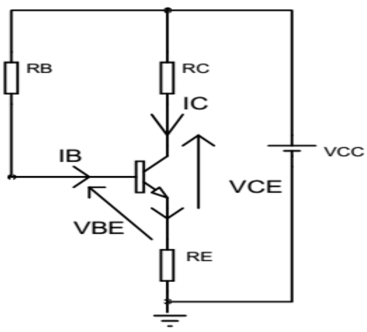
Exercices Proposés

Exercice 1

Etant donné le circuit de la figure ci-dessous



Le transistor est en silicium et il a un gain statique en courant β=100.Nous donnons

R_B=220K; R_C=1,2K; R_E=0,47K; V_{CC} =15V. On demande de :

1. Déterminer le point de fonctionnement Q.
2. tracer la droite de charge statique ainsi que la droite d'attaque statique.

Corrigé type :

Dans le but de travailler avec facilité et pour ne pas traîner les valeurs numériques, donnons des lettres aux différentes résistances et grandeurs électriques du circuit.

De la maille d'entrée, nous avons :

$$V_{CC} = R_B I_B + R_E I_E + V_{BE}$$

On a

$$I_E = (\beta + 1) I_B \approx \beta I_B$$

Alors

$$V_{CC} = R_B I_B + R_E \beta I_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} = (R_B + \beta R_E) I_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E}$$

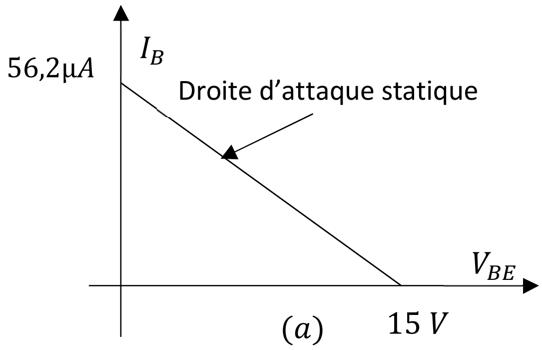
$$I_B = -\frac{V_{BE}}{R_B + \beta R_E} + \frac{V_{CC}}{R_B + \beta R_E}$$

$$I_B = -\frac{V_{BE}}{220000 + 100x0{,}47x1000} + \frac{15}{220000 + 100x0{,}47x1000}$$

$$I_B = -\frac{V_{BE}}{267000} + \frac{15}{267000}$$

Cette dernière équation et la droite d'attaque statique

Représentation de la droite d'attaque statique



(a)

AN :

Le transistor en Silicium alors on prend $V_{BE} = 0{,}6$ V.

$$I_B = \frac{15 - 0{,}6}{220000 + 100x0{,}47x1000} = \frac{14{,}4}{220000 + 100x0{,}47x1000} = 53{,}9\ \mu A$$

De la maille de sortie nous avons :

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

On a

$$I_E \approx I_C$$

Alors

$$V_{CC} = R_C I_C + R_E I_C + V_{CE}$$

$$V_{CC} = (R_C + R_E) I_C + V_{CE}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$

Calcule de V_{CE}

$$I_C = \beta I_B$$

AN :

$$I_C = 100x53{,}9x10^{-6} = 5{,}39\ mA$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E} =$$

Alors

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

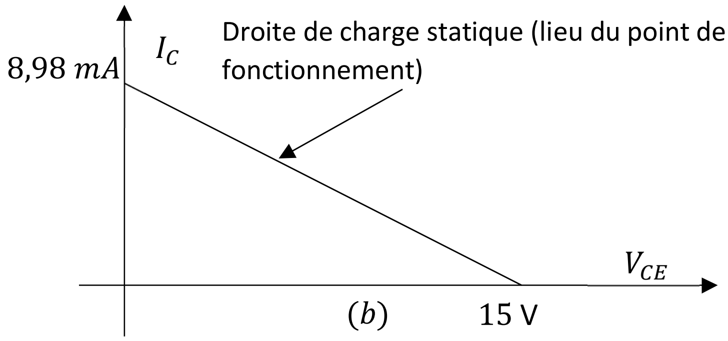
AN :

$$V_{CE} = 15 - 5{,}39x10^{-3}(1{,}2x10^3 + 0{,}47x10^3) = 6\ V$$

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

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{1{,}67x10^3} + \frac{15}{1{,}67x10^3}$$

Cette dernière équation est appelée droite de charge statique.

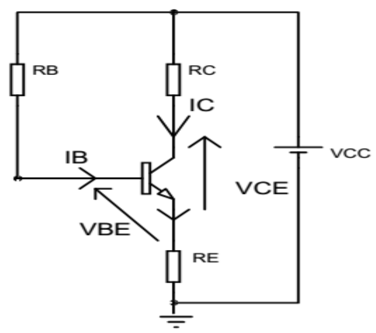


(b)

Le point de fonctionnement est Q (6V, 5,39mA)

Exercice 2

Dans le circuit de la figure ci-dessous, le transistor est polarisé par une résistance de base. Le transistor en silicium avec un gain statique en courant β=150.



Nous donnons R_C=2K ; R_E=1K ; V_{CC} =12V. On demande de déterminer la valeur qu'il faut donner à la résistance de base RB pour que le point de fonctionnement soit au milieu de la droite de charge statique.

Corrigé type

De la maille de sortie nous avons :

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

On a

$$I_E \approx I_C$$

Alors

$$V_{CC} = R_C I_C + R_E I_C + V_{CE}$$

$$V_{CC} = (R_C + R_E) I_C + V_{CE}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{2x10^3 + 1x10^3} + \frac{12}{2x10^3 + 1x10^3}$$

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{3x10^3} + \frac{12}{3x10^3}$$

Pour $I_C = 0$ nous aurons $V_{CE} = 12$ V

Pour $V_{CE} = 0$ nous aurons $I_C = 4$ mA

Le point de fonctionnement est au milieu de la droite de charge statique c.-à-d. $Q\left(\frac{V_{CE}}{2}, \frac{I_C}{2}\right) = Q(V_{CE} = 6V, I_C = 2mA)$.

<u>Calcul</u> de I_B

$$I_C = \beta I_B \Longrightarrow I_B = \frac{1}{\beta} I_C = \frac{1}{150} 2x10^{-3}$$

AN :

$$I_B = 13{,}3x10^{-6} = 13{,}3\ \mu A$$

De la maille d'entrée nous avons

$$V_{CC} = R_B I_B + R_E \beta I_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} = (R_B + \beta R_E) I_B + V_{BE}$$

$$R_B + \beta R_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} - \beta R_E$$

$$R_B = \frac{12 - 0{,}6}{13{,}3x10^{-6}} - 150x1x10^3 = 100{,}7142 k\Omega$$

Etude dynamique

Exercice 1

Prenons comme circuit un montage émetteur commun avec R_E découplée; celle-ci intervient en statique mais pas en dynamique où elle est court-circuitée par la capacité C_E dont l'impédance à la fréquence de travail est considérée comme nulle.

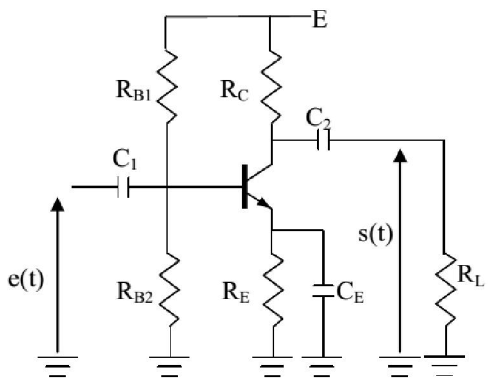


Figure I.1. Schéma d'un étage émetteur commun

1-Calculer la droite de charge statique et dynamique

2-Donner le schéma en dynamique du montage

3-Calculer le gain en tension

4-Calaculer le gain en courant

5-L'impédance d'entrée

6-L'impédance de sortie

7-Le gain composite

Solution

Prenons le cas de l'amplificateur de la Figure I.1 dont la sortie en alternatif seul (E = 0) nous donne la Figure I.2 où :

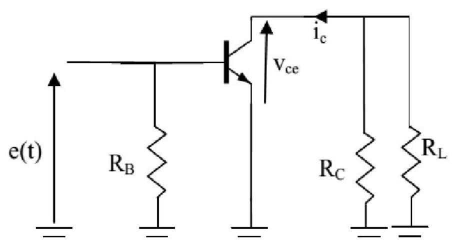


Figure I.2. Schéma équivalent en alternatif du montage 6 pour déterminer la droite de charge dynamique

Exercices résolus

Nous supposons que l'étude statique est déjà faite, la droite de charge statique du circuit concerné est donnée par

$$I_C = -\frac{v_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{E}{R_C + R_E}$$

Le point de fonctionnement calculé en statique est donné par Q (I_0 ,V_0). Passons dans ce cas au tracé de la droite de charge dynamique dont l'équation est:

$$i_C = -\frac{v_{ce}}{R_C//R_L}$$

C'est l'équation d'une droite qui passe par l'origine qui est le point de fonctionnement Q (V_0, I_0). Pour tracer les deux droites de charge statique et dynamique dans le même plan et par rapport à l'origine Q; faisons apparaître les translations I_0 et V_0 dans l'équation.

$$i_C - I_0 = -\frac{v_{CE} - V_0}{R_C//R_L}$$

$$i_C = -\frac{v_{CE} - V_0}{R_C//R_L} + \frac{V_0}{R_C//R_L} + I_0$$

C'est une droite qui passe par le point de fonctionnement. Ce point de fonctionnement déterminé en statique, définit le point d'intersection des deux droites de charge statique et dynamique dont leurs tracés pour le circuit de la Figure IV.21 sont donnés dans la Figure IV.23.

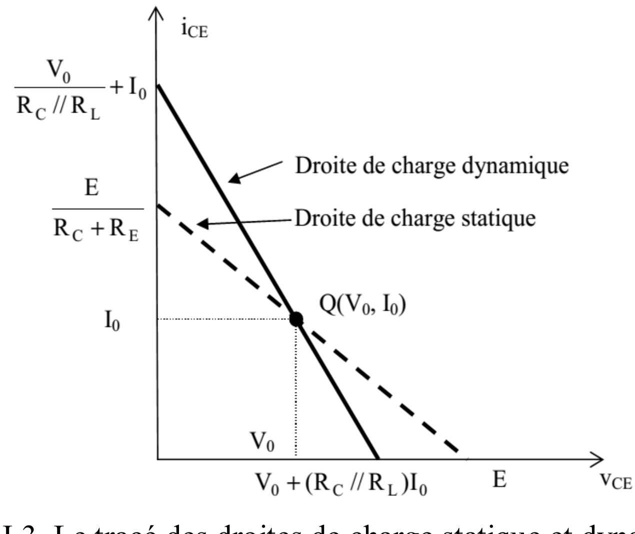


Figure I.3. Le tracé des droites de charge statique et dynamique

Comme nous pouvons le constater, la charge intervient dans l'étude dynamique chose qui ne se fait pas lors de l'étude statique dans le cas d'un couplage capacitif. Avant de déterminer ces caractéristiques il faut d'abord remplacer le transistor par son schéma équivalent en alternatif (on court-circuite la source de tension continue (E=0) et on laisse l'excitation alternative e(t)) tel qu'il est montré sur la Figure IV.24.

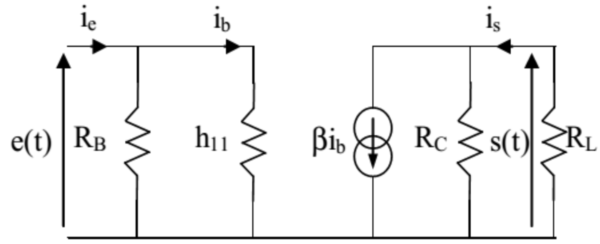


Figure I.4. Schéma équivalent pour les petits signaux du circuit 6

Les condensateurs de liaison (tels que C_1et C_2) et de découplage (tel que C_E) sont calculés de façon à ce que leurs impédances sont négligeables à la fréquence minimale de travail. Par conséquent, tous les condensateurs seront remplacés, en alternatifs, par des court-circuits.

Gain en tension

Le gain en tension est donné par :

$$A_v = \frac{s}{e}$$

$$s = -(R_C//R_L).\beta.i_b$$

$$e = h_{11}i_b$$

Plus exactement on trouve :

$$A_v = -\frac{\beta(R_C//R_L)}{h_{11}}$$

.Gain en courant

Le gain en courant est donnée par :

$$A_i = \frac{i_s}{i_e}$$

$$i_s = \frac{\beta R_C}{R_C + R_L} i_b$$

$$i_s = \frac{R_B + h_{11}}{R_B} i_b$$

$$A_i = \frac{\beta R_C}{R_C + R_L}\frac{R_B}{R_B + h_{11}}$$

- **Impédance d'entrée**

C'est le rapport entre la tension d'entrée et le courant d'entrée :

$$Z_e = \frac{e}{i_e}$$

$$i_e = \frac{e}{R_B} + \frac{e}{h_{11}}$$

$$Z_e = R_B//h_{11} = \frac{R_B h_{11}}{R_B + h_{11}}$$

- **Impédance de sortie**

C'est le rapport entre la tension de sortie et le courant de sortie avec l'entrée court-circuitée. C'est ce qui est traduit par l'équation ci-dessous:

$$Z_s = \left.\frac{s}{i_s}\right|_{e=0}$$

Portons la condition e(t)=0 dans le circuit et débranchons la charge du circuit car c'est cette dernière qui voit son circuit d'attaque comme étant une source de tension d'impédance Z_S, dans le cas du théorème de Thevenin ou une source de courant d'impédance Z_S, dans le cas du générateur de Norton.

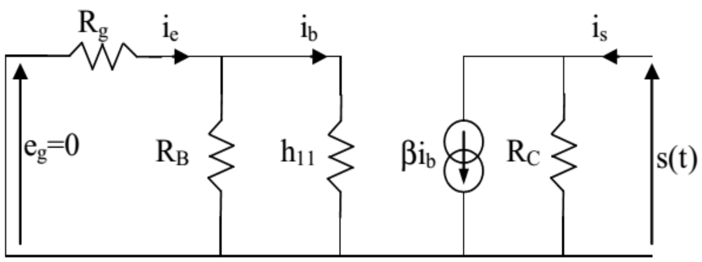


Figure I.5. Schéma de la Figure I.2 avec e(t)=0

En appliquant la loi des mailles du côté de l'entrée pour le circuit de la figure I.5on trouve :

$$i_b = 0$$

Du côté de la sortie du même circuit, en appliquant la loi des nœuds :

$$i_s = \frac{s}{R_C} + \beta i_b$$

Et comme $i_b = 0$ on a

$$i_s = \frac{s}{R_C}$$

Donc $Z_s = R_C$

Exercice 2

Reprenons le même circuit que celui donné par la Figure I.1. avec cette fois ci la capacité C_E de découplage est omise. Le circuit ainsi obtenu est représenté sur la Figure IV.26.

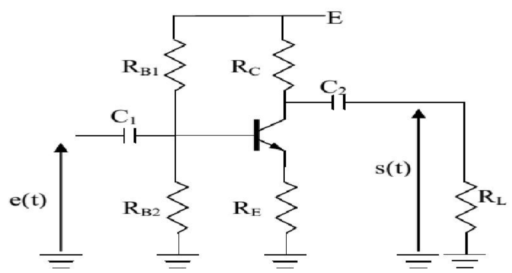


Figure I.6. Montage émetteur commun avec R_E non découplée

1-Calculer la droite de charge statique et dynamique

2-Donner le schéma en dynamique du montage

3-Calculer le gain en tension

4-Calaculer le gain en courant

5-L'impédance d'entrée

6-L'impédance de sortie

7-Le gain composite

Solution

Pour l'étude dynamique et appliquant le théorème de superposition (seul e(t) est appliqué ⇒ imposons 0 à E). Le circuit équivalent en dynamique du montage de la figure 11 devient celui de la figure 12.

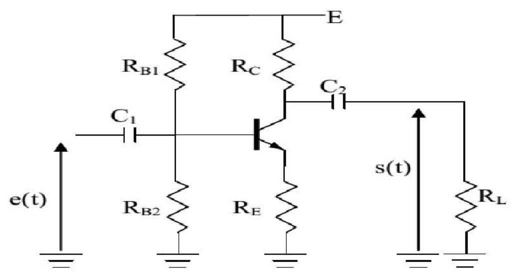


Figure I.6. Montage émetteur commun avec R_E non découplée

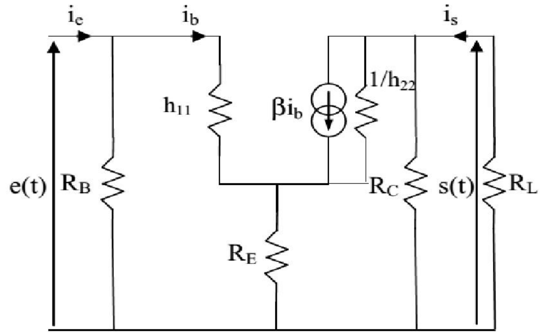


Figure I.7. Schéma équivalent pour les petits signaux du circuit de la Figure IV.26.

Gain en tension

On adopte le schéma équivalent suivant

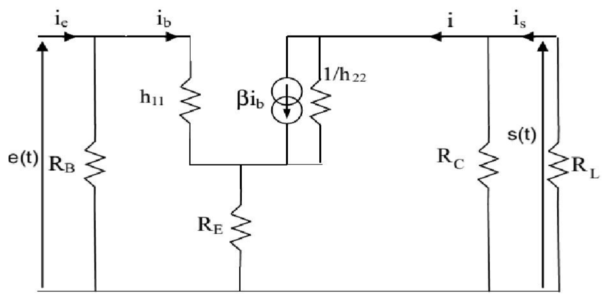


Figure I.8. Schéma équivalent pour les petits signaux du circuit de la Figure IV.26

Le gain en tension est donné par :

$$A_v = \frac{s}{e} \quad ;$$

on pose

$$R_S = R_C // R_L \quad ;$$

et

$$\rho = \frac{1}{h_{22}}$$

$$s = -R_S i \Rightarrow i = -\frac{s}{R_S}$$

$$e = h_{11} i_b + R_E i$$

Par conversion de la source de courant $\beta . i_b$ en un source de tension on aura

$$s = -\rho . \beta . i_b + (\rho + R_E) i$$

On remplace i par sa valeur on aura

$$\begin{cases} e = h_{11} i_b + R_E\left(-\frac{s}{R_S}\right) \\ s = -\rho.\beta.i_b + (\rho + R_E)\left(-\frac{s}{R_S}\right) \end{cases}$$

Par élimination de i_b des deux équation on aura

Plus exactement on trouve :

$$A_v = -\frac{\beta(R_C//R_L)}{h_{11}(R_C//R_L + \rho + R_E) + \rho.\beta.R_E}$$

Si ρ et très grand alors

$$A_v = -\frac{\beta(R_C//R_L)}{h_{11} + \beta.R_E}$$

.Gain en courant

Le gain en courant est donnée par :

$$A_i = \frac{i_s}{i_e}$$

On suppose que ρ et très grand alors

$$i_s = \frac{R_C}{R_C + R_L}\beta i_b$$

$$i_e = \frac{R_B + (h_{11} + (\beta + 1)R_E)}{R_B} i_b$$

$$A_i = \frac{\beta R_C}{R_C + R_L}\frac{R_B}{R_B + (h_{11} + (\beta + 1)R_E)}$$

Impédance d'entrée

C'est le rapport entre la tension d'entrée et le courant d'entrée :

$$Z_e = \frac{e}{i_e}$$

$$i_e = \frac{e}{R_B} + \frac{e}{(h_{11} + (\beta + 1)R_E)}$$

$$Z_e = R_B//(h_{11} + (\beta + 1)R_E) = \frac{R_B(h_{11} + (\beta + 1)R_E)}{R_B + (h_{11} + (\beta + 1)R_E)}$$

Impédance de sortie

On court-circuite l'entrée on aura le schéma ci-dessous

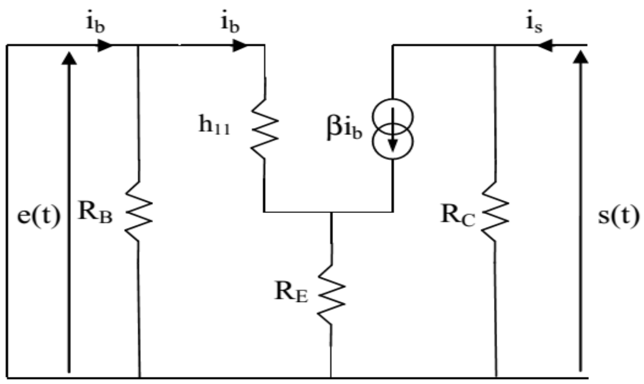


Figure IV.29. Schéma de la Figure IV.26 avec e(t)=0

C'est le rapport entre la tension de sortie lorsque l'entrée est en court-circuit au courant de sortie lorsque la sortie est en circuit ouvert :

$$Z_s = \left.\frac{s}{i_s}\right|_{e=0}$$

En appliquant la loi des mailles du côté de l'entrée pour le circuit de la figure 10 on trouve :

$$i_b = 0$$

Du côté de sortie du même circuit, en appliquant la loi des nœuds:

$$i_s = \frac{s}{R_C} + \beta i_b$$

Et comme $i_b = 0$ on a

$$i_s = \frac{s}{R_C}$$

Donc

$$Z_s = R_C$$

Exercice 3

En considère le montage ci-dessous

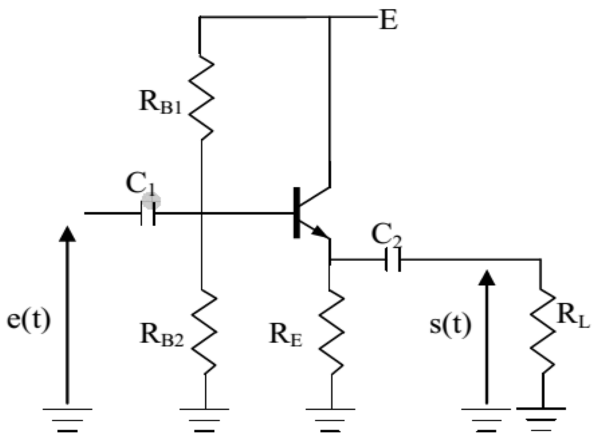


Figure I.30. Montage collecteur commun

1-Qu'elle est le type de montage

2-Donner le schéma en dynamique du montage

3-Calculer le gain en tension

4-Calaculer le gain en courant

5-L'impédance d'entrée

6-L'impédance de sortie

7-Le gain composite

Solution

Comme on peut le remarquer le type du montage peut être toujours déterminé en considérant le régime alternatif. Nous devons tout d'abord déterminer les bornes où l'excitation est appliquée, du côté de l'entrée, et où le signal de sortie est prélevé. La borne restante définit alors la borne commune du montage.

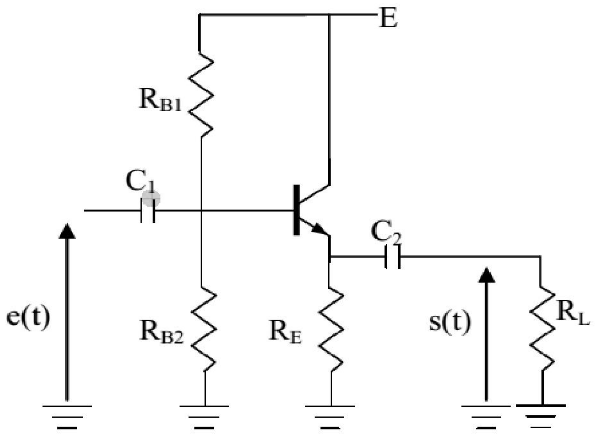


Figure I.30. Montage collecteur commun

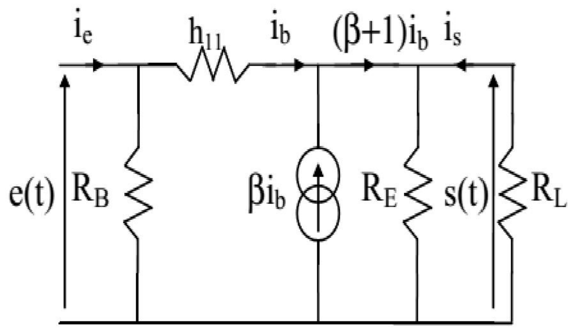


Figure I.31. Schéma équivalent pour les petits signaux du circuit Figure IV.30.

Dans le cas du montage de la Figure I.30, l'entrée est appliquée au niveau de la base B. La sortie est prélevée au niveau de l'émetteur E, donc le montage est un Collecteur Commun.

Gain en tension

Le gain en tension est donné par :

$$A_v = \frac{s}{e}$$

$$s = (R_E//R_L)(1+\beta)i_b$$

$$e = h_{11}i_b + (R_E//R_L)(1+\beta)i_b$$

Plus exactement on trouve :

$$A_v = -\frac{(1+\beta)(R_C//R_L)}{h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta)}$$

Gain en courant

Le gain en courant est donnée par :

$$A_i = \frac{i_s}{i_e}$$

En appliquant le diviseur de courant, à la sortie on tire i_s comme:

$$i_s = -\frac{R_E}{R_E + R_L}(1+\beta)i_b$$

A l'entrée on a:

$$i_e = i + i_b = \frac{e}{R_B} + \frac{e}{h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta)}$$

De cette équation on peut voir que le courant i_e se divise en deux courants suivant deux branches de résistances respectivement R_B et $h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta)$.

Appliquant alors le diviseur de courant:

$$i_e = \frac{R_B + h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta)}{R_B} i_b$$

$$A_i = \frac{(1+\beta)R_E}{R_E + R_L} \frac{R_B}{R_B + h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta)}$$

Impédance d’entrée

C’est le rapport entre la tension d’entrée et le courant d’entrée :

$$Z_e = \frac{e}{i_e}$$

$$i_e = \frac{e}{R_B} + \frac{e}{h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta)}$$

$$i_e = \frac{e}{R_B} + \frac{e}{h_{11}}$$

$$Z_e = R_B//(h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta)) = \frac{R_B(h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta))}{R_B + h_{11} + (R_E//R_L)(1+\beta)}$$

Impédance de sortie

C’est le rapport entre la tension de sortie et le courant de sortie avec l’entrée court-circuitée. C'est ce qui est traduit par l'équation ci-dessous:

$$Z_s = \left.\frac{s}{i_s}\right|_{e=0}$$

Portons la condition e(t)=0 dans le circuit et débranchons la charge du circuit car c'est cette dernière qui voit son circuit d'attaque comme étant une source de tension d'impédance Z_S, dans le cas du théorème de Thevenin ou une source de courant d'impédance Z_S, dans le cas du générateur de Norton.

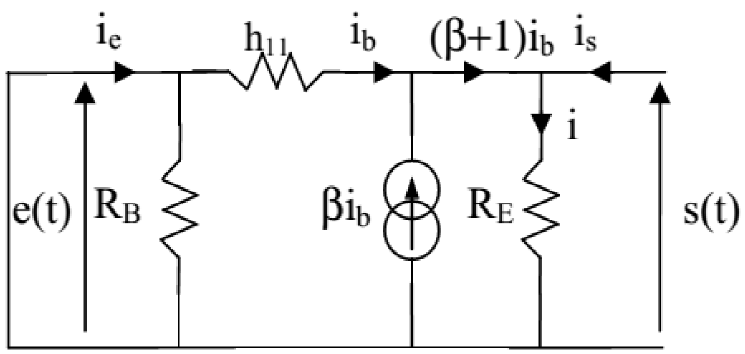


Figure IV.32. Schéma de la figure 9 avec e(t)=0

Du circuit de la Figure IV.32 l'expression de i_s sera donnée par : du côté de la sortie du même circuit, en appliquant la loi des nœuds :

$$i_s = i - (1+\beta)i_b$$

$$i_s = \frac{s}{R_E} + (1+\beta)\,\frac{s}{h_{11}}$$

$$i_s = \frac{s}{R_E} + \frac{s}{\frac{h_{11}}{(1+\beta)}}$$

$$Z_s = R_E // \frac{h_{11}}{(1+\beta)}$$

Comme h11représente la résistance dynamique d'une diode passante (résistance petite) et β le gain en courant statique (généralement très grand), l'impédance de sortie Z_s est dans la plupart des cas approximée par :

$$Z_s = \frac{h_{11}}{(1+\beta)}$$

Exercice 4

En considère le montage ci-dessous

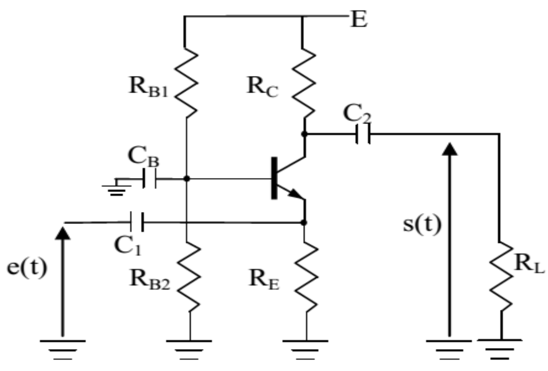


Figure I.30. Montage collecteur commun

1-Qu'elle est le type de montage

2-Donner le schéma en dynamique du montage

3-Calculer le gain en tension

4-Calaculer le gain en courant

5-L'impédance d'entrée

6-L'impédance de sortie

7-Le gain composite

Solution

Pour un montage Base Commune (BC), l'excitation se fait par l'émetteur et la sortie est prélevée au niveau du collecteur. Le circuit de la Figure IV.33, montre le cas d'un montage Base Commune.

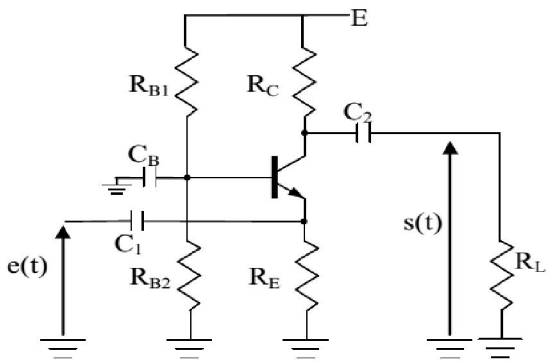


Figure IV.33. Montage base commune

Solution

En alternatif, avec E = 0, les condensateurs sont remplacés par des impédances nulles alors que le transistor est remplacé par son schéma équivalent. Le circuit obtenu est donné sur la ci-dessous.

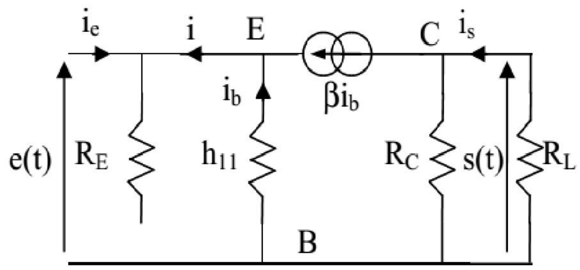


Figure I.4. Schéma équivalent pour les petits signaux correspondant au circuit Figure IV.33

Gain en tension

$$A_V = \frac{s}{e}$$

$$e = -h_{11} i_b$$

$$s = -(R_C//R_L)\beta i_b$$

Alors

$$A_V = \beta \frac{(R_C//R_L)}{h_{11}}$$

• Gain en courant

Le gain en courant est donnée par :

$$A_i = \frac{i_s}{i_e}$$

$$i_s = \frac{R_C}{R_C + R_L} \beta i_b$$

$$i_e = \frac{e(t)}{R_E} - i$$

Nous avons $i = (1+\beta) i_b$ et $i_b = -\frac{e(t)}{h_{11}}$

en remplaçant i en fonction de i_b dans l'expression de i_e on obtient:

$$i_e = \frac{e(t)}{R_E} + \frac{e(t)}{\frac{h_{11}}{(1+\beta)}}$$

de cette expression, on peut facilement voir que le courant i_e se divise sur deux résistancesR_E et $\frac{h_{11}}{(1+\beta)}$. Par conséquent, en appliquant le principe du diviseur de courant on aura :

$$i_e = -\frac{R_E + \frac{h_{11}}{(1+\beta)}}{R_E} i$$

en remplaçant, dans cette expression, i en fonction dei$_b$ Sachant que $i = (1+\beta) i_b$

On aura :

$$i_e = -\frac{(1+\beta) R_E + h_{11}}{R_E} i_b$$

Ceci permet de tirer l'expression du gain en courant :

$$A_i = -\frac{R_E}{(1+\beta)R_E + h_{11}} \times \frac{\beta R_C}{R_C + R_L}$$

Impédance d’entrée

C’est le rapport entre la tension d’entrée et le courant d’entrée :

$$Z_e = \frac{e(t)}{i_e}$$

Nous avons auparavant

$$i_e = \frac{e(t)}{R_E} + \frac{e(t)}{\frac{h_{11}}{(1+\beta)}}$$

Alors

$$Z_e = R_E // \left(\frac{h_{11}}{(1+\beta)}\right)$$

Impédance de sortie

C’est le rapport entre la tension de sortie lorsque l’entrée est en court-circuit au courant de sortie lorsque la sortie est en circuit ouvert :

$$Z_s = \left.\frac{s(t)}{i_s}\right|_{e(t)=0}$$

Dans ce cas le circuit sera comme suit :

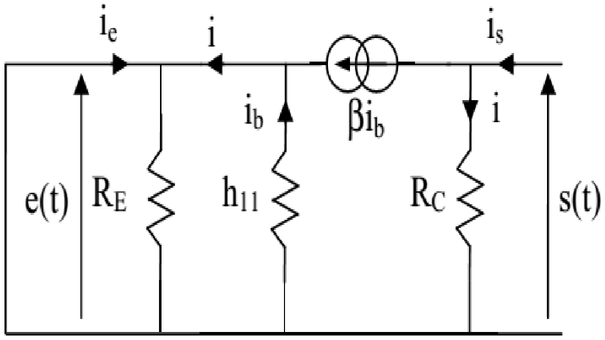


Figure I.35. Schéma de la Figure I.34 avec e(t)=0

$e(t) = 0$ permet de voir que $i_s = 0$.

On aura donc

$$Z_s = R_C$$