

# 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 °C ;
- le gain de courant ( $\beta$  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 x bande passante. (Si par exemple  $f_T = 300$  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 :

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

$\Delta I_C$  est la variation de courant collecteur due à la variation  $\Delta I_B$  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  $\mu A$ .

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

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

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

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

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

$\alpha$  = 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  $\alpha$  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 :  $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$

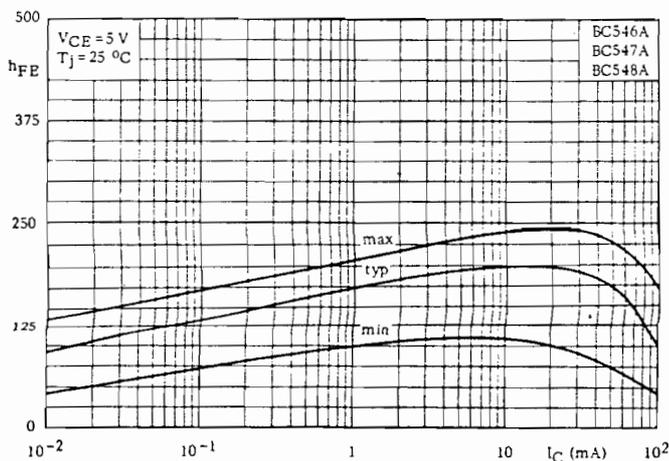


FIGURE 1

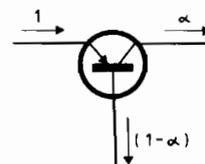


FIGURE 2

### 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).

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

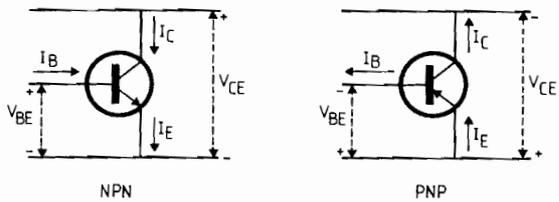


FIGURE 3

**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,  $I_{CBO} < 15 \mu\text{A}$ ).

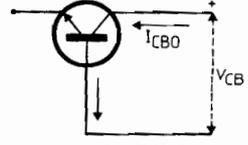


FIGURE 4

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

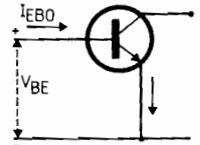


FIGURE 5

– 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 :  $I_{CEO} = B \times I_{CBO}$ .

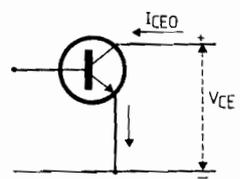


FIGURE 6

**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 mA.

### Résistance de sortie

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

avec :  
 $\Delta V_{CE}$  = variation de la tension collecteur-émetteur.  
 $\Delta I_C$  = 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 mA, si on considère la variation  $\Delta V_{CE}$  entre 5 et 16 V, la variation correspondante  $\Delta I_C$  est de 15 à 17 mA.

La résistance de sortie a pour valeur :

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

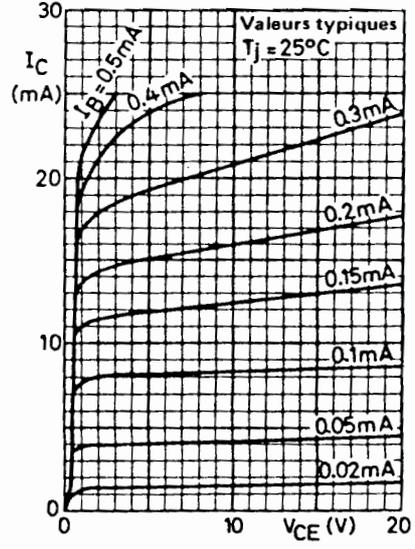


FIGURE 10

## 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 ?

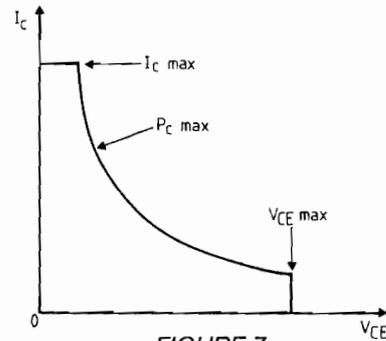


FIGURE 7

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

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 :

- $\Delta V_{BE}$  = variation de tension base-émetteur.
- $\Delta I_B$  = 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  $I_B = 2,5 \text{ mA}$ , nous avons :

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

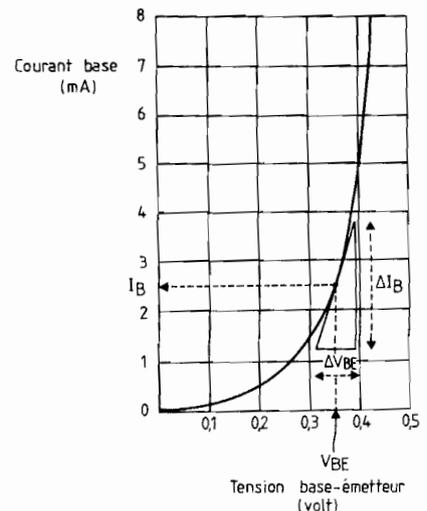
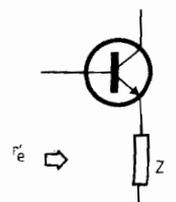


FIGURE 8

La pente de la courbe en ce point donne la résistance dynamique pour 2,5 mA de courant base. A un  $\Delta V_{BE}$  de 0,08 V, (0,395 - 0,315) correspond un  $\Delta I_B$  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 :

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

(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  $\mu$ A à 25 °C. A une température de 75 °C, ce courant prend la valeur :

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

**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

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

La marchandise voyage aux risques et périls du destinataire.

##### CASQUE BALADEUR 30 F CHOC