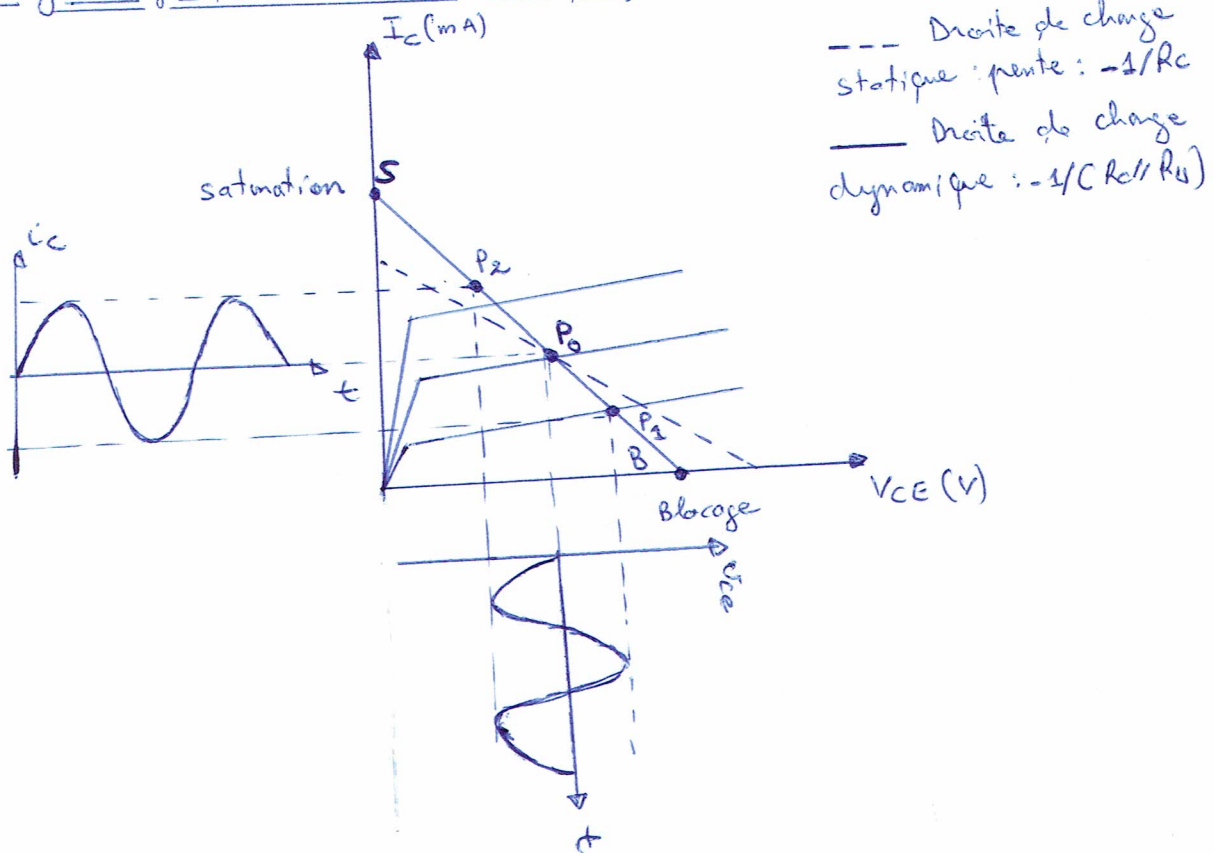


I. Introduction:

Le transistor bipolaire possède deux fonctions principales: - l'amplification de signaux dans les circuits analogiques - la commutation dans les circuits logiques. Dans ce chapitre, nous allons étudier la fonction d'amplification.

II. Analyse graphique de l'amplification:



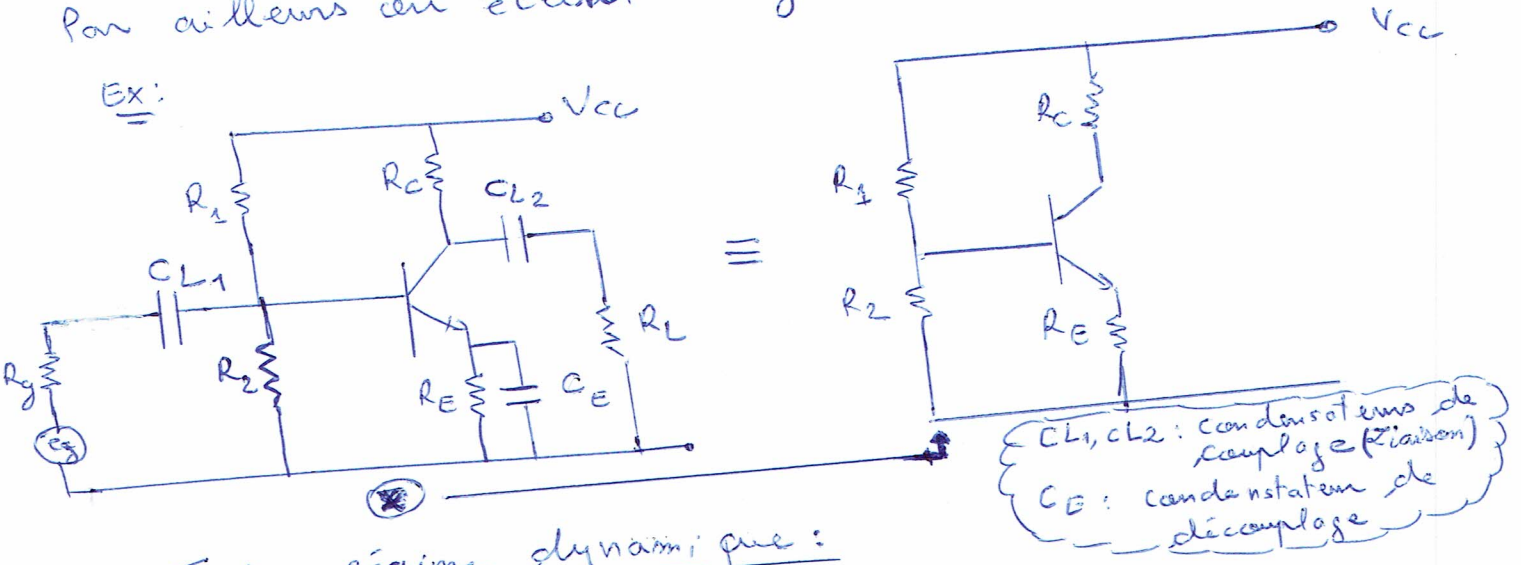
- Le point de polarisation P_0 se déplace sur la droite de charge dynamique entre les points P_1 et P_2 . Le courant et la tension de sortie variables varient autour du point P_0 . Pour qu'ils puissent varier dans une large gamme sans atteindre la saturation ou le blocage, ce point doit être placé, de préférence au milieu de la droite de charge dynamique.
- Pour être en régime linéaire, on doit se contenter d'appliquer des petites variations sinusoïdales à l'entrée du montage.

III. Circuit équivalent de l'amplificateur en régime continu et variable:

III.1: régime continu (statique):

Pour l'étude en régime statique, les condensateurs de couplage et de découplage sont remplacés par des circuits ouverts. Par ailleurs en éteignant les générateurs de tension variable.

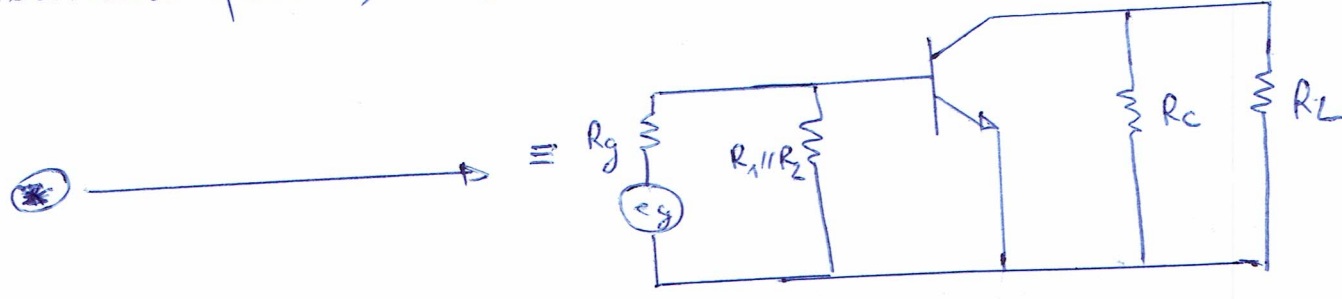
Ex:



III.2. régime dynamique:

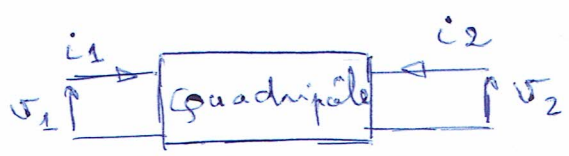
Pour dessiner le schéma équivalent en régime dynamique, on réduit les sources continues à zéro et on remplace les condensateurs par des court-circuit.

Ex:



IV. Schéma équivalent au transistor aux fréquences moyennes et aux petites variations: Paramètres hybrides.

• Un transistor peut-être considéré comme un quadripôle.



Lorsque les grandeurs caractéristiques choisies sont V_1 (tension d'entrée) et i_2 (courant de sortie), les paramètres qui les lient au i_1 et V_2

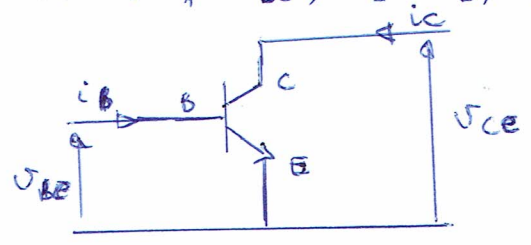
sont appelés paramètres hybrides et sont notés h_{ij}

$$\begin{cases} v_1 = h_{11} i_1 + h_{12} v_2 \\ i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} v_2 \end{cases}$$

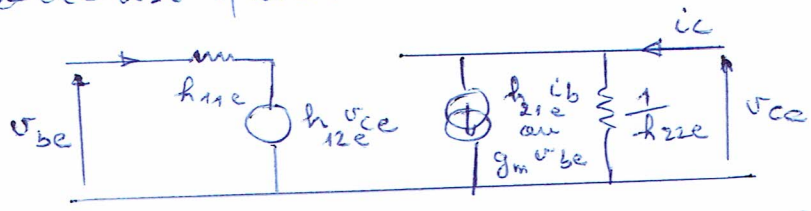
Pour le montage émetteur commun: $v_1 = v_{BE}$; $i_1 = i_B$; $v_2 = v_{CE}$

$i_2 = i_C$ d'où:

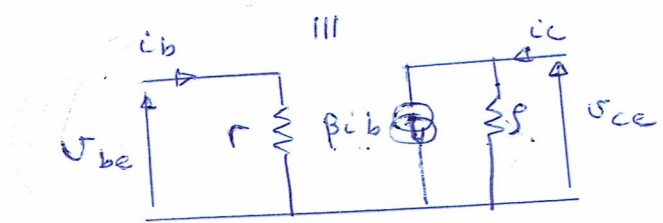
$$\begin{cases} v_{BE} = h_{11e} i_B + h_{12e} v_{CE} \\ i_C = h_{21e} i_B + h_{22e} v_{CE} \end{cases}$$



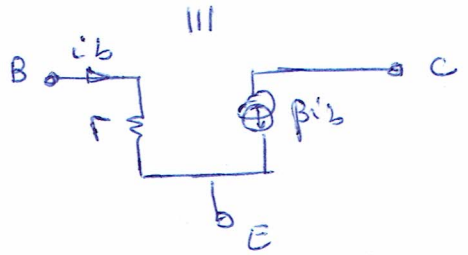
Ainsi, le transistor dans le cas d'un montage EC peut être modélisé par:



$$\{ h_{11e} = r ; h_{12e} \approx 0 ; h_{21e} = \beta ; \frac{1}{h_{22e}} = \rho \}$$



$$h_{22e} \rightarrow 0 \iff \rho \rightarrow \infty$$

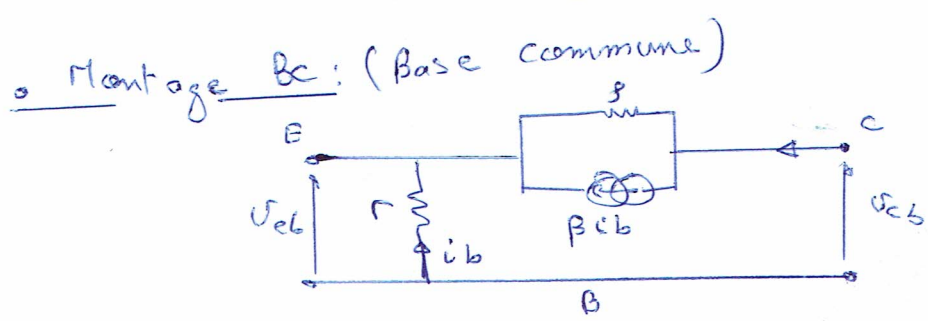
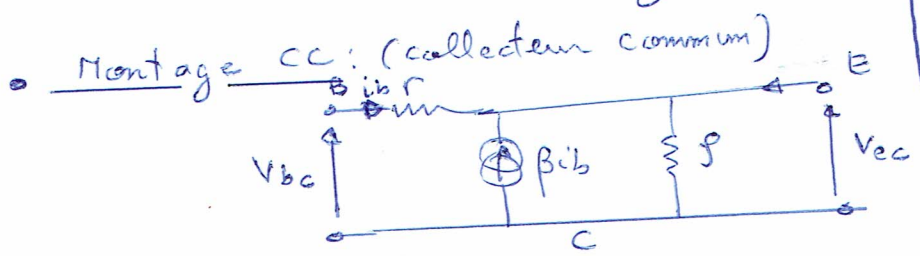


$$r = \beta \frac{V_T}{I_{Ceqpos}}$$

$$V_T = 26 \text{ mV à } 300^\circ \text{ K}$$

$$g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} ; g_m = \frac{I_{Ceqpos}}{V_T}$$

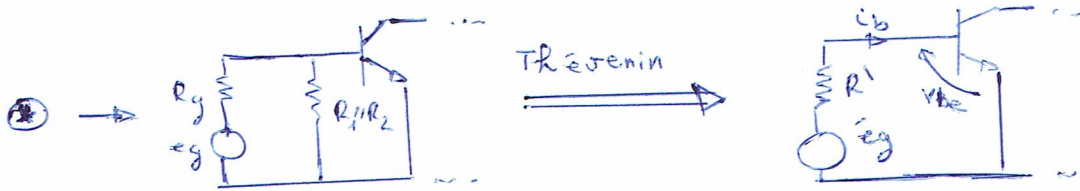
$$r = \frac{\beta}{g_m}$$



Remarque :

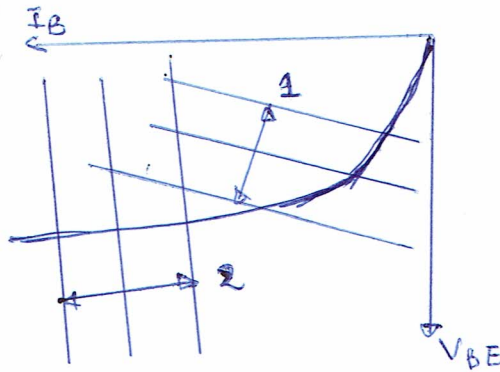
Il est à signaler que les indications du type V_{BE} ; V_{CE} ; I_B et I_C montrent qu'on est en présence de grandeurs statiques, alors que les variables du type, v_{be} , v_{ce} , i_c , et i_b indiquent des grandeurs dynamiques.

V. Effets de la commande sur la distorsion



$v_{be} = e_g - R' i_b$

- Si R' est faible ($v_{be} \approx e_g$) (cas n° 1), on fait une commande en tension (attaque en tension). Le risque de distorsion du signal est important car la droite d'attaque passera sur la zone de fonctionnement dans la zone du coude de la caractéristique. Dans ce cas le signal de sortie ne sera plus proportionnelle au signal d'entrée.



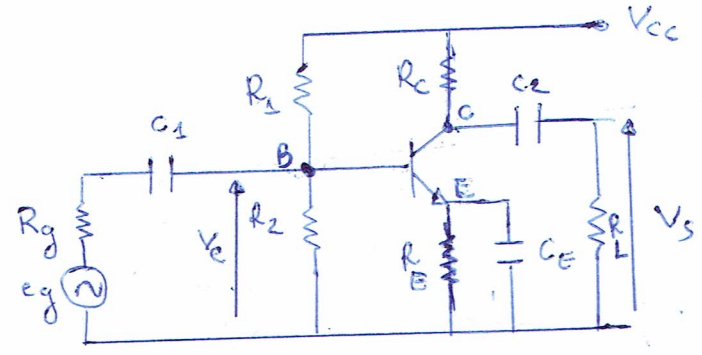
- Si R' est grand (cas n° 2) on peut écrire : $i_b = \frac{e_g}{R'} - \frac{v_{be}}{R'} \approx \frac{e_g}{R'}$ on fait une attaque en courant. La droite d'attaque est presque verticale et le risques de distorsion sont plus faible.

- En résumé, on peut affirmer qu'il est préférable d'avoir une commande en courant qu'une commande en tension, pour éviter les problèmes de distorsions de signaux.

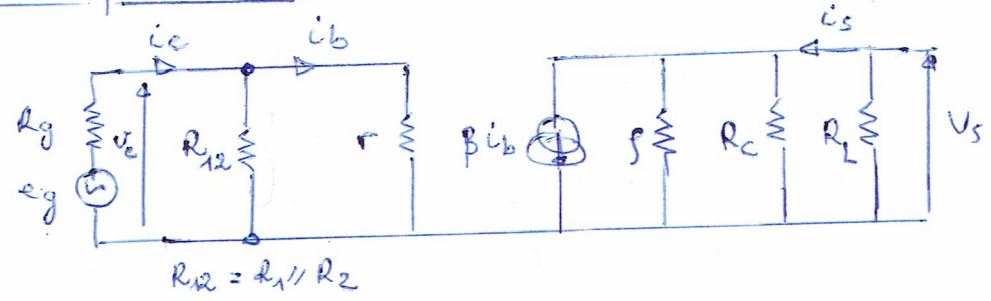
VI) Caractéristiques dynamiques des trois montages transistor

On entend par caractéristiques dynamiques le gain en tension, le gain en courant, l'impédance d'entrée et l'impédance de sortie. Nous allons dans cette partie calculer ces quatre paramètres pour chacun des trois montages: émetteur commun, base commune et collecteur commun.

VI.1. Montage émetteur commun



■ schéma équivalent:



■ Gain en tension:

$$\begin{cases} v_e = r i_b \\ v_s = - (R_c \parallel R_L) \beta i_b \end{cases} \Rightarrow A_v = \frac{v_s}{v_e} = - \frac{\beta (R_c \parallel R_L)}{r}$$

↳ A_v négatif \rightarrow existence d'un déphasage de (π) entre la tension de sortie et la tension d'entrée

↳ Gain à vide ($R_L \rightarrow \infty$): $A_{v0} = - \frac{\beta (R_c)}{r}$

↳ Le gain est de l'ordre de 100 \rightarrow gain élevé

■ Gain en courant:

$$\begin{cases} i_b = [R_{12} / (R_{12} + r)] i_e \text{ (division de courant)} \rightarrow i_e = [(R_{12} + r) / R_{12}] i_b \\ i_s = [(R_c \parallel R_L) / (R_c \parallel R_L + R)] \beta i_b \text{ (" " ")} \end{cases}$$

$$A_i = \frac{i_s}{i_e} \rightarrow A_i = \beta \frac{(R_c \parallel \beta) \cdot R_{12}}{(R_c \parallel \beta + R_L)(R_{12} + r)}$$

↳ gain en courant élevé

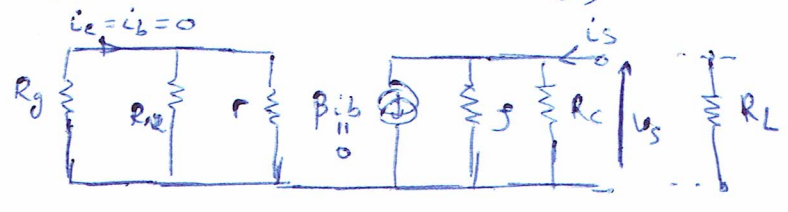
■ Impédance d'entrée:

$$V_e = (R_{12} \parallel r) i_e \iff R_e = \frac{V_e}{i_e} = R_{12} \parallel r$$

↳ Impédance d'entrée moyenne (de l'ordre de kilo ohm).

■ Impédance de sortie: (Impédance vue de la charge)

$$R_s = \left(\frac{V_s}{i_s} \right) \text{ avec } V_e = 0$$



La résistance de sortie est la résistance vue des bornes de la charge R_L .

Cette dernière étant déconnectée.

Le circuit d'entrée ne comporte plus de générateur, i_b est null.

$$V_s = (\beta \parallel R_c) i_s \iff R_s = \beta \parallel R_c$$

↳ L'impédance de sortie peut être relativement élevée.

■ gain en puissance:

$$A_p = |A_v \cdot A_i|$$

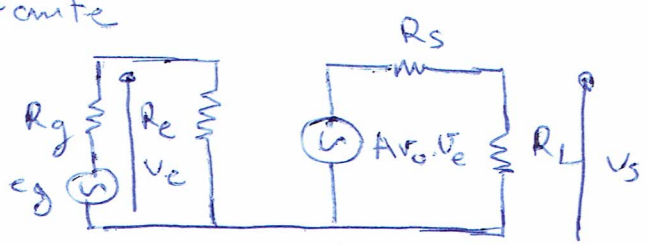
Le gain en puissance est exprimé le plus souvent en décibels

$$G_p = 10 \log A_p$$

■ Remarque:

$$\begin{cases} G_v = 20 \log |A_v| \\ G_i = 20 \log |A_i| \end{cases}$$

↳ L'amplificateur peut finalement prendre la forme de synthèse suivante



VI.2. Montage base commune :

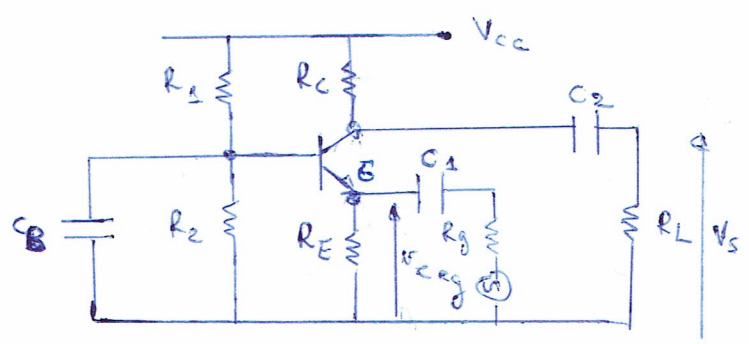
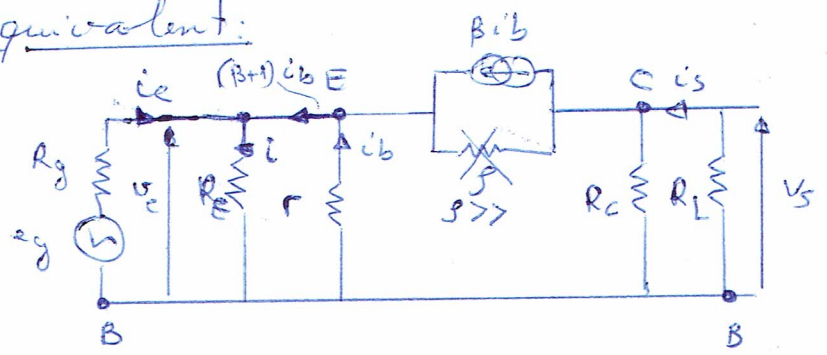


schéma équivalent :



Gain en tension :

$$\begin{cases} v_e = -r i_b \\ v_s = -(R_C \parallel R_L) \beta i_b \quad (\beta \gg 1) \end{cases}$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{v_s}{v_e} = \frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{r}$$

gain en tension élevé

Gain en courant :

$$v_e = R_E i = -r i_b \Rightarrow i = -\frac{r}{R_E} i_b$$

$$i_e = i - (\beta + 1) i_b \Leftrightarrow i_e = -\left(\frac{r}{R_E} + \beta + 1\right) i_b$$

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

$$A_i = \frac{i_s}{i_e} = -\beta \frac{R_E R_C}{(R_E (1 + \beta) + r) (R_C + R_L)}$$

is et ie sont en opposition de phase.

gain en courant faible (très légèrement inférieur à 1)

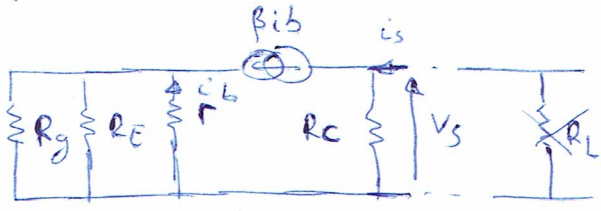
Impédance d'entrée :

$$R_e = \frac{v_e}{i_e} = \frac{r R_E}{r + R_E (1 + \beta)}$$

Impédance d'entrée faible (jusqu'à quelques centaines d'ohms)

Impédance de sortie:

En pratique, la source de courant qui a une impédance infinie, isole



R_c du reste du circuit, donc: $R_s \approx R_c$

Impédance de sortie élevée.

VI.3. Montage collecteur commun

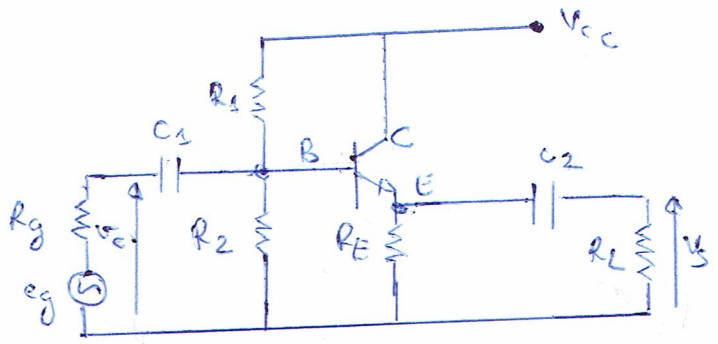
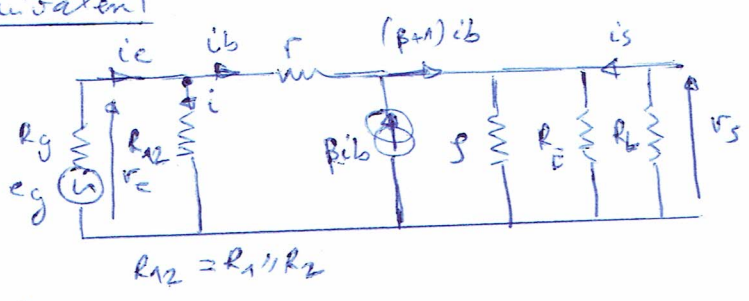


schéma équivalent



Gain en tension:

$$\begin{cases} v_e = (r + (\beta+1)(R_E \parallel R_L)) i_b \\ v_s = (\beta+1) i_b (R_E \parallel R_L) \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow A_v = \frac{v_s}{v_e} = \frac{(\beta+1)(R_E \parallel R_L)}{r + (\beta+1)(R_E \parallel R_L)}$$

$$\beta \rightarrow \infty \Leftrightarrow A_v \approx \frac{(\beta+1)(R_E \parallel R_L)}{r + (\beta+1)(R_E \parallel R_L)}$$

$$\text{si } r \ll (\beta+1)(R_E \parallel R_L) \rightarrow A_v \approx 1$$

Gain en tension faible.

Gain en courant:

$$i_b = \frac{R_{12}}{R_{12} + r + (\beta+1)(R_E \parallel R_L)} i_e \rightarrow i_e = \frac{R_{12} + r + (\beta+1)(R_E \parallel R_L)}{R_{12}} i_b$$

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

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

$$A_i = -(1+\beta) \frac{(\beta \parallel R_E)}{(\beta \parallel R_E) + R_L} \cdot \frac{R_{12}}{R_{12} + r + (\beta+1)(\beta \parallel R_E \parallel R_L)} \quad (9)$$

↳ gain en courant élevé

■ Impédance d'entrée:

$$\begin{cases} i_e = i_b + i \rightarrow i_e = i_b + \frac{v_e}{R_{12}} \quad (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_e = r i_b + (\beta \parallel R_E \parallel R_L) (\beta+1) i_b = [r + (\beta+1)(\beta \parallel R_E \parallel R_L)] i_b \quad (2) \end{cases}$$

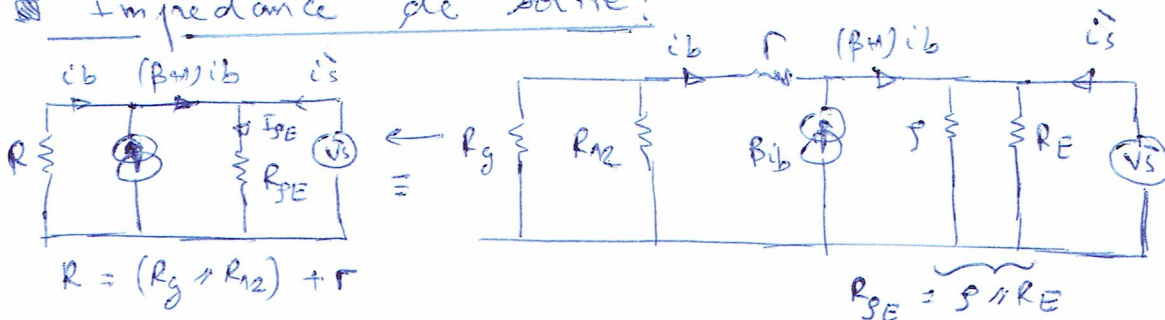
(2) dans (1)

$$i_e = \frac{v_e}{r + (\beta \parallel R_E \parallel R_L)(\beta+1)} + \frac{v_e}{R_{12}} \rightarrow \frac{i_e}{v_e} = \frac{1}{r + (\beta \parallel R_E \parallel R_L)(\beta+1)} + \frac{1}{R_{12}}$$

$$R_e = \frac{v_e}{i_e} \rightarrow R_e = R_{12} \parallel [r + (\beta \parallel R_E \parallel R_L)(\beta+1)]$$

↳ Impédance d'entrée élevée (jusqu'à quelques centaines de K Ω)

■ Impédance de sortie:



$$R = (R_g \parallel R_{12}) + r$$

$$R_{BE} = \beta \parallel R_E$$

$$i_s + (\beta+1) i_b = i_{BE} \Leftrightarrow i_s = i_{BE} - (\beta+1) i_b, \quad i_{BE} = \frac{v_s}{R_{BE}}$$

$$v_s + R i_b = 0 \Leftrightarrow i_b = \frac{-v_s}{R}$$

$$i_s = \frac{v_s}{R_{BE}} + (\beta+1) \frac{v_s}{R} \rightarrow \frac{i_s}{v_s} = \frac{1}{R_{BE}} + \frac{\beta+1}{R} = \frac{1}{R_{BE}} + \frac{1}{\frac{R}{\beta+1}}$$

$$\rightarrow \frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_{BE}} + \frac{1}{\frac{R}{\beta+1}}$$

$$R_s = R_{BE} \parallel \left(\frac{R}{\beta+1}\right)$$

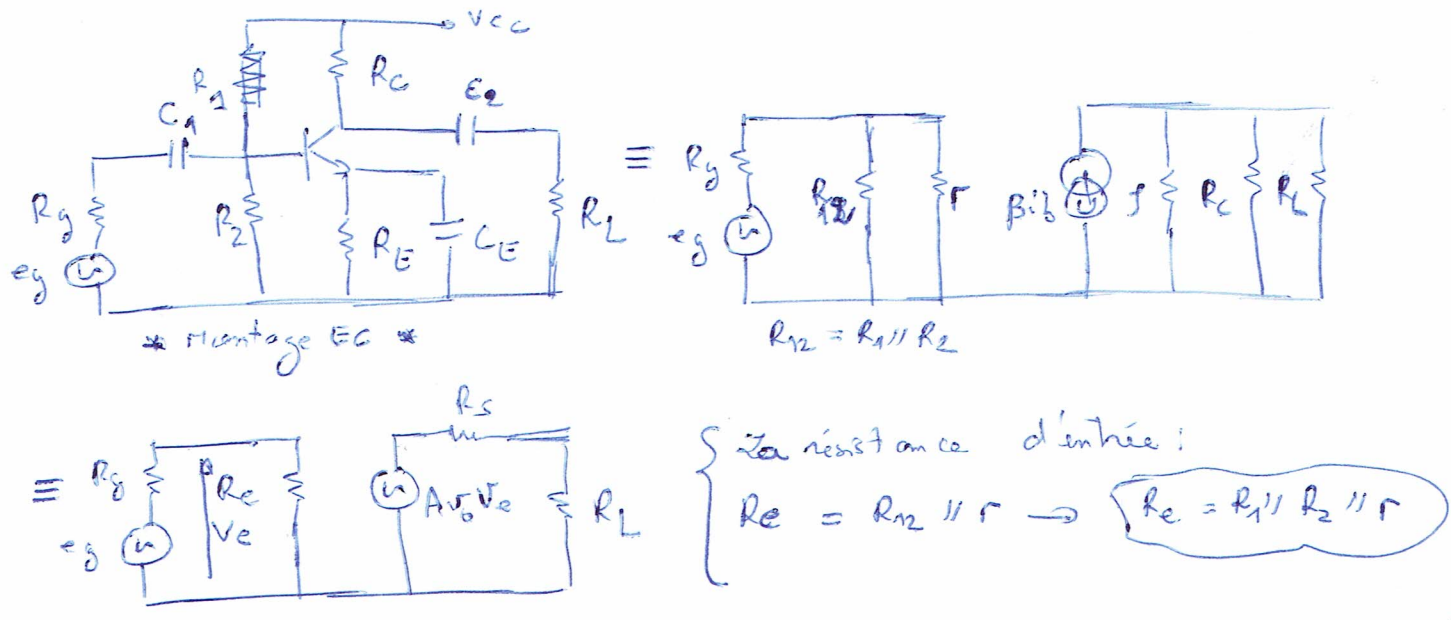
↳ Impédance de sortie faible.

VI. 4. Conclusion:

- ↳ Le montage émetteur commun amplifie de façon importante en tension et en courant. Son amplification en puissance est appréciable. C'est le montage amplificateur le plus utilisé.
- ↳ Le montage base commune possède une faible impédance d'entrée. Il amplifie en tension, mais n'amplifie pas en courant. Il possède une large bande passante. Il est surtout utilisé en haute fréquence.
- ↳ Le montage collecteur commun n'amplifie pas en tension, mais amplifie en courant. Il présente une très grande impédance d'entrée et une très faible impédance de sortie, d'où son emploi fréquent en étage adaptateur d'impédances.

VII. Influence de la résistance interne du générateur

La valeur de la résistance interne du générateur si elle est importante peut influencer sur l'amplitude du signal de sortie:



$$V_e = \frac{R}{R_e + R_g} e_g$$

si $R_e \gg R_g \Rightarrow V_e \approx e_g$

Pour éviter donc une chute de tension importante au niveau de la résistance interne du générateur, il faut que la résistance d'entrée de l'étage soit importante.

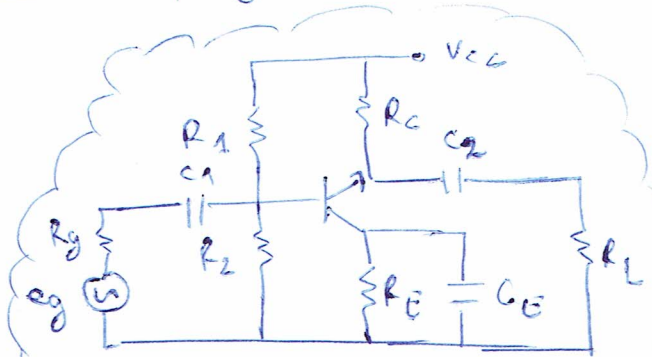
VIII. Capacités de liaison et de découplage

VIII.1. Rôle:

VIII.1.1. Capacités de liaison:

Elles évitent que les courants continus de polarisation circulent éventuellement dans les parties qui précèdent ou suivent l'amplificateur.

→ Quand une capacité de liaison est placée entre les étages d'un amplificateur, elle permet d'avoir des points de fonctionnement indépendants pour chaque transistor.



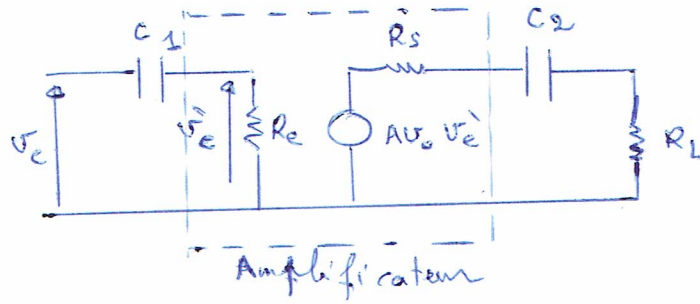
C_1, C_2 : capacités de liaison
 C_E : Capacité de découplage

VIII.1.2. Capacité de découplage:

L'étude de la stabilisation thermique montre que l'utilisation d'une résistance d'émetteur (R_E) est nécessaire. Cependant, l'introduction de R_E diminue l'amplification en tension. Il faut donc la découpler en alternatif en lui plaçant en parallèle un condensateur qui doit se comporter, comme un court-circuit en alternatif. Ce condensateur est appelé: condensateur de découplage.

VIII. 3. Influence des Capacités de liaison

Nous prendrons comme exemple le montage émetteur commun :



↳ Influence de la capacité de liaison d'entrée ($C_1 \neq 0, C_2 = 0$):

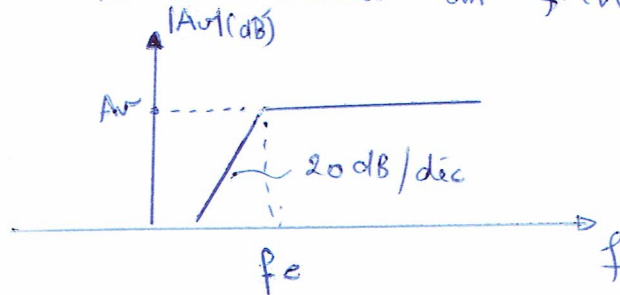
$$v_e' = \frac{R_e}{R_e + \frac{1}{j C_1 \omega}} v_e \rightarrow v_e' = \frac{j R_e C_1 \omega}{1 + j R_e C_1 \omega} v_e \text{ et } v_s = \frac{R_L}{R_L + R_s} A v_o v_e'$$

$$v_s = \frac{R_L}{R_L + R_s} A v_o \frac{j R_e C_1 \omega}{1 + j R_e C_1 \omega} v_e$$

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} \rightarrow A_v = \left[\frac{R_L}{R_L + R_s} A v_o \right] \left[\frac{j R_e C_1 \omega}{1 + j R_e C_1 \omega} \right]$$

en pose $\omega_c = 1 / R_e C_1$ $\rightarrow A_v = \left[\frac{R_L}{R_L + R_s} A v_o \right] \left[\frac{j \frac{\omega}{\omega_c}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}} \right]$

Le gain en tension A_v est donc un filtre passe-haut.



↳ Influence de la capacité de liaison de sortie ($C_2 \neq 0, C_1 = 0$)

$$v_e' = v_e \text{ et } v_s = A v_o \frac{j R_L C_2 \omega}{1 + j (R_L + R_s) C_2 \omega} v_e$$

$$A_v = A v_o \frac{j R_L C_2 \omega}{1 + j (R_L + R_s) C_2 \omega}$$

on obtient également la fonction de transfert d'un passe-haut.

↳ Les capacités de liaison introduisent une fréquence de coupure

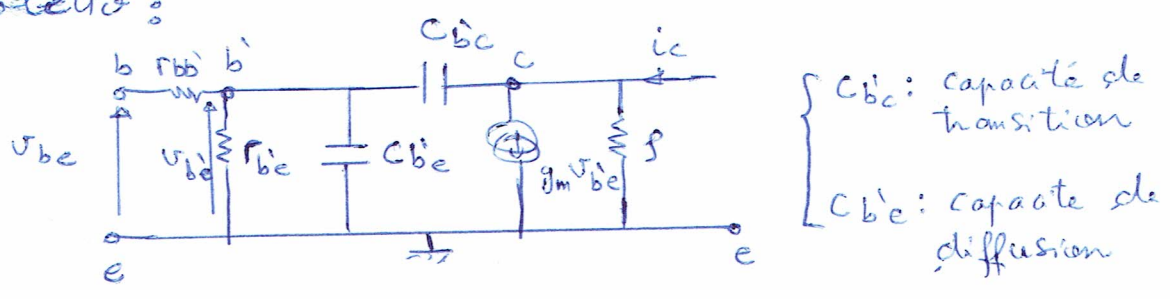
basse, dans l'expression du gain en tension. C'est la plus grande fréquence qui détermine la fréquence de coupure basse de l'amplificateur.

↳ Réponse en fréquence:

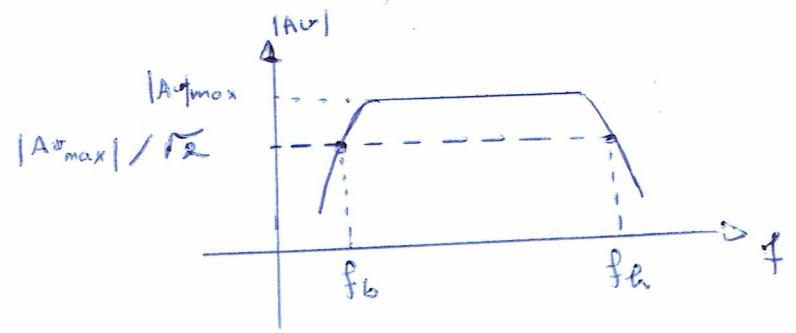
↳ Dans un montage amplificateur à transistors, les condensateurs de liaison et découplage limitent le fonctionnement du montage aux fréquences basses car leurs valeurs sont souvent élevées.

↳ Un amplificateur à transistors est également limité en hautes fréquences. Cette limitation est due aux condensateurs internes au transistor (capacité de diffusion, capacité de transition qui, elles, ont des faibles valeurs.

→ Aux fréquences élevées, on fait appel au schéma naturel ou de Giacometti :

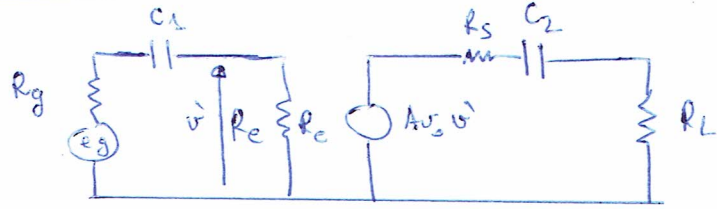


↳ Ainsi, la courbe de réponse d'un amplificateur à transistors a l'allure suivante :



Δf : la bande passante $\rightarrow \Delta f = f_h - f_b$

VIII.3. Calcul des condensateurs de liaison et de découplage:



$$[R_e + R_g] \gg \frac{1}{2\pi f C_1}$$

Un moyen pratique pour trouver la valeur de C_1 est de considérer que la résistance $(R_e + R_g)$ est dix fois supérieure à la réactance du condensateur en question à la fréquence de travail « f »:

$$(R_e + R_g) \gg \frac{10}{2\pi f C_1} \rightarrow C_1 > \frac{10}{2\pi f (R_e + R_g)}$$

La valeur de C_2 peut être définie par la relation:

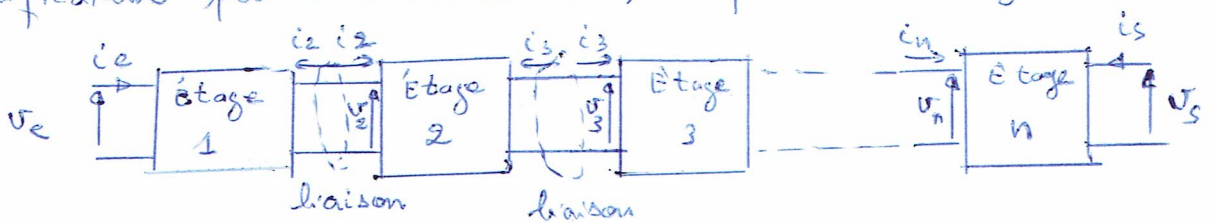
$$(R_s + R_L) > \frac{10}{2\pi f C_2} \rightarrow C_2 > \frac{10}{2\pi f (R_s + R_L)}$$

On fait de même avec le condensateur de découplage de la résistance R_E en écrivant:

$$R_E > \frac{10}{2\pi f C_E} \rightarrow C_E > \frac{10}{2\pi f R_E}$$

IX Association d'étages amplificateurs:

un amplificateur peut être constitué de plusieurs étages:



Gain en tension:

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = \frac{v_s}{v_n} \cdot \frac{v_n}{v_{n-1}} \dots \times \frac{v_2}{v_e} \rightarrow A_v = A_{v1} \cdot A_{v2} \dots A_{vn}$$

Gain en courant:

$$A_i = \frac{i_s}{i_e} = \frac{i_s}{i_n} \cdot \frac{i_n}{i_{n-1}} \dots \frac{i_2}{i_e} \rightarrow A_i = A_{i1} \cdot A_{i2} \dots A_{in}$$

avec $A_{vs} = \frac{v_s}{v_e} = \frac{R_L i_s}{R_{e1} i_e} = A_i \frac{R_L}{R_{e1}}$

R_L : charge
 R_{e1} : Résistance d'entrée du premier étage.

↳ Impédance d'entrée:

L'impédance d'entrée de la chaîne est l'impédance d'entrée du premier étage compte tenu de la présence des autres étages et de la charge.

↳ Impédance de sortie:

L'impédance de sortie de la chaîne est l'impédance de sortie du dernier étage compte tenu de la présence des autres étages et de la résistance R_g du générateur.

↳ La liaison entre les étages peut se faire de différentes manières:

→ Liaison capacitive: Les étages sont séparés par des capacités. Ainsi la polarisation d'un étage est parfaitement indépendante de l'étage amont et de l'étage aval.

→ Liaison continue (directe): La sortie de l'amplificateur (1) est reliée directement à l'entrée de l'amplificateur (2). Cette liaison est indispensable pour traiter des signaux continus.

→ Liaison par transformateur: Liaison très utilisée en haute fréquence pour l'adaptation d'impédance.

Bibliographie:

- [1]. "Chapitre 3 : transistor tri-polaire et amplification en tension",
cours, TD électronique module E4, Réseaux et télécommunications,
Université de Versailles - Saint - Quentin - Yvelines, Emmanuelle Peuch.
- [2]. "Dispositifs électroniques et applications"
Farida Hobar - Boudebous
Édition Université Mentemmi, Constantine, 2003.
- [3]. "Électronique générale", cours et exercices résolus.
A. Benayad, D. Guendouz
office des publications universitaires, 2011 (3^{ème} Edition)
- [4]. "Électronique générale", les composants passifs, les composants
actifs, l'amplificateur opérationnel.
Brahim Harroubia
office des publications universitaires, 2013.
- [5]. "Cours d'électronique"
Hammed Ladjouze.
office des publications universitaires, 2010 (3^{ème} Edition)
- [6]. "Cours d'électronique" Tome II : composants électronique
Francis Milsant
Editions EYROLLES, 1981
- [7]. "Les montages amplificateurs fondamentaux à transistors
tripolaires" → cours
Philippe Roux, 2005
- [8]. "Montage émetteur commun" cours
Rousseau
- [9]. "Principes d'électronique" "هبادي الإلكترونيك"
بوزوران الحسني
دار هومة، 2008