μ A à 25 °C. A une température de 75 °C, ce courant prend la valeur :

$$I_{CBO(75\text{ }^\circ\text{C})} = 5 \times 2^{(75-25)/10} = 5 \times 32, \text{ soit } 160 \mu\text{A.}$$

J.-B. P.

tonic electronic

PRIX ÉCRASÉS TOUTE L'ANNÉE

2, rue Saint-Ferdinand - 75017 PARIS
Tél. : 45.72.48.15

Du mardi au samedi de 10 h à 19 h30

PRIX CHOC SUR MODELES D'EXPOSITION — HI-FI — RADIO K7 — MICRO

MAGNÉTOSCOPES

- THOMSON TX 8500
Tri-standard **8490 F**
- THOMSON VS 5500 S
Hi-Fi stéréo **8490 F**
- CONTINENTAL EDISON VK 2530 **5990 F**
- CONTINENTAL EDISON VK 2631 **6190 F**

TÉLÉVISIONS

- CONTINENTAL EDISON 70 ES 691 **7950 F**
- THOMSON C71 PMC 4 **7150 F**
- B et O LX 2800 **11690 F**
- SONY KV 2764 FE **7950 F**
- B et O MX 2000 **7990 F**

RÉPONDEURS TÉLÉPHONIQUES

- Répondeur PHILIPS simple LFH 9221 **990 F**
- Répondeur enregistreur LFH 9330 **1750 F**
- Répondeur enregistreur à
interrogation à distance LFH 9246 **2490 F**
- Répondeur enregistreur à
interrogation à distance
boîtier multi-fonctions **2990 F**

PLATINES LASER

- RADIALVA RCD 601 **2490 F**
- PHILIPS CD104 MKII **2990 F**
- ONKYO DX150 **4490 F**
- LUXMAN D103 **5500 F**
- SHARP DX600 **2990 F**

BALADEUR

- CROWN **180 F**
 - SABA AIR **588 F**
 - AIWA HSF07 **1750 F**
 - AIWA HSJ08 **2490 F**
- Radio autoreverse enregistreur avec télécommande à fil.

RADIO CASSETTE

- RADIALVA TSR 712 **880 F**
 - RADIALVA copie rapide **1268 F**
 - CROWN double K7 **1150 F**
 - SHARP GF570 **1990 F**
 - CONTINENTAL EDISON
RC 5692 double K7 **1455 F**
 - CONTINENTAL EDISON
RC 5697 **1990 F**
- Copie rapide, enceinte détachable, égaliseur.
- SHARP WQ 562
autoreverse 2 K7 **1990 F**

PLATINES CASSETTES

- SHARP
Bande métal soft eject. **900 F**
- SHARP double K7 **2170 F**
- ONKYO double K7 **3350 F**
- ONKYO TA2047 **3250 F**
- ONKYO TA2027 **2250 F**
- LUXMAN K240 **2990 F**
- LUXMAN K102 **3190 F**

CASQUE SENNHEISER EN DEMONSTRATION - MS80 - HD40 - HD 410 - HD430 - HDI416

TUNER

- LUXMAN T105 **3180 F**
- LUXMAN T404 **2250 F**
- ONKYO T4057 **2590 F**
- ONKYO T4037 **1990 F**

NOUVELLE GAMME LUXMAN «BLACK»

- LV90 **2190 F** - K100 **2190 F**
- LV100 **2590 F** - T100 **2250 F**
- LV101 **3990 F** - D100 **4890 F**

Vente par correspondance

Nom :	Matériel commandé :
Prénom :
Adresse :
Code postal :
Chèque bancaire <input type="checkbox"/> C.C.P. <input type="checkbox"/>	Total de la commande.
Toutes nos expéditions se font en port dû.	

La marchandise voyage aux risques et périls du destinataire.

CASQUE BALADEUR 30 F CHOC