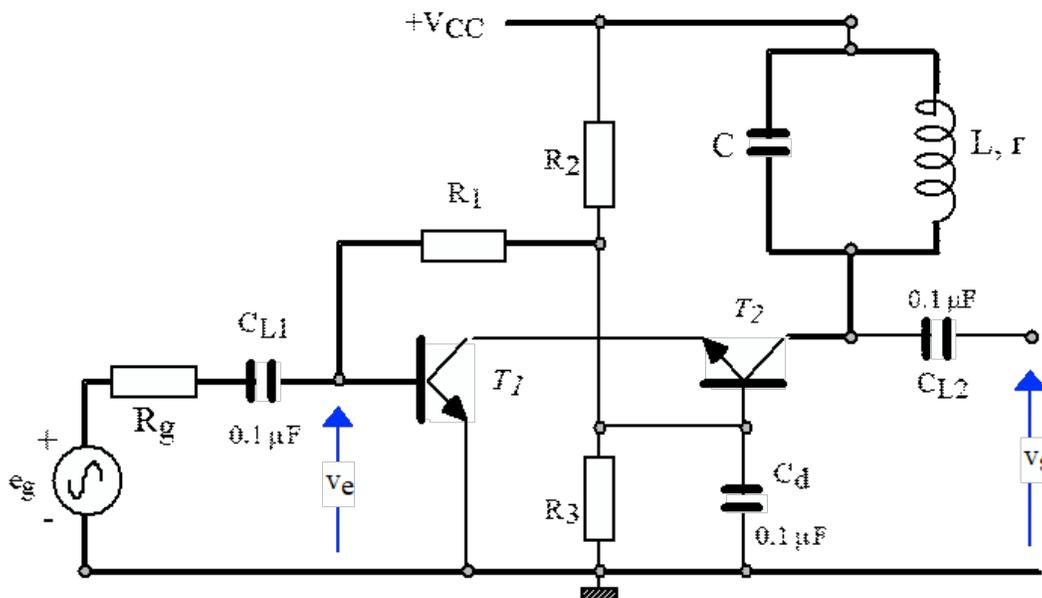


LES MONTAGES AMPLIFICATEURS FONDAMENTAUX A TRANSISTORS BIPOLAIRES



AMPLIFICATEUR A TRANSISTOR NPN MONTE EN EMETTEUR COMMUN

1° PARTIE : CONCEPTION DU MONTAGE EMETTEUR COMMUN

On considère le montage donné en figure 1 qui représente un transistor NPN alimenté sous une tension d'alimentation V_{CC} de 20V. Ce transistor a été polarisé « en tension » par les résistances R_1 et R_2 , de telle manière que son courant de repos de collecteur soit fixé à 6.5 mA. Sur le schéma est indiqué la valeur du potentiel par rapport à la masse de la base, de l'émetteur et du collecteur.

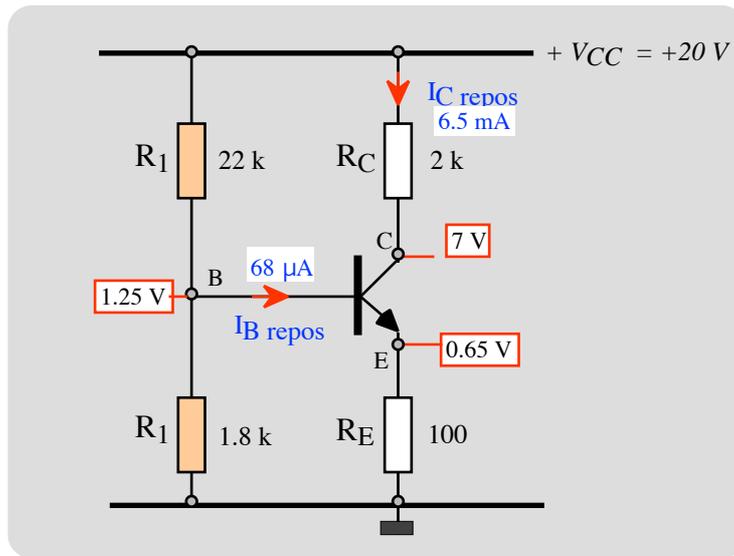


Figure 1 : transistor NPN polarisé

On désire obtenir un montage amplificateur dit « en émetteur commun ». Pour cela il est nécessaire d'exciter le montage entre base et masse par un générateur sinusoïdal indépendant de résistance interne R_g tel que : $e_g = E_{gm} \sin (t)$. La tension de sortie v_s du montage doit alimenter une résistance d'utilisation R_u (figure 2).

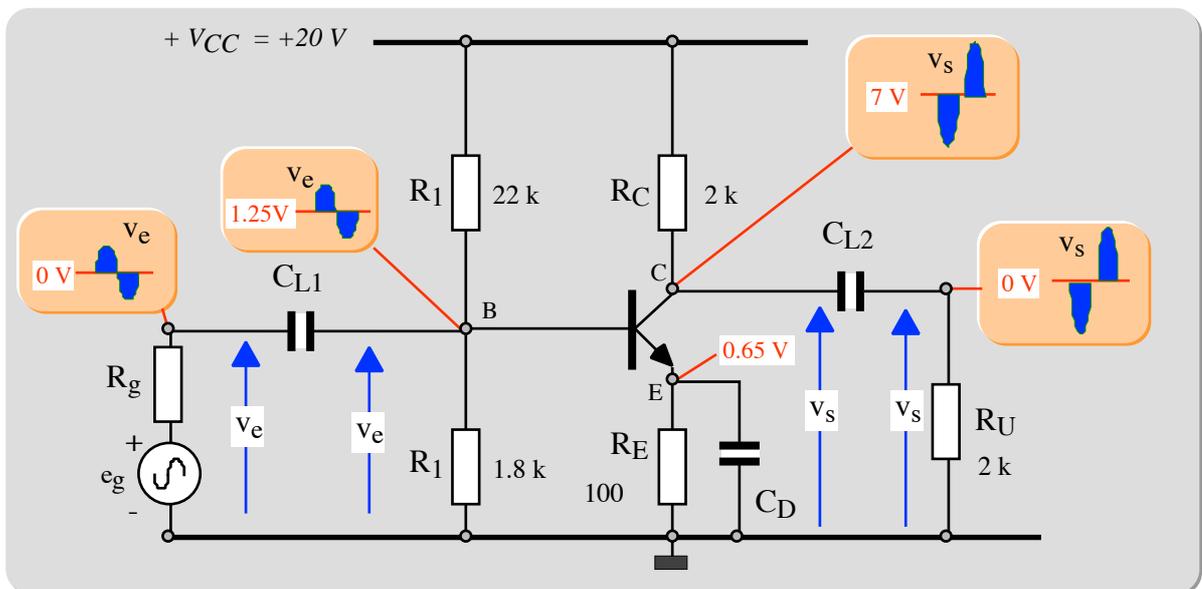


Figure 2 : Montage amplificateur en émetteur commun

On doit dans un premier temps résoudre un problème. En effet, le générateur e_g délivre une tension sinusoïdale v_e qui évolue autour de zéro volt. Cette tension ne peut pas être appliquée directement entre la base et la masse qui doit rester au potentiel de 1.25 V pour que le transistor reste correctement polarisé.

De même, et pour la même raison, on ne peut pas connecter directement la résistance R_u entre le collecteur et la masse. On doit donc pour résoudre ce problème, utiliser des condensateurs de « liaisons » C_{L1} et C_{L2} qui se comportent :

- En régime continu comme des circuits ouverts.
- En régime sinusoïdal comme une impédance de module $|Z_{CL}| = (\omega C_L)^{-1}$ qui sera négligeable devant les résistances du circuit à condition de choisir une valeur convenable pour C_{L1} et C_{L2} .

On peut aussi mettre en parallèle avec la résistance R_E une capacité C_D dite de « découplage » qui se comporte encore comme un court-circuit pour le régime sinusoïdal imposé par e_g .

2° PARTIE : ANALYSE GRAPHIQUE DE L'AMPLIFICATION : DROITE DE CHARGE DYNAMIQUE

On va s'intéresser aux tensions sinusoïdales qui sont représentées en figure 2 et qui évoluent autour des tensions continues indiquées sur cette même figure. Sachant que la tension continue V_{CC} est fixe par principe, ses variations sont nulles. La tension V_{CC} se comporte donc pour les variations comme un court-circuit.

Dessignons dans ces conditions le schéma du montage aux variations (figure 3) en tenant compte du fait que les condensateurs se comportent eux aussi comme des court-circuits.

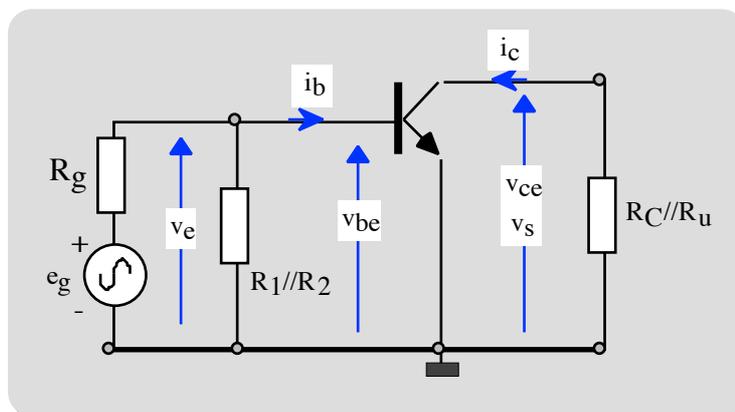


Figure 3

Le schéma de la figure 3 conduit à définir la droite de charge dynamique du transistor liant la variation de la tension v_{ce} à celle de i_c . Cette droite est différente de la droite de charge statique (figure 4). En effet :

- Elle passe par le point de repos (lorsque $e_g(t)$ est nul)
- Son coefficient directeur est tel que : $V_{CE} = - (R_C // R_u) I_C$.

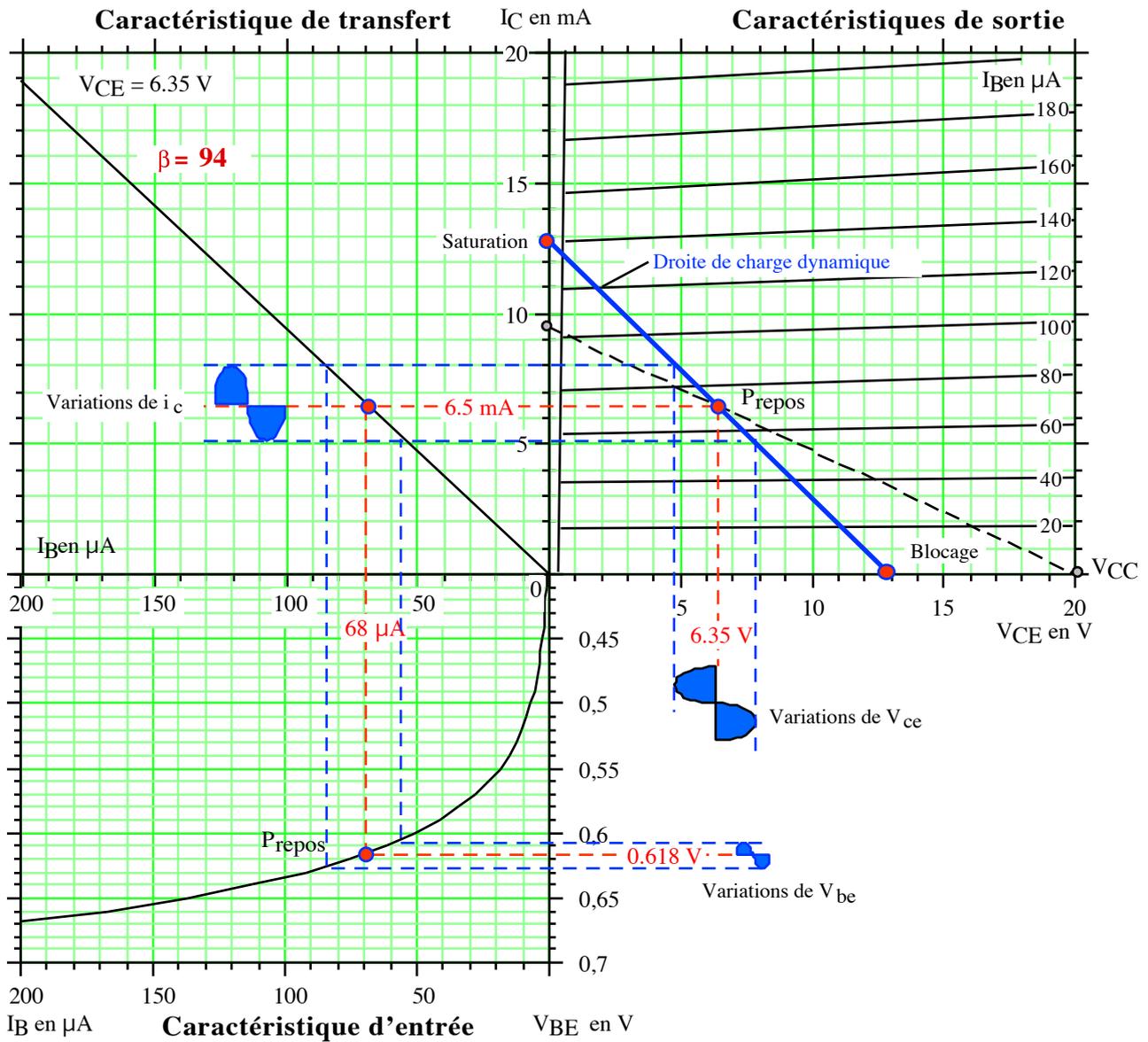


Figure 4 : illustration de l'effet amplificateur

La figure 4 illustre avec les caractéristiques du transistor l'effet amplificateur. En effet, la variation de la tension v_{be} (égales à v_e) autour de la tension $V_{BE\text{ repos}}$ de 0.618 V, entraîne une variation du courant de collecteur autour de sa valeur de repos soit 6.5 mA. Compte-tenu de la droite de charge dynamique, on obtient des variations de la tension v_{ce} (égales à v_s) de part et d'autre de sa valeur de repos 6.35 V. La tension sinusoïdale de sortie v_s est donc en opposition de phase et d'amplitude beaucoup plus grande que celle de v_e .

Cependant l'amplitude de la tension d'entrée v_e doit être faible sous peine de voir apparaître une distorsion de la tension de sortie v_s . En effet, si on augmente l'amplitude de v_{be} , la non-linéarité de la caractéristique d'entrée va produire une tension de sortie non sinusoïdale.

En résumé, pour être en régime linéaire, on doit se contenter d'appliquer des petites variations sinusoïdales à l'entrée du montage.

Dans tous les cas, la tension de sortie v_s ne peut pas dépasser les deux limites qui correspondent au blocage et à la saturation du transistor.

3° PARTIE : SCHEMA EQUIVALENT AU TRANSISTOR NPN (OU PNP) AUX FREQUENCES MOYENNES ET AUX PETITES VARIATIONS

Si l'amplitude de la tension d'entrée v_e est suffisamment petite (petites variations), le transistor NPN (ou PNP) peut être simulé par le schéma équivalent linéaire suivant :

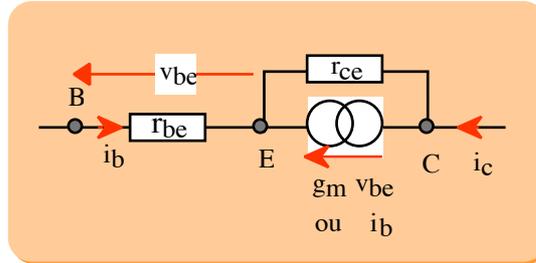


Figure 5 : schéma équivalent au transistor NPN (ou PNP)

- La jonction BE passante, est représentée par sa résistance dynamique r_{be}
- Entre collecteur et émetteur, l'effet transistor est représenté par un générateur de courant dépendant de v_{be} ou de i_b à savoir : $[g_m \cdot v_{be}]$ ou $[\beta \cdot i_b]$.
- La résistance r_{ce} représente la résistance interne du générateur de courant dépendant.

1) Mesure des paramètres sur les caractéristiques du transistor.

Les paramètres r_{be} , et r_{ce} se déterminent graphiquement autour du point de repos :

$$r_{be} = \left(\frac{dV_{BE}}{dI_B} \right)_{I_{C \text{ repos}}} \quad \beta = \left(\frac{dI_C}{dI_B} \right)_{V_{CE \text{ constant}}} \quad r_{ce} = \left(\frac{dV_{CE}}{dI_C} \right)_{I_{C \text{ constant}}}$$

2) Calcul des paramètres

Il est plus commode de calculer les paramètres r_{be} , g_m (transconductance) et r_{ce} du transistor à partir de la connaissance :

- Son courant de repos $I_{C \text{ repos}}$ (6.5 mA)
- Du gain en courant (94)
- De sa tension de Early V_A (- 247 V) :

$r_{be} = \beta \frac{U_T}{I_{C \text{ repos}}} = 361 \Omega$	$g_m = \frac{I_{C \text{ repos}}}{U_T} = 260 \text{ mS}$	$r_{ce} = \frac{ V_A + V_{CE \text{ repos}}}{I_{C \text{ repos}}} = 39 \text{ k}\Omega$
---	--	--

4° PARTIE : DETERMINATION DES PERFORMANCES DU MONTAGE AMPLIFICATEUR EMETTEUR COMMUN

Le calcul des performances du montage amplificateur s'effectue sur le schéma de la figure 6. Ce schéma est obtenu en remplaçant dans la figure 3, le transistor par son schéma équivalent en [gm.vbe].

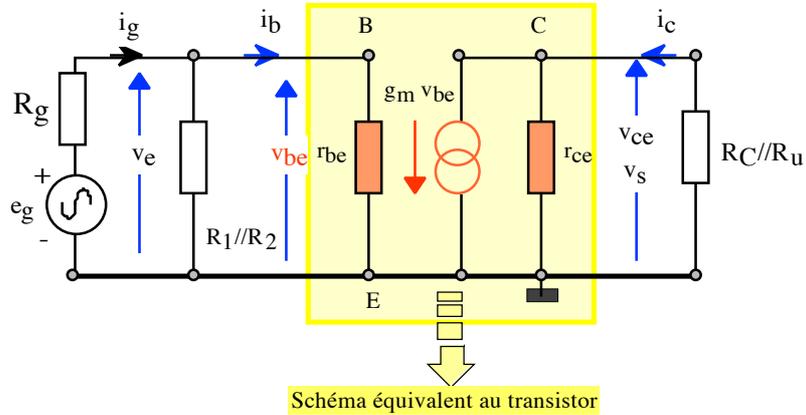


Figure 6 : schéma équivalent aux petites variations du montage complet.

Les résultats du calcul des performances du montage sont résumés dans le tableau suivant :

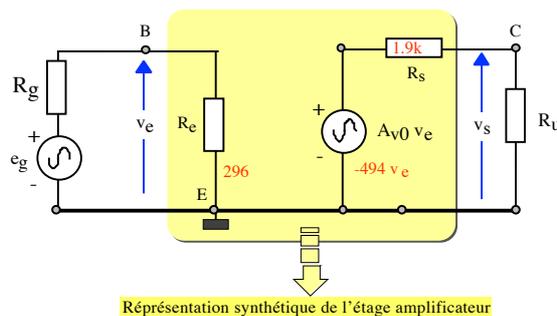
Gain en tension en charge: $A_V = \frac{v_s}{v_e}$	$A_V = -g_m \cdot (R_{ce} // R_C // R_u) = -253$
Gain en tension à vide: $A_{V0} = \frac{v_s}{v_e}$	$A_V = -g_m \cdot (R_{ce} // R_C) = -494$
Résistance d'entrée vue par (e_g, R_g) :	$R_e = \frac{v_e}{i_g} = R_1 // R_2 // r_{be} = 296\Omega$
Résistance de sortie vue par R_u *	$R_s = R_{ce} // R_C = 1.9k\Omega$
Gain en puissance A_p	$A_p = 10 \log \left(A_V^2 \frac{R_e}{R_u} \right) = 40dB$

(*) Méthode « de l'ohmmètre » permettant de calculer R_s :

- Court-circuiter e_g (et non v_e).
- Enlever R_u et mettre à sa place un générateur sinusoïdal u qui débite un courant i .

Dans ces conditions R_s est l'expression du rapport u / i .

Compte-tenu des résultats du tableau, l'étage amplificateur prend la forme de synthèse suivante :



5° PARTIE : PERFORMANCES DU MONTAGE AMPLIFICATEUR EN EMETTEUR COMMUN SANS CAPACITE DE DECOUPLAGE DE LA RESISTANCE D'EMETTEUR

Le montage étudié précédemment est caractérisé par un gain en tension important. Cependant, il faut pour cela découpler la résistance d'émetteur R_E par un condensateur de découplage C_d de forte valeur.

On se propose d'étudier maintenant les performances du montage sans la capacité C_d sachant que la polarisation est inchangée. Le nouveau schéma équivalent au montage complet aux petites variations en " i_b " (plus pratique pour ce montage) est indiqué en figure 7. La résistance interne r_{ce} du transistor est négligée car elle complique inutilement les calculs.

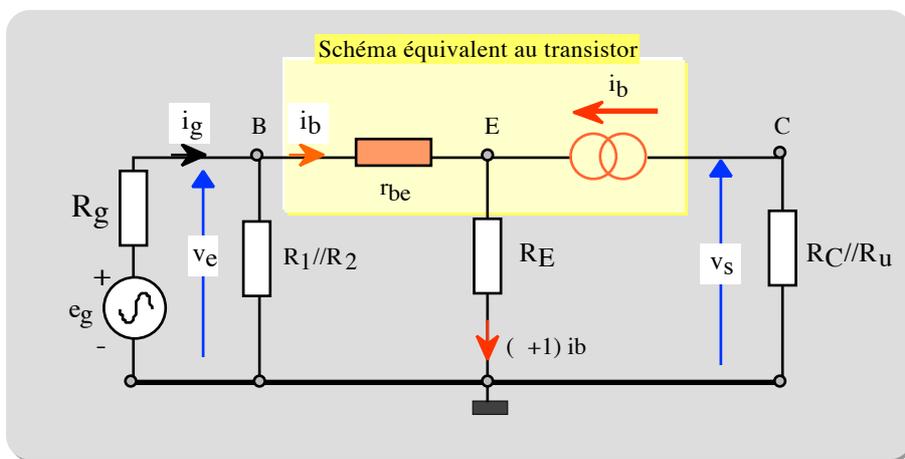


Figure 7

L'analyse du schéma permet de déterminer les expressions des performances du montage :

Résistance d'entrée	Gain en tension	Résistance de sortie
$R_e = \frac{v_e}{i_g} = R_1 // R_2 // [r_{be} + (\beta + 1)R_E]$ <p style="text-align: center;">1.4 k</p>	$A_v = - \frac{\beta(R_C // R_u)}{r_{be} + (\beta + 1)R_E} = -9.6$	$R_s = R_C = 2 \text{ k}$

Ce montage amplificateur en émetteur commun "avec R_E " présente des avantages par rapport au montage où la résistance R_E est découplée par C_d :

- Sa résistance d'entrée est plus grande
- Dans certaines conditions, son gain en tension ne dépend plus du gain en courant du transistor. En effet, pour $r_{be} \ll (\beta + 1)R_E$, on obtient alors : $A_v = - \frac{R_C // R_u}{R_E} = -10$.

6° PARTIE : REPONSE EN FREQUENCE DU MONTAGE EMETTEUR COMMUN

Le schéma équivalent de la figure 7 a permis de calculer le gain du montage A_v aux fréquences moyennes (-9.6). Le signe négatif du gain indique que la tension de sortie v_s est en opposition de phase avec la tension d'entrée v_e .

Si on fait varier la fréquence du générateur d'excitation e_g dans un large domaine de fréquences, le module du gain A_v ne sera pas constant. La figure 8 montre alors la courbe de réponse du montage : $|A_v| = F(f)$. On distingue sur le graphe :

- La zone des fréquences moyennes où le module du gain est constant (9.6)
- Le domaine des basses fréquences où le gain est plus faible. Les condensateurs de liaisons et de découplage sont responsables de cette chute du gain.
- Le domaine des hautes fréquences où le gain chute à nouveau. En H.F., le schéma équivalent du transistor présenté en figure 5 doit être modifié pour tenir compte des capacités des jonctions.

On définit alors les deux fréquences de coupure du montage f_b et f_h qui correspondent aux fréquences pour lesquelles le module du gain aux fréquences moyennes est divisé par $\sqrt{2}$. La bande passante du montage amplificateur f est donné par leur différence.

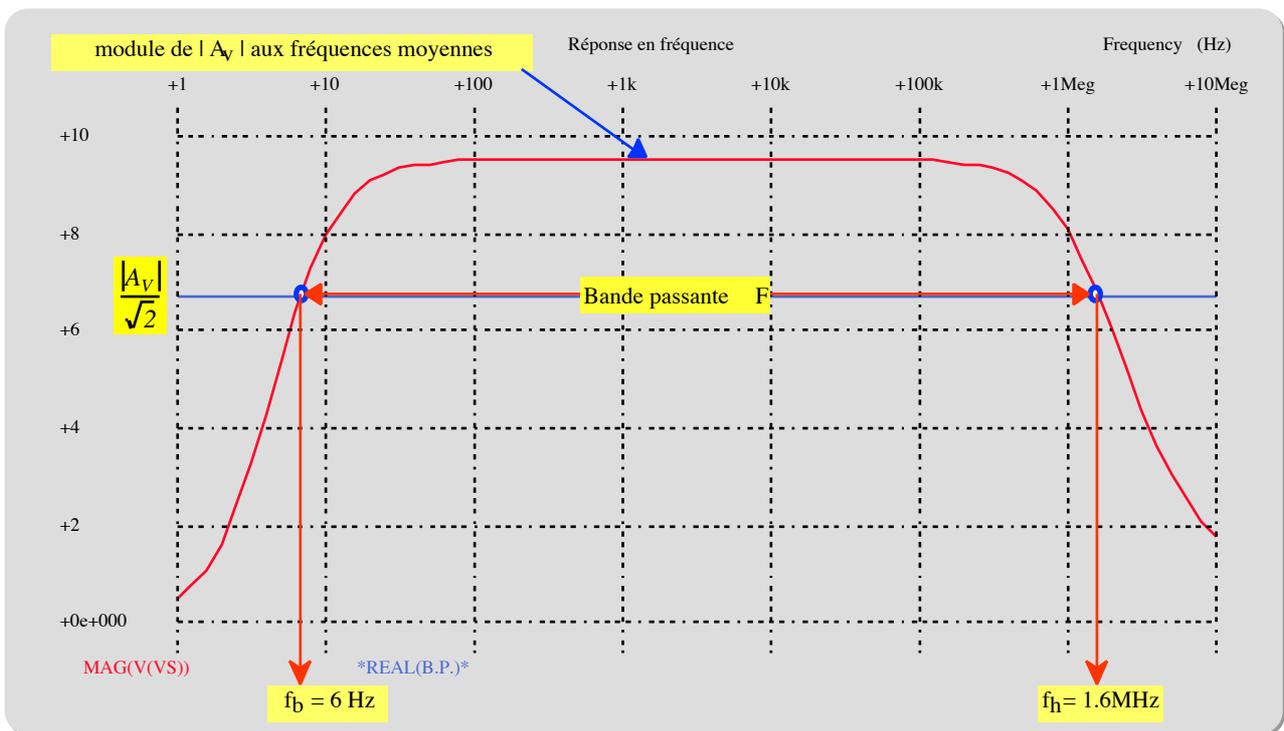


Figure 8 : courbe de réponse en fréquence

Dans tout le domaine de fréquences, par la présence de condensateurs, le gain du montage est un nombre complexe. Aussi le déphasage de la sortie par rapport à l'entrée est fonction de la fréquence comme indiqué en figure 9.

Aux fréquences moyennes ce déphasage est égal à 180° . Il tend vers zéro en basses et hautes fréquences.

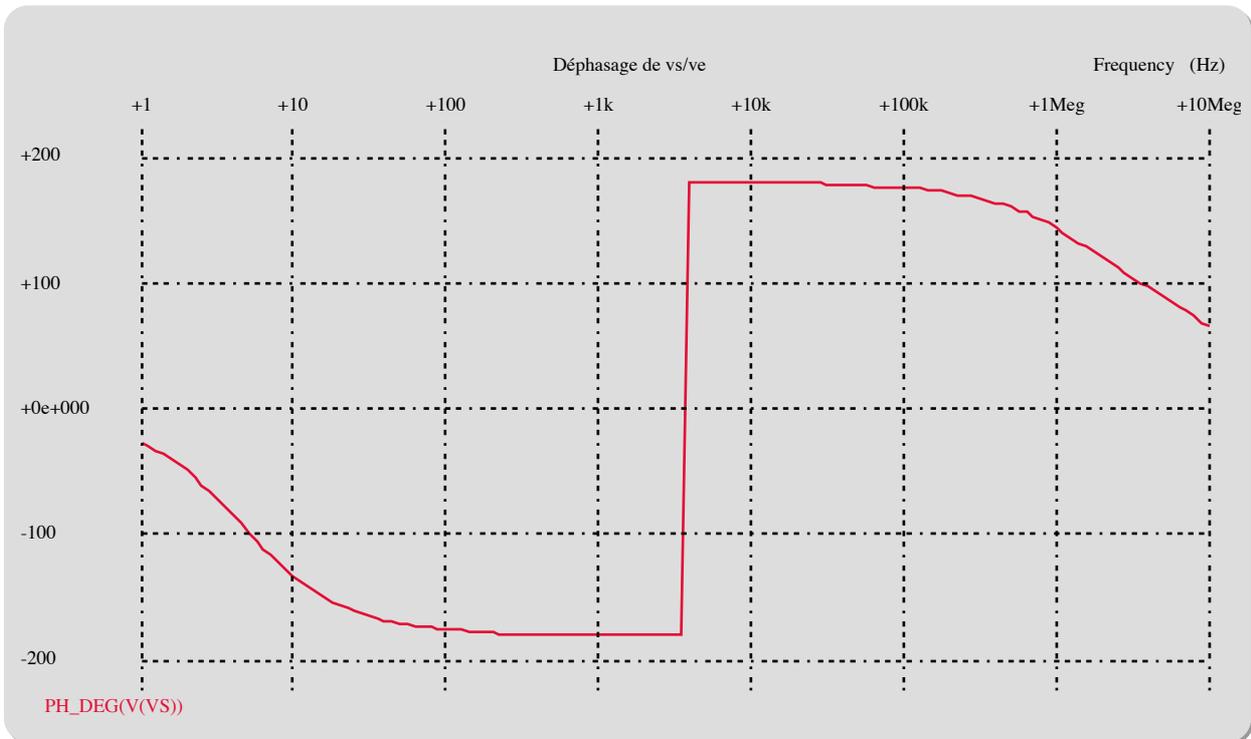


Figure 9 : déphasage de v_s/v_e en fonction de la fréquence.

Amplificateur E.C à transistor NPN

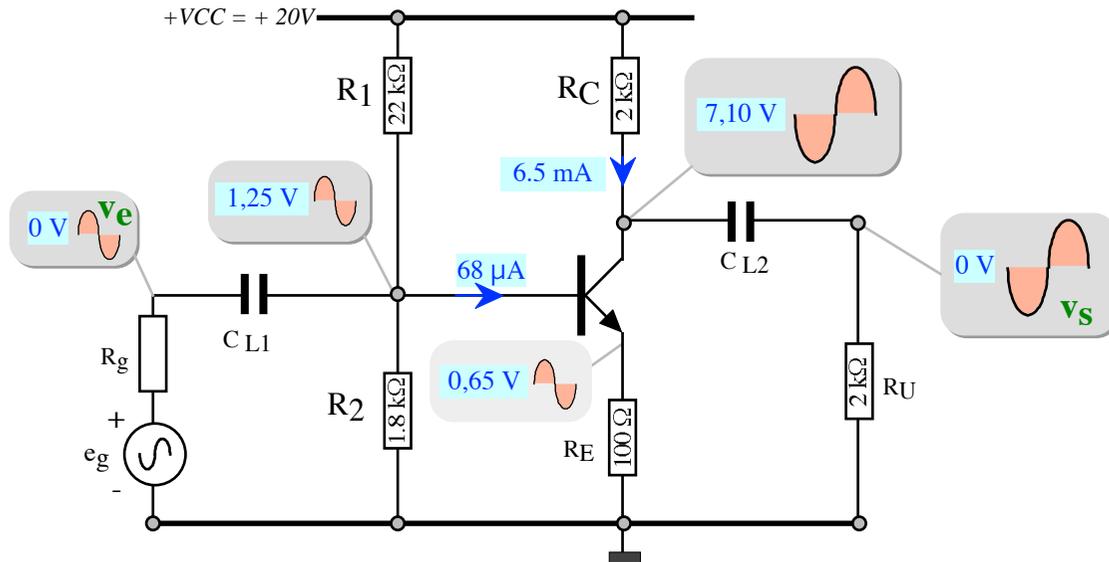
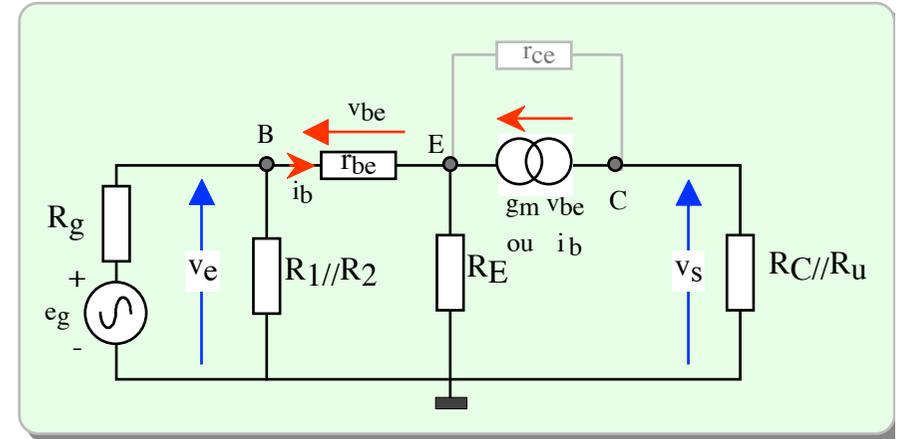
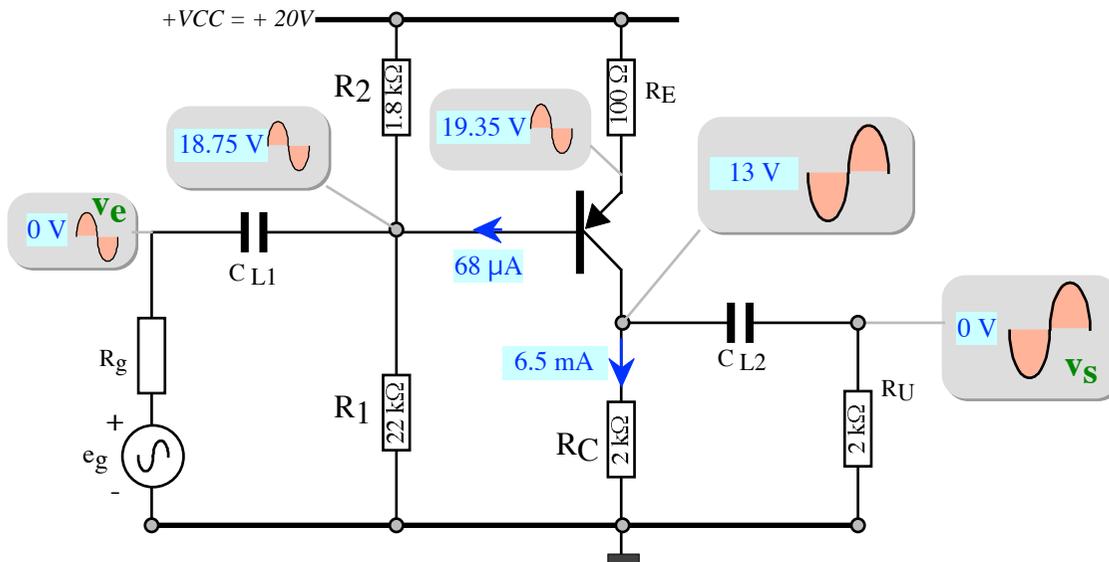


Schéma aux petites variations des deux montages



Amplificateur E.C à transistor PNP



$$A_v = -\frac{\beta (R_C // R_u)}{r_{be} + R_E (\beta + 1)}$$

$$R_e = R_1 // R_2 // [r_{be} + R_E (\beta + 1)]$$

$$R_s = R_C$$

MONTAGES FONDAMENTAUX TRANSISTOR BIPOLAIRE NPN

<p style="text-align: center;">Montage émetteur commun</p>	<p style="text-align: center;">Montage collecteur commun</p>	<p style="text-align: center;">Montage base commune</p>
$R_e = R_p // [r_{be} + (\beta + 1) R_E]$	$R_e = R_p // [r_{be} + (\beta + 1)(R_E // R_U)]$	$R_e \frac{1}{g_m} = \frac{r_{be}}{\beta}$
$A_v = -\frac{\beta (r_{ce} // R_C // R_U)}{r_{be} + (\beta + 1)R_E}$	$A_v = \frac{(\beta + 1) (r_{ce} // R_E // R_U)}{r_{be} + (\beta + 1) (r_{ce} // R_E // R_U)} \quad 1$	$A_v = (g_m + \frac{1}{r_{ce}}) (r_{ce} // R_C // R_u)$
$R_s = R_C // k r_{ce} \quad \text{avec : } k' > 1$	$R_s = R_E // \frac{(R_G // R_p) + r_{be}}{\beta + 1}$	$R_s = R_C // k r_{ce} \quad \text{avec : } k > 1$

La résistance R_p représente $R_1 // R_2$.

Le formulaire est utilisable pour les montages à transistors PNP.

Les paramètres du transistor sont tels que : $g_m = \frac{I_{Crepos}}{U_T}$ $r_{be} = \beta \frac{U_T}{I_{Crepos}}$ $r_{ce} = \frac{|V_A| + |V_{CE}|}{I_{Crepos}}$

La résistance R_G peut être la résistance de sortie de l'étage amont et R_U la résistance d'entrée de l'étage aval.

AMPLIFICATEUR A TRANSISTOR NPN EN EMETTEUR COMMUN : ETUDE DU FONCTIONNEMENT STATIQUE

Le montage émetteur commun présenté dans ce TD sera étudié en TP. Le but de ce montage est d'amplifier une tension de faible niveau avec un gain constant dans le domaine des basses fréquences, de quelques dizaines de Hertz à une centaine de kHz.

Le schéma du montage amplificateur en émetteur commun est donné en figure 1. Il utilise un transistor NPN au silicium 2N2219A, dont on donne en annexe les caractéristiques moyennes à la température de 25 °C.

Compte-tenu de la présence de deux générateurs indépendants V_{CC} et e_g , le montage est le siège de tensions (et de courants) continus liés à la tension d'alimentation continue V_{CC} , à laquelle s'ajoute une tension sinusoïdale (ou un courant sinusoïdal) provoquée par le générateur d'excitation sinusoïdal.

Par exemple : la figure 1 indique au niveau du condensateur de liaison C_{L1} :

En amont : $0V + E_{gm} \sin(\omega t)$

En aval : $V_{BM0} + E_{gm} \sin(\omega t)$

où E_{gm} représente l'amplitude du générateur d'excitation e_g , ω sa pulsation et V_{BM0} la tension continue entre base et masse.

Au niveau de la base du transistor : $I_{B0} + I_{Bm} \sin(\omega t)$.

I_{B0} est le courant de repos de base, I_{Bm} l'amplitude de la composante sinusoïdale i_b .

Il est nécessaire d'analyser le fonctionnement du montage en deux parties :

Le régime continu qui fait appel à la droite de charge du transistor.

Le régime sinusoïdal où le pouvoir amplificateur du montage sera mis en évidence.

Dans cet exercice, on ne s'intéressera qu'à la polarisation, c'est-à-dire au régime continu. La partie amplification sera étudiée en TP et en cours

ETUDE EN REGIME CONTINU, DROITE DE CHARGE STATIQUE

- 1) **En régime continu, les condensateurs se comportent comme des circuits ouverts.**
 - a. En déduire le schéma du montage qui rend compte de son fonctionnement dans ce régime
 - b. Donner l'expression de la droite de charge statique du transistor.
 - c. Tracer la droite de charge dans le réseau de caractéristiques.
- 2) En considérant de base I_B négligeable devant le courant de pont I_p qui circule dans la résistance R_2 , calculer le potentiel V_B de la base du transistor. En déduire I_p .
- 3) Déterminer ensuite le potentiel d'émetteur V_E et le courant de collecteur I_C .
- 4) En utilisant les courbes de caractéristiques moyennes du transistor données ci-dessous, déterminer le courant I_B et vérifier l'hypothèse de la question 2. Vérifie-t-on également la condition usuelle $10 I_B < I_p < 20 I_B$?
- 5) Après avoir précisé ses coordonnées, placer le point de repos sur la droite de charge et commenter.

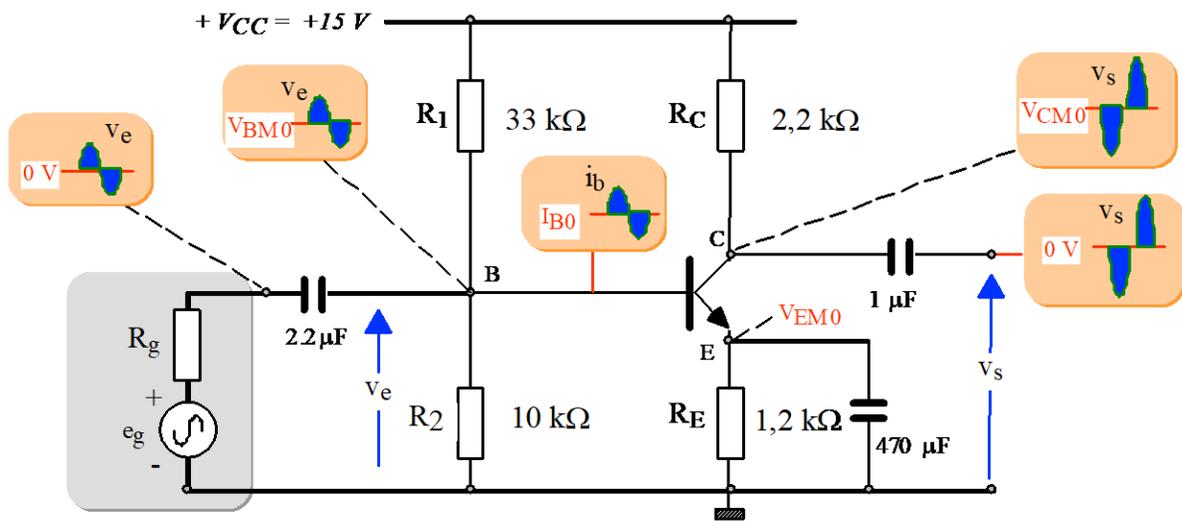
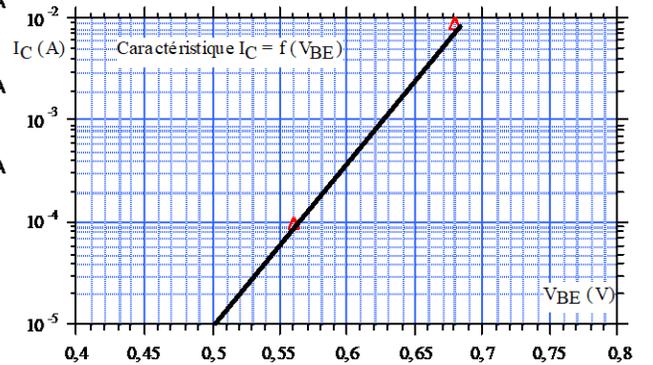
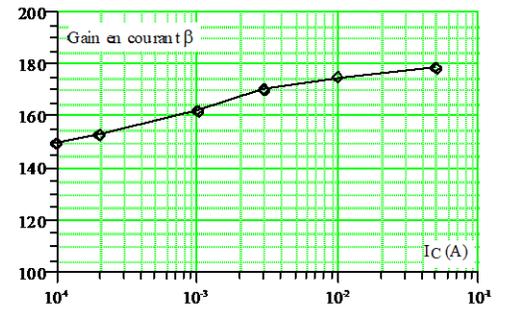
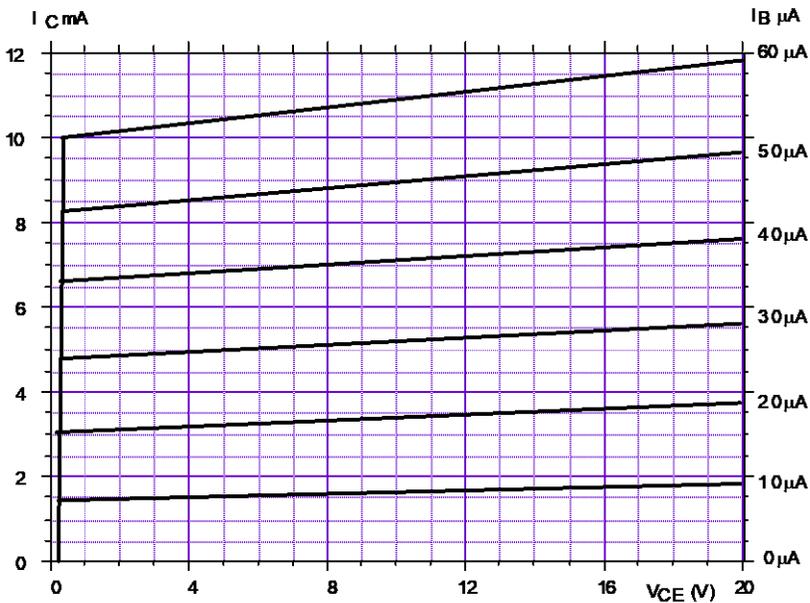


Figure 1 : Montage amplificateur émetteur commun

CARACTERISTIQUES (MOYENNES) À 25 °C TRANSISTOR 2N2219A



ETUDE DE LA STABILITE EN TEMPERATURE D'UN MIROIR DE COURANT A TRANSISTORS NPN IDENTIQUES

Le montage de la figure 1 est un miroir de courant amélioré qui est très exploité dans les circuits intégrés analogiques. On l'utilise pour réaliser un générateur de courant continu performant peu sensible à la température et possédant une grande résistance interne.

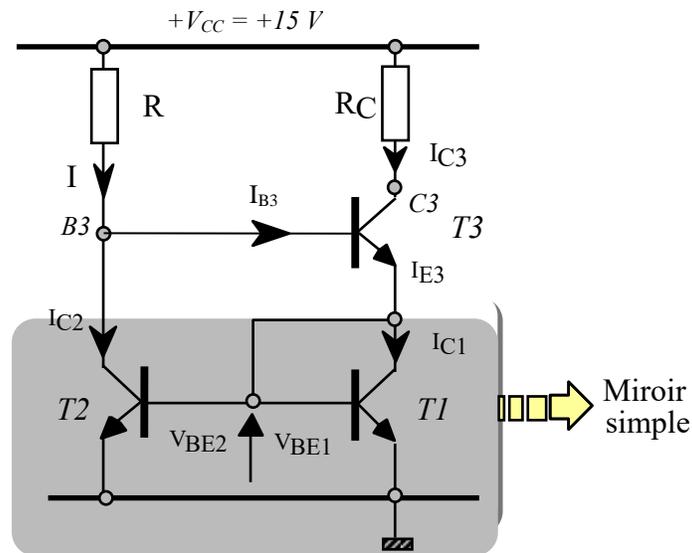


Figure 1

Ce montage utilise trois transistors NPN intégrés identiques dont l'évolution du gain en courant β en fonction du courant de collecteur I_C et de la température T est donnée en fin de texte en figure 2.

On se propose d'étudier la polarisation du transistor T_3 à 25°C . On rappelle que le courant de collecteur I_C d'un transistor NPN est tel que :

$$I_C = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE}}{U_T}\right) \quad (1)$$

Où I_{SBC} représente le courant inverse de saturation de la jonction collecteur-base bloquée. Ce courant est identique pour l'ensemble des transistors intégrés.

1° PARTIE : ETUDE DU MIROIR DE COURANT SIMPLE (T_1 T_2)

On étudie dans un premier temps, le miroir de courant de base constitué seulement des transistors T_1 et T_2 (partie encadrée de la figure 1). Ce miroir de courant reçoit un courant de référence I_{E3} et il recopie I_{C2} .

- 1) Rechercher avec l'équation (1), la relation simple qui lie les courants de collecteur I_{C2} et I_{C1} .

- 2) En déduire la relation entre les courants I_{C2} et I_{E3} compte-tenu du gain en courant β de T_1 et T_2 . Sachant que le courant I_{C2} recopie I_{E3} , déterminer l'expression de l'erreur relative de recopie :
- $$E_r = \frac{I_{C2} - I_{E3}}{I_{E3}}$$

2° PARTIE : MIROIR DE COURANT AMELIORE (T1, T2 et T3)

On considère maintenant le montage complet où I représente le courant de référence alors que I_{C3} est maintenant le courant recopié.

- 1) Rechercher en fonction du gain en courant β des transistors, la relation qui relie le courant I et le courant recopié I_{C3} . Déterminer l'expression de la nouvelle erreur relative de recopie et comparer à celle du miroir simple.
- 2) On désire choisir le point de repos du transistor T_3 au milieu de sa droite de charge avec I_{C3} égal à 1 mA à 25°C. Calculer la valeur des résistances R_C et R . Faire les applications numériques pour les erreurs de recopie précédemment définies. Conclusion.

3° PARTIE : ETUDE DE LA STABILITE EN TEMPERATURE DU MONTAGE COMPLET

On se propose d'étudier la stabilité du courant de collecteur du transistor T_3 en fonction de la température qui évolue de 25 à 125°C.

- 1) Déterminer la relation : $I_{C3} = f(V_{BE}, \beta, V_{CC}, R)$ qui met en évidence le rôle de la température sur la tension V_{BE} et le gain en courant β .
- 2) Rechercher l'expression du coefficient de stabilité : $S_V = \left[\frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} \right]_{\beta \text{ constant}}$. Quelle est sa valeur approchée ?
- 3) Rechercher l'expression du coefficient de stabilité : $S_\beta = \left[\frac{\partial I_C}{\partial \beta} \right]_{V_{BE} \text{ constant}}$. Quelle est sa valeur approchée ?
- 4) Le montage est soumis à une température qui évolue de 25 à 125°C. Calculer la valeur de l'accroissement ΔI_{C3} du courant de collecteur I_{C3} de T_3 sachant que :

$$\Delta I_{C3} = S_V \cdot \Delta V_{BE} + S_\beta \cdot \Delta \beta$$

$V_{CC} = 15V$; $I_{C3} = 1mA$ à 25°C ; $V_{BE} = 0,6 V$ à 25 °C et $\Delta V_{BE} / \Delta T = -2,5 mV^\circ C^{-1}$

Quel est le paramètre principal responsable de l'accroissement du courant I_{C3} ?

4° PARTIE : MODIFICATION DE LA TENSION D'ALIMENTATION A 25°C

A la température de 25°C, avec les résistances R et R_C précédentes, la tension d'alimentation V_{CC} est maintenant égale à 30 V.

- 1) Le point de repos de T₃ est-il toujours sensiblement centré sur la nouvelle droite de charge ?
- 2) Que peut-on dire de la variation ΔI_{C3} du courant I_{C3} lorsque la température évolue comme précédemment de 25 à 125°C ?

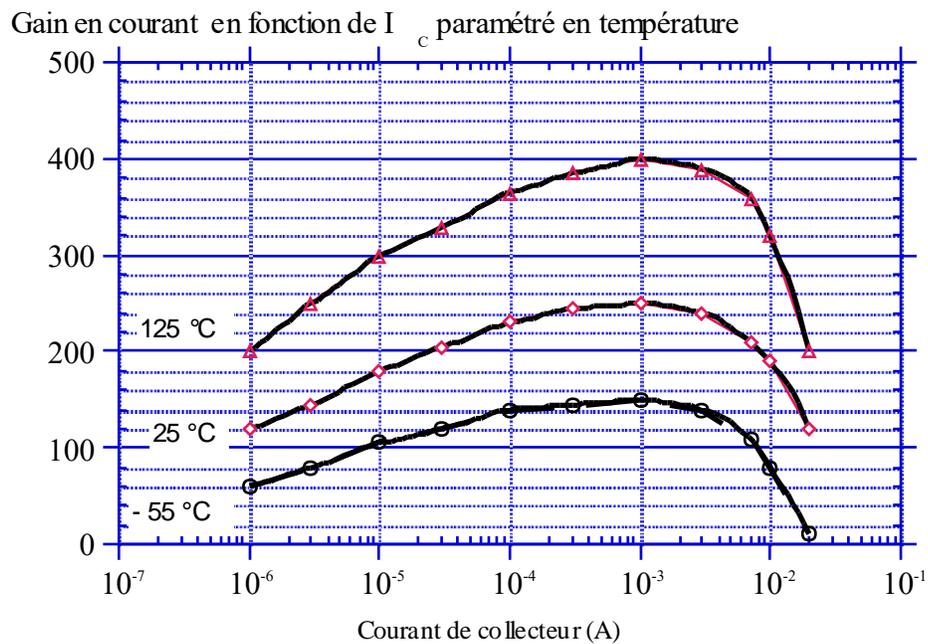


Figure 2

ETAGE AMPLIFICATEUR A TRANSISTOR NPN EN COLLECTEUR COMMUN

Le schéma d'un étage amplificateur à transistor bipolaire monté en collecteur commun, alimenté sous une tension d'alimentation V_{CC} de 15 V, est donné en figure 1. Il utilise, à $T = 25^\circ\text{C}$, un transistor NPN au silicium tel que : $\beta = 300$, $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$ et tension de Early $V_A = -200\text{V}$.

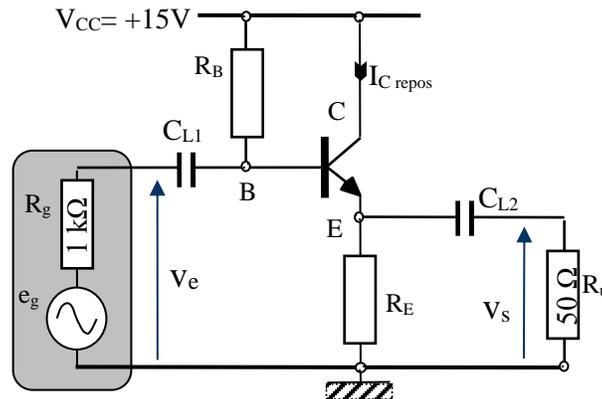


Figure 1 : transistor en collecteur commun

- 1) On choisit le point de repos du transistor tel que : $I_C \text{ repos} = 3 \text{ mA}$ et $V_{CE} \text{ repos} = 6 \text{ V}$. Calculer la valeur de la résistance d'émetteur R_E et de polarisation R_B . Sous quelle tension continue les capacités C_{L1} et C_{L2} sont-elles chargées?
- 2) Dessiner le schéma équivalent du montage complet pour les petites variations imposées par le générateur d'attaque sinusoïdal (e_g, R_g). Les capacités de liaisons C_{L1} et C_{L2} ont une impédance négligeable à la fréquence de travail. Choisir le schéma en « β ib » pour simuler le transistor.
- 3) Calculer la valeur des paramètres du transistor autour de son point de repos : r_{be} , g_m et r_{ce} .
- 4) Déterminer l'expression de la résistance d'entrée R_e du montage vue par le générateur d'attaque (e_g, R_g). On rappelle la définition de la résistance d'entrée : $R_e = v_e / i_g$ où i_g représente le courant variable imposé par le générateur e_g . Faire l'A.N
- 5) Chercher l'expression du gain en tension en charge et à vide : $A_v = v_s / v_e$. Faire l'A.N.
- 6) Calculer, en charge, le gain en puissance A_p de l'étage en décibels et son gain en courant A_i .
- 7) Chercher l'expression de la résistance de sortie R_s du montage vue par la résistance R_u . On rappelle la méthode l'ohmmètre permettant le calcul de R_s :
 - Court-circuiter e_g (et non v_e).
 - Enlever R_u et mettre à sa place un générateur sinusoïdal u qui débite un courant i .
 - Dans ces conditions R_s est donnée par l'expression du rapport u / i .

TRANSISTOR NPN EN « COLLECTEUR COMMUN »

Objectif du TP : Ce montage appelé aussi « émetteur suiveur » constitue un amplificateur de puissance ayant un gain en tension inférieur à l'unité. Il est caractérisé par une résistance d'entrée élevée et une résistance de sortie faible.

Le schéma du montage amplificateur à transistor NPN monté en collecteur commun est donné en figure 1.

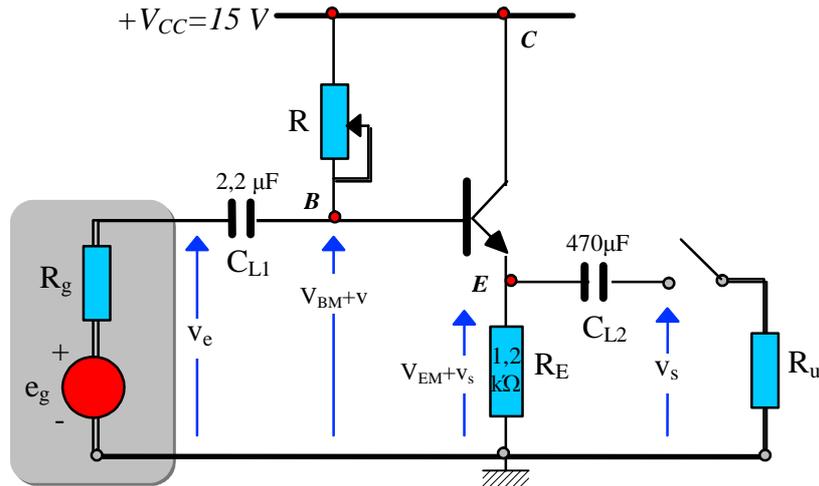


Figure 1 : Montage « collecteur commun ».

Le collecteur du transistor est relié à la tension d'alimentation V_{CC} . La polarisation du transistor est assurée par la résistance R variable pour ajuster le point de fonctionnement. La tension sinusoïdale d'excitation v_e est appliquée entre base et masse par l'intermédiaire du condensateur de liaison C_{L1} . Ce condensateur a une valeur telle que son impédance est pratiquement nulle dans le domaine des fréquences de travail. La tension entre base et masse est composée d'une tension continue V_{BM} à laquelle s'ajoute la tension sinusoïdale v_e . La tension entre émetteur et masse est constituée par la tension continue V_{EM} à laquelle s'ajoute la tension variable de sortie v_s . Cette tension de sortie est disponible via le condensateur de liaison C_{L2} dont l'impédance est elle aussi négligeable devant les autres éléments.

La maquette (présentée en TP 07) dont le schéma est conforme au montage précédent utilise un transistor NPN de type 2N2219A dont les caractéristiques moyennes à 25°C sont données en annexe. Alimenter le montage sous une tension continue $V_{CC} = +15\text{ V}$ en prenant garde aux polarités. Ne pas oublier de relier le collecteur de T_1 à la tension d'alimentation V_{CC} .

1^{ère} PARTIE : ETUDE DU FONCTIONNEMENT STATIQUE

Ajuster la résistance variable R qui assure la polarisation en courant du transistor, de manière à obtenir un courant de repos de collecteur $I_{C\text{ repos}}$ de 3 mA

1.1) Mesurer la valeur des tensions continues V_{EM0} , V_{BM0} et V_{CE0} .

1.2) Tracer la droite de charge statique dans le réseau des caractéristiques de sortie du transistor et placer le point de repos. En déduire la valeur des tensions continues V_{EM0} et V_{BM0} . Comparer aux valeurs expérimentales précédentes.

2^{ème} PARTIE : ETUDE DU FONCTIONNEMENT AUX PETITES VARIATIONS

2.1) Gain en tension, linéarité et distorsion.

Appliquer à l'entrée du montage, une tension sinusoïdale v_e d'amplitude crête à crête variable et de fréquence 1 kHz. Les mesures seront effectuées dans les deux cas suivant :

- Sortie ouverte (R_u infini)
- Sortie chargée avec $R_u = 10\Omega$.

Faire varier l'amplitude de la tension v_e et déterminer sa valeur maximale qui provoque la distorsion de la tension de sortie v_s . Comparer aussi la phase de v_s par rapport à v_e .

- a) Tracer le graphe $v_s = f(v_e)$ en régime linéaire c'est-à-dire, sans distorsion en sortie. En déduire le gain en tension A_v du montage.
- b) Faire la vérification théorique : donner **un tableau des résultats** A_v théorique et pratique pour les deux valeurs de R_u .
- c) Dessiner la droite de charge dynamique pour $R_u = 10\Omega$. En déduire l'origine de la distorsion de v_s qui apparaît lorsque v_e est égale à $v_{e\max}$.

2.2) Mesure de la résistance de sortie R_s en fonction de R_g .

On fait varier artificiellement la résistance R_g du générateur d'attaque en disposant une résistance AOIP ($\times 1000\Omega$) entre la sortie du générateur et l'entrée du montage.

- a) En utilisant la méthode donnée dans le fascicule annexe, mesurer la résistance de sortie du montage dans le domaine de fonctionnement linéaire c'est-à-dire sans distorsion lorsque R_g varie de 0 à 10 K Ω .
- b) Tracer le graphe expérimental $R_s = f(R_g)$.
- c) En utilisant l'annexe, tracer le graphe théorique $R_s = f(R_g)$. Comparer avec le graphe expérimental. Commenter.

2.3) Mesure de la résistance d'entrée R_e vue par le générateur d'excitation.

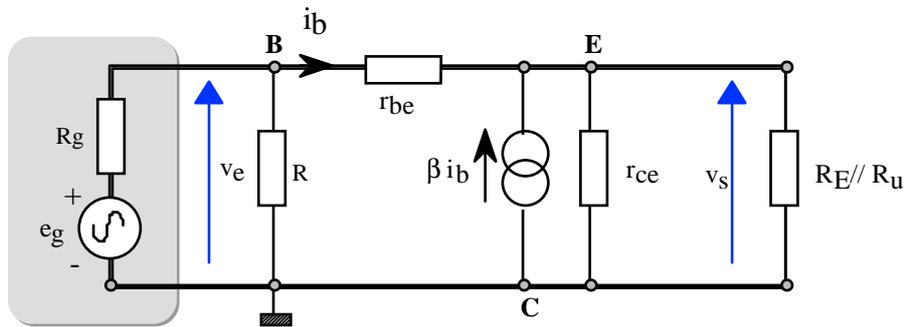
Mesurer la valeur de la résistance d'entrée R_e dans les deux cas envisagés :

- Sortie ouverte
- Sortie chargée par $R_u = 10\Omega$

Vérifier théoriquement les valeurs expérimentales. Faire un tableau des résultats.

RESULTATS THEORIQUES

Schéma équivalent au montage Collecteur Commun aux petites variations.

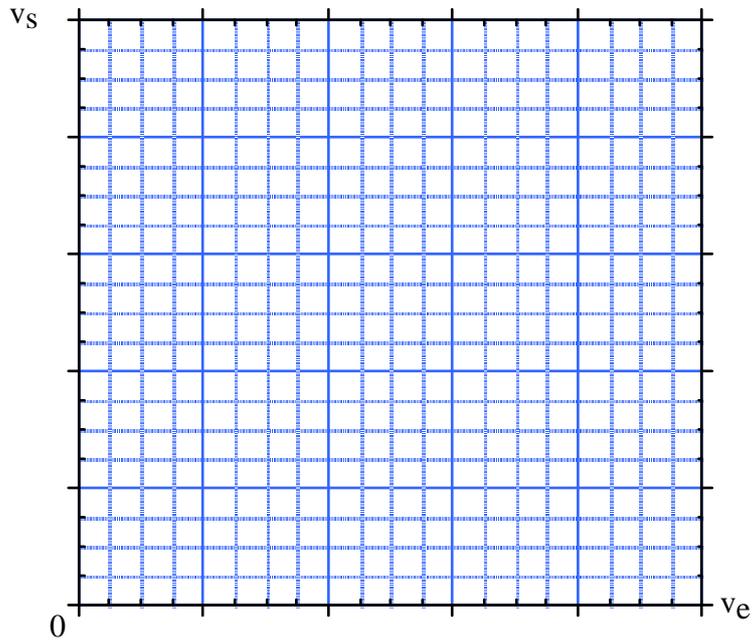


Gain en tension	Résistance d'entrée	Résistance de sortie
$A = \frac{1}{1 + \frac{r_{be}}{\beta R_{eq}}}$ $R_{eq} = r_{ce} // R_E // R_u$	$R_e = R // [r_{be} + (\beta + 1) R_{eq}]$ $R_{eq} = r_{ce} // R_E // R_u$	$R_s = R_E // r_{ce} // \frac{(R_g // R) + r_{be}}{\beta + 1}$

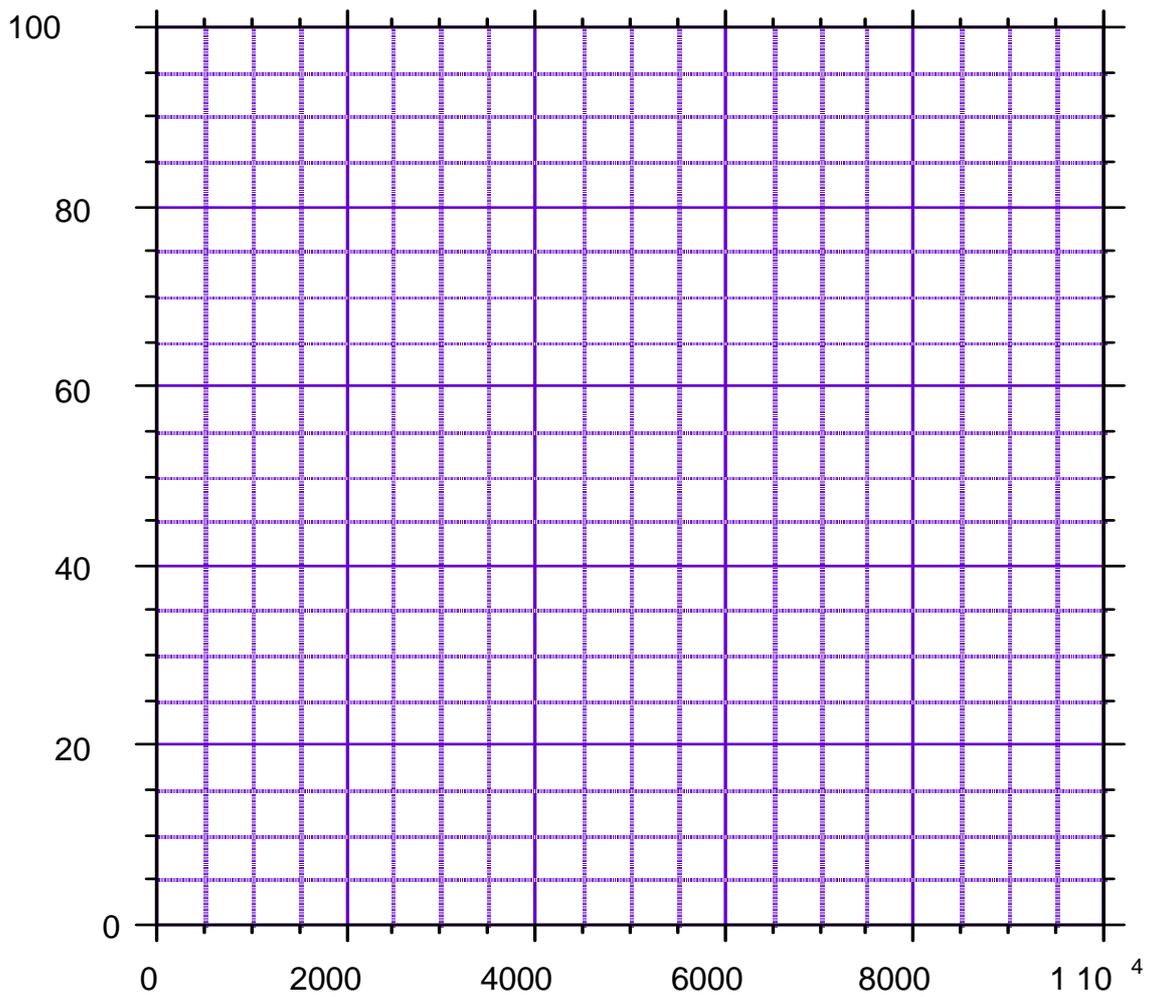
AMPLIFICATEUR EN COLLECTEUR COMMUN

GRUPE :

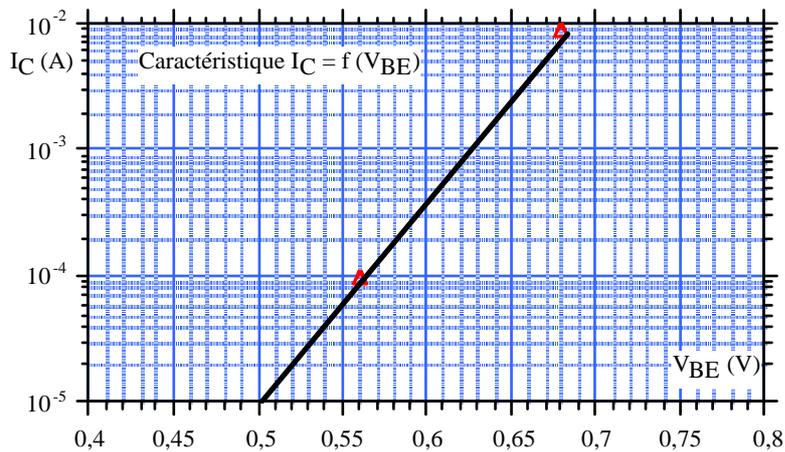
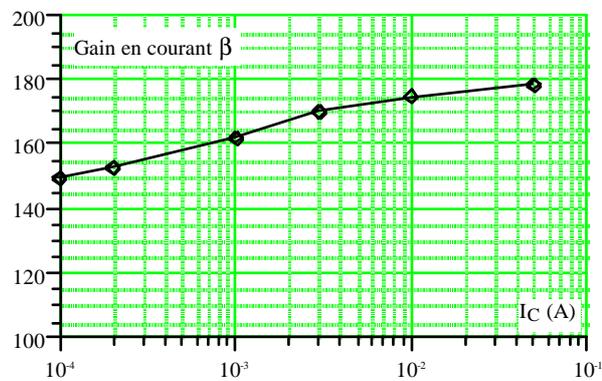
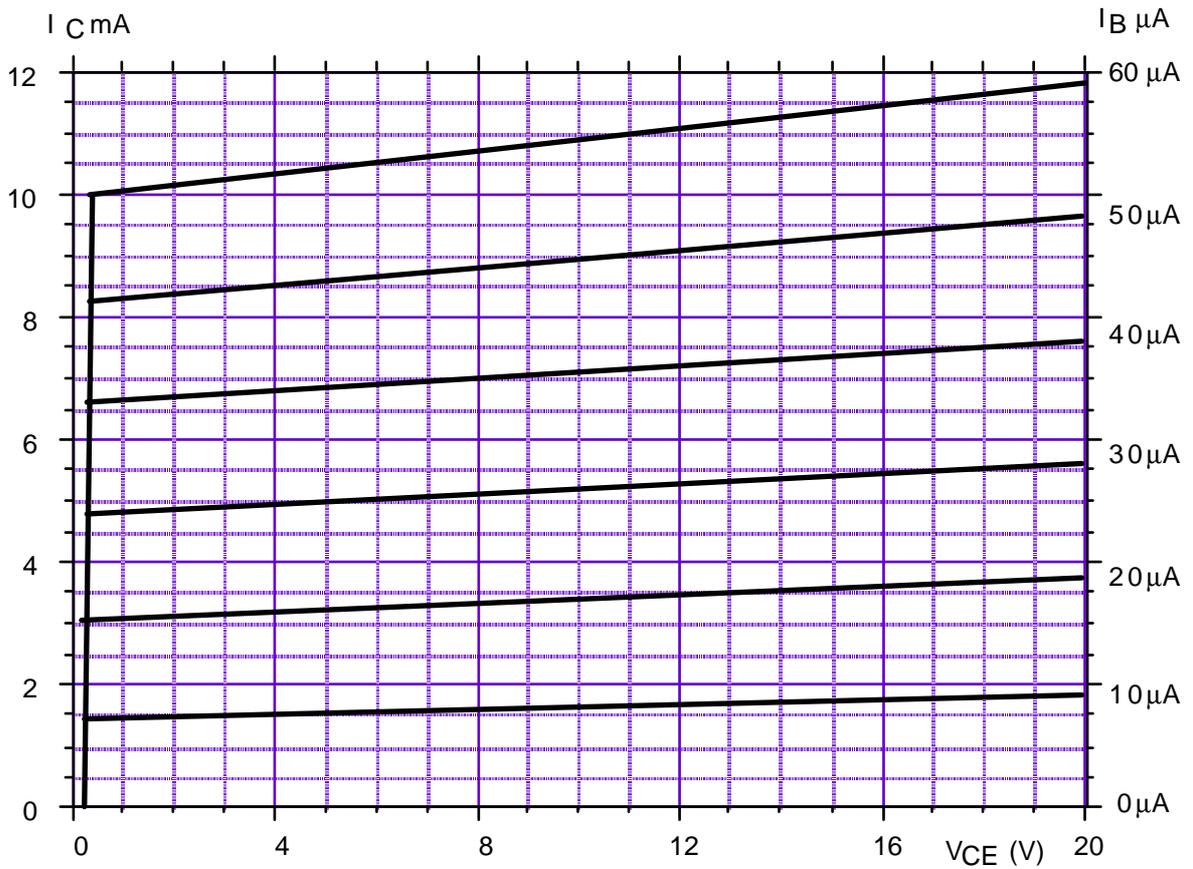
NOMS :



Résistance de sortie en fonction de R_G



CARACTERISTIQUES (MOYENNES) À 25 °C TRANSISTOR 2N2219A



AMPLIFICATEUR A TRANSISTOR NPN EN « EMETTEUR COMMUN »

Objectif du TP : amplifier une tension de faible niveau avec un gain constant dans le domaine des basses fréquences, de quelques dizaines d’Hertz à une centaine de kHz.

Le schéma du montage amplificateur en émetteur commun est donné en figure 1. Il utilise un transistor NPN au silicium 2N2219A, dont on donne en annexe les caractéristiques moyennes à la température de 25 °C.

Particularités des amplificateurs EC :

- Le transistor en mode actif,
- Le signal d’entrée est appliqué (“injecté”) à la base du transistor,
- La sortie est “prise” sur le collecteur,
- La borne de l’émetteur est commune à l’entrée et à la sortie.

Compte-tenu de la présence de deux générateurs indépendants V_{CC} et e_g , le montage est le siège de tensions (et de courants) continus liés à la tension d’alimentation continue V_{CC} , auquel s’ajoute une tension sinusoïdale (ou un courant sinusoïdal) provoquée par le générateur d’excitation sinusoïdal.

Par exemple : la figure 1 indique au niveau du condensateur de liaison C_{L1} :

- En amont : $0V + E_{gm} \sin(\omega t)$
- En aval : $V_{BM0} + E_{gm} \sin(\omega t)$

Où E_{gm} représente l’amplitude du générateur d’excitation e_g , ω sa pulsation et V_{BM0} la tension continue entre base et masse.

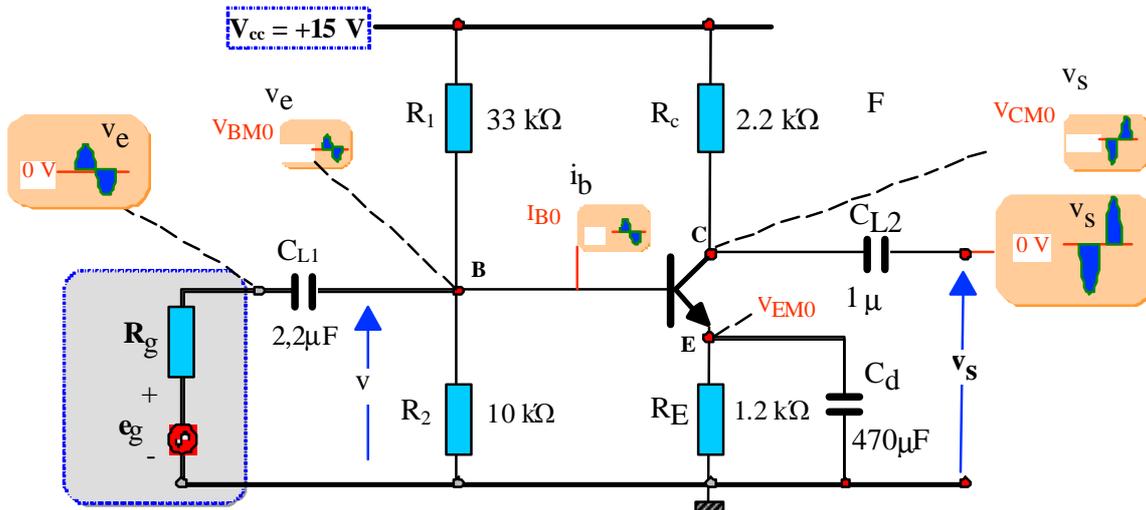


Figure 1 : Montage amplificateur émetteur commun.

Au niveau de la base du transistor : $I_{B0} + I_{Bm} \sin(\omega t)$.

I_{B0} est le courant de repos de base, I_{Bm} l’amplitude de la composante sinusoïdale i_b .

On propose donc d’analyser le fonctionnement du montage en deux parties :

- **Le régime continu (statique)** qui fait appel à la droite de charge du transistor.

- **Le régime sinusoïdal (dynamique)** où le pouvoir amplificateur du montage sera mis en évidence.

Liste du matériel utilisé :

- 1) Plaquette de test (voir figure 2),
- 2) Alimentation double,
- 3) Générateur B.F,
- 4) Oscilloscope,
- 5) Milliampèremètre,
- 6) Voltmètre numérique.

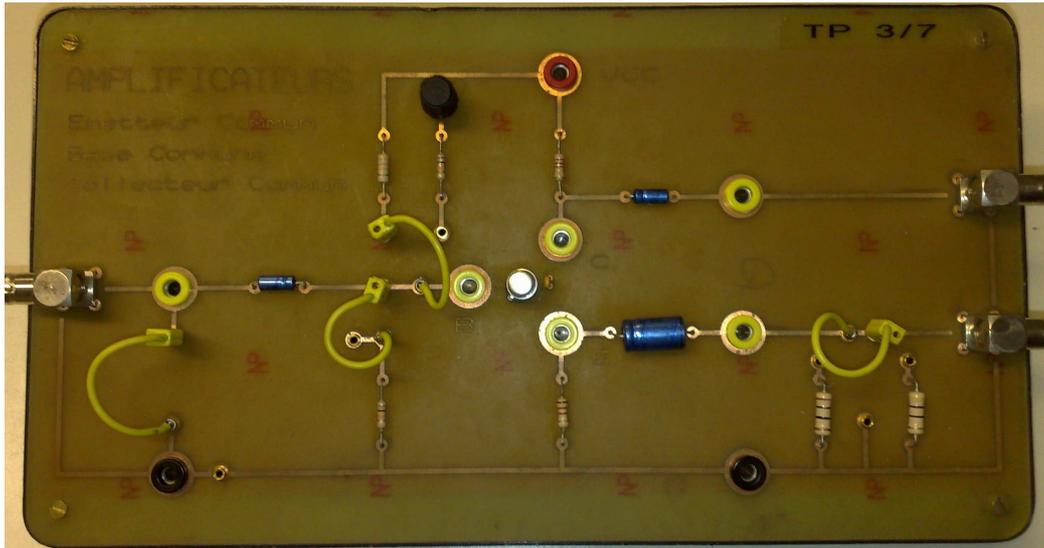


Figure 2 : Façade de la plaquette de test

1^{ère} PARTIE : ETUDE EN REGIME CONTINU, DROITE DE CHARGE STATIQUE

Réaliser sur la maquette le montage de la figure 1. Alimenter le montage par une tension d'alimentation V_{CC} de 15 V en prenant garde aux polarités. Ne pas brancher le générateur e_g .

1.1) Mesurer les tensions continues : V_{BM0} , V_{EM0} , V_{CM0} . En déduire par l'intermédiaire de la valeur de R_C (ou R_E) la valeur du courant de repos de collecteur I_{C0} du transistor.

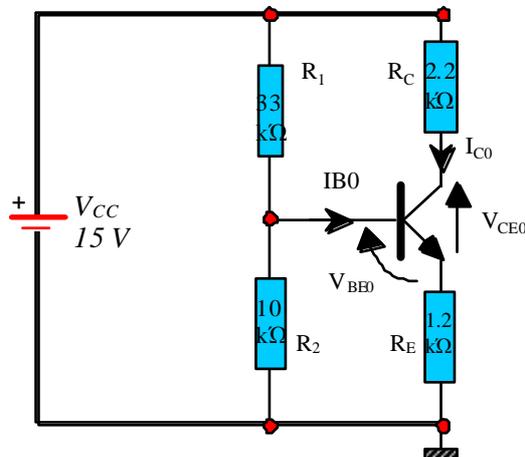


Figure 3 : Schéma du montage en régime continu

1.2) En régime continu, les condensateurs se comportent comme des circuits ouverts. On en déduit (figure 3) le schéma du montage qui rend compte de son fonctionnement dans ce régime

- a) Donner l'expression de la droite de charge statique du transistor.
- b) Tracer la droite de charge dans le réseau de caractéristiques.
- c) Avec la valeur mesurée du courant de repos de collecteur I_{C0} , placer le point de repos P_0 .
- d) En déduire les valeurs des tensions : V_{BM0} , V_{EM0} , V_{CM0} Comparer avec les valeurs mesurées.

1.3) Quel est le rôle des résistances R_1 et R_2 ? Développer votre commentaire.

2^{ème} PARTIE : FONCTIONNEMENT LINEAIRE EN REGIME SINUSOIDAL (Dynamique)

2.1) Etude expérimentale du gain en tension en régime sinusoïdal.

Appliquer à l'entrée du montage à l'aide du générateur B.F., une tension v_e sinusoïdale de fréquence 1kHz et d'amplitude de l'ordre de 10 à 20 mV crête à crête (l'amplitude sera choisie de telle manière que la tension de sortie ne soit pas distordue). Donner la valeur de cette amplitude.

- a) En utilisant le mode D.C. de l'entrée de l'oscilloscope (valeur continue) puis le mode A.C. pour mesurer avec précision les variations autour de la valeur continue, **relever les tensions :**
 - À la sortie du générateur
 - Entre base et masse
 - Entre collecteur et masse
 - À la sortie v_s

Présenter les résultats sur la feuille annexe, sous la forme : valeur continue + amplitude crête à crête. **Commenter les résultats**

- b) Examiner à l'oscilloscope les rapports d'amplitude des tensions v_e et v_s . Quel est le déphasage de v_s par rapport à v_e ? Donner la valeur du gain en tension à vide A_{v0} du montage à 1kHz.

2.2) Etude expérimentale de la linéarité de l'amplificateur.

Remarque : *Un amplificateur doit être linéaire : soumis à une excitation sinusoïdale, la sortie doit aussi être sinusoïdale. Dans le cas contraire, on dit que l'amplificateur présente un défaut nommé « distorsion ». Cette distorsion a pour origine la non-linéarité des caractéristiques du transistor aux forts signaux. Le formulaire donné en fin de manipulation est valable seulement si le montage est linéaire c'est-à-dire pour des petites variations à l'entrée et aux fréquences où les éléments réactifs comme les condensateurs n'interviennent pas.*

Manipulation : à la fréquence de 1kHz, augmenter progressivement la tension v_e à partir de 15mV.

- a) Déterminer la valeur de $v_{e(cac)}$ qui conduit à une distorsion sensible de la tension de sortie v_s .

- b) Augmenter la tension v_e et déterminer $v_{e\max(\text{càc})}$ qui conduit à une forte distorsion (avec écrêtage) de la tension de sortie v_s . Relever dans ces conditions l'oscillogramme de la tension V_{CM} du montage en mode D.C.

2.3) Analyse théorique de la linéarité : schéma équivalent aux variations et droite de charge dynamique

Remarque : Le schéma équivalent d'analyse théorique du montage aux variations (voir cours) est obtenu en considérant que la tension d'alimentation V_{CC} se comporte comme un court-circuit (selon le théorème de superposition) et seul le générateur sinusoïdal e_g est considéré. D'autre part **les condensateurs** ont été choisis avec une valeur telle que dans le domaine des fréquences de travail, le module de leur impédance $|Z_C| = 1/C$ soit très faible devant les résistances du montage. Autrement dit, ils **se comportent comme des courts-circuits**. Le schéma équivalent aux variations est donné en figure 4.

Ce schéma permet de définir la droite de charge dynamique liant la valeur instantanée de la tension collecteur-émetteur v_{ce} et du courant de collecteur i_c . Cette droite, différente de la droite de charge statique :

- Passe par le point de repos
- Vérifie la relation : $\Delta V_{CE} = - R_C \Delta I_C$

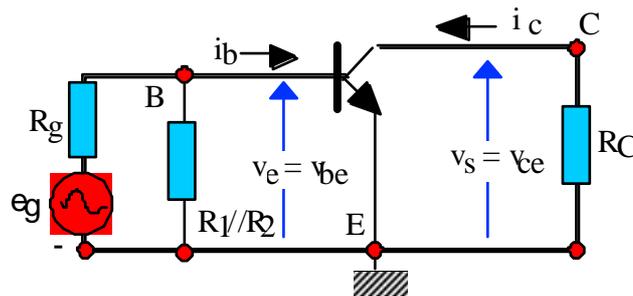


Figure 4 : Schéma du montage équivalent aux variations

- a) Tracer la droite de charge dynamique dans le réseau de sortie.
- b) En déduire, avec les limites de cette droite de charge, l'origine de la distorsion avec écrêtage de la tension V_{CM} observée à la question 2.2.

2.4) Mesure du gain en tension de l'amplificateur.

Appliquer à l'entrée du montage, une tension sinusoïdale v_e de fréquence 1 kHz et d'amplitude crête à crête 20 mV. Mesurer v_s . En déduire la valeur du gain $A_v = v_s/v_e$.

Calculer la valeur théorique et comparer à la valeur expérimentale.

2.5) Mesure de la résistance d'entrée de l'amplificateur.

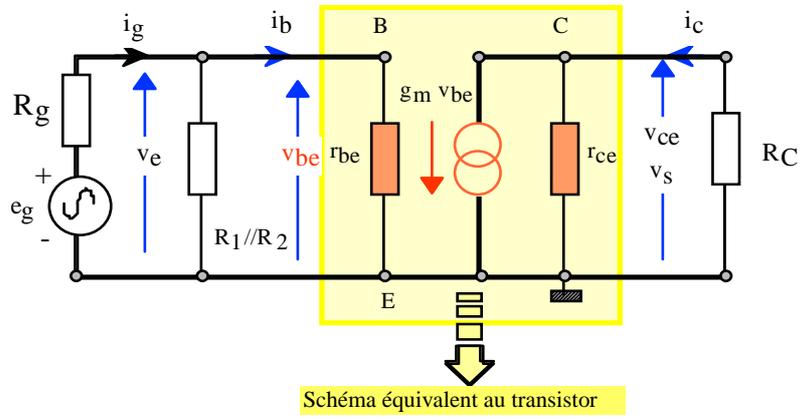
Mesurer la résistance d'entrée R_e du montage à la fréquence de 1kHz en utilisant la méthode développée dans le fascicule annexe. Comparer la valeur expérimentale et théorique.

2.6) Mesure de la résistance de sortie

Mesurer à 1kHz la résistance de sortie R_s du montage en utilisant la méthode de l'annexe, comparer à la valeur théorique.

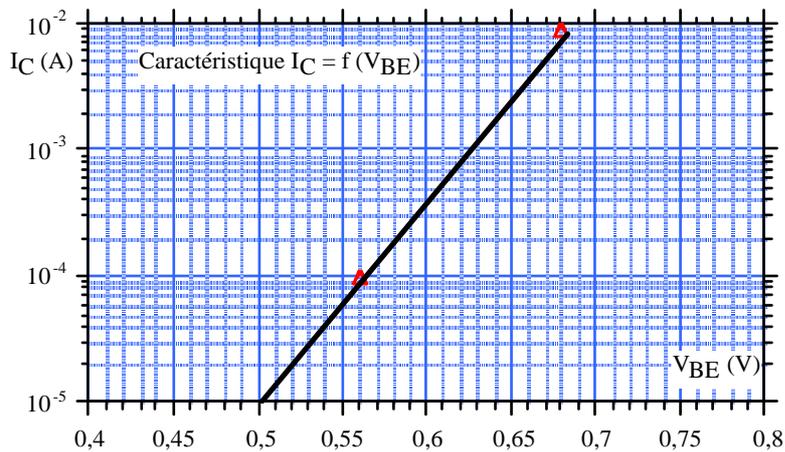
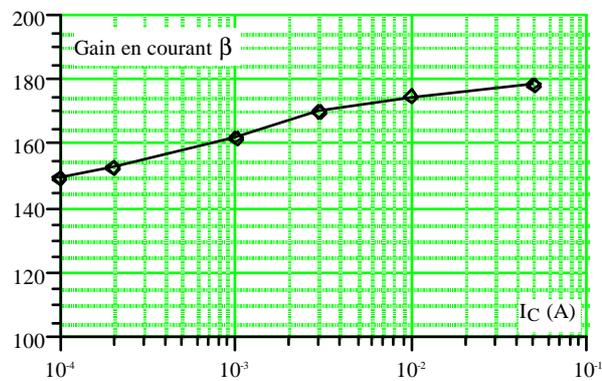
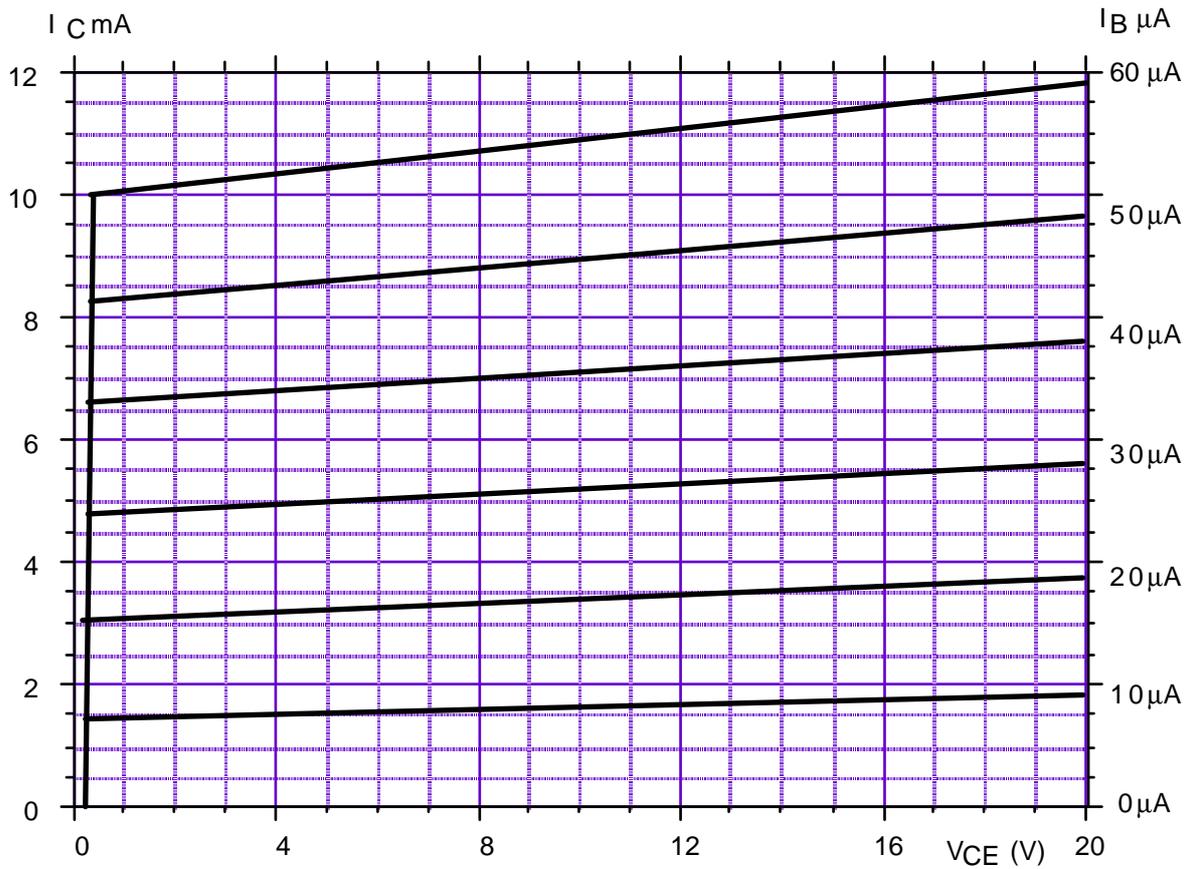
RESULTATS THEORIQUES

Schéma équivalent au montage E.C. aux petites variations et aux fréquences moyennes



Gain en tension à vide	Résistance d'entrée	Résistance de sortie	Gain en puissance à vide
$A_v = -g_m (R_C // r_{ce})$	$R_e = R_1 // R_2 // r_{be}$ $r_{be} = \beta \frac{U_T}{I_{Crepos}}$	$R_s = R_C // r_{ce}$	$Ap(dB) = 10 \log \left[A_v^2 \frac{R_e}{R_C} \right]$ <p>En charge remplacer R_C par R_u</p>

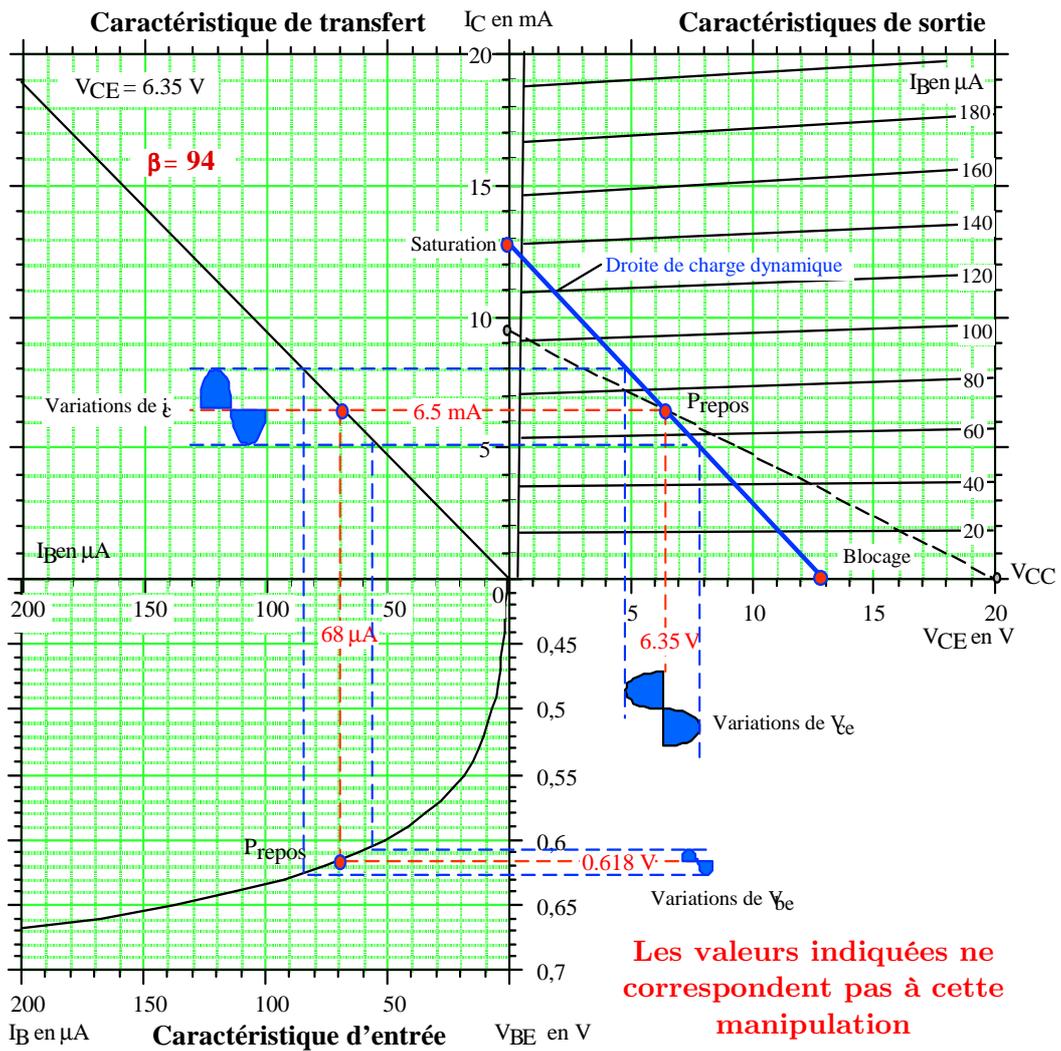
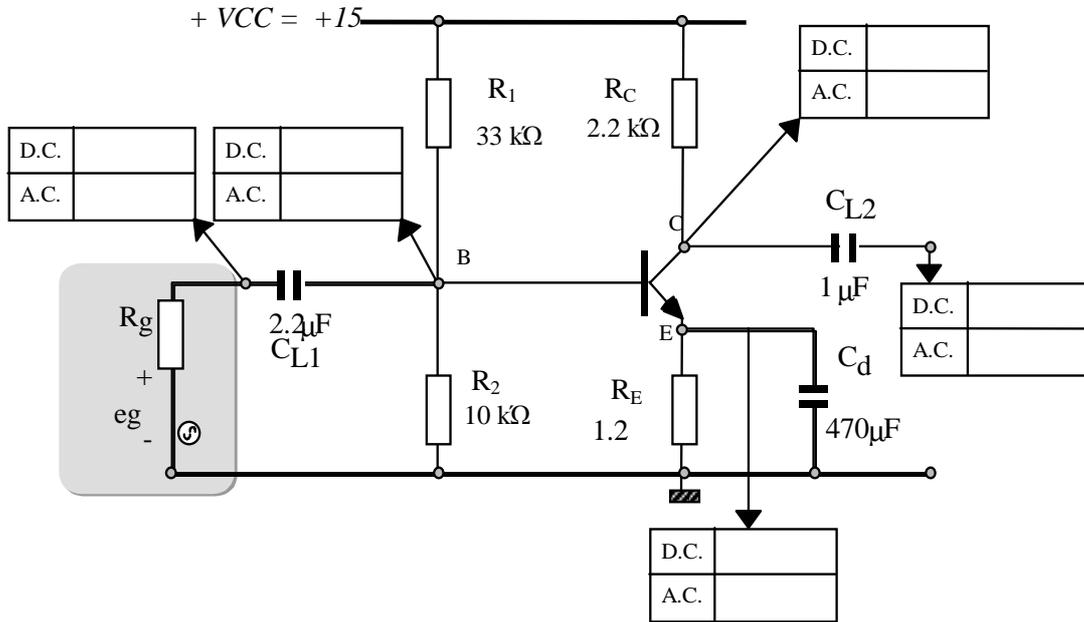
CARACTERISTIQUES (MOYENNES) À 25 °C TRANSISTOR 2N2219A



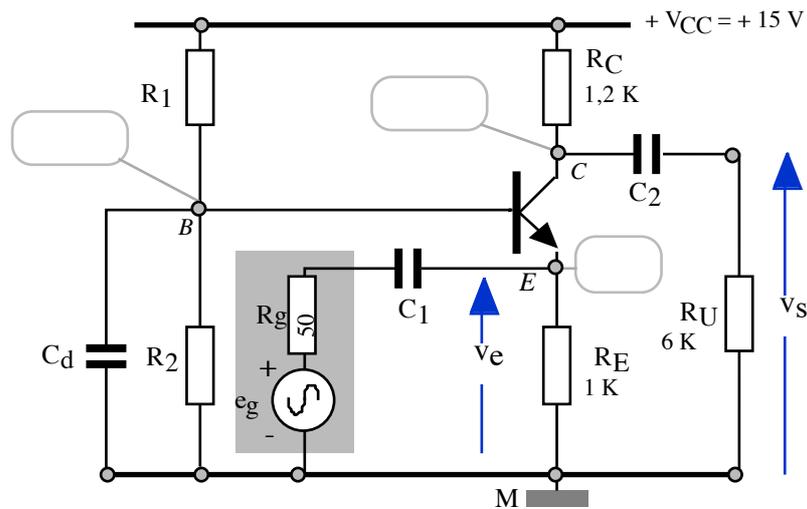
AMPLIFICATEUR A TRANSISTOR NPN EN « EMETTEUR COMMUN »

GRUPE :

NOMS :



ETAGE AMPLIFICATEUR : TRANSISTOR NPN EN BASE COMMUNE



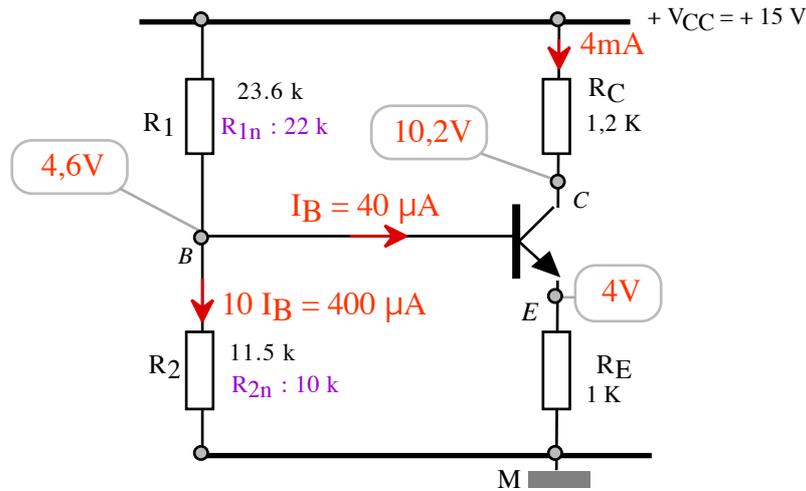
Le schéma d'un étage amplificateur à transistor NPN monté en base commune est donné ci-dessus. Il utilise un transistor NPN au silicium tel que, à $T = 25^{\circ}\text{C}$:

$$\beta = 100, V_{BE} = 0,6 \text{ V tension de Early : } V_A = -100 \text{ V}$$

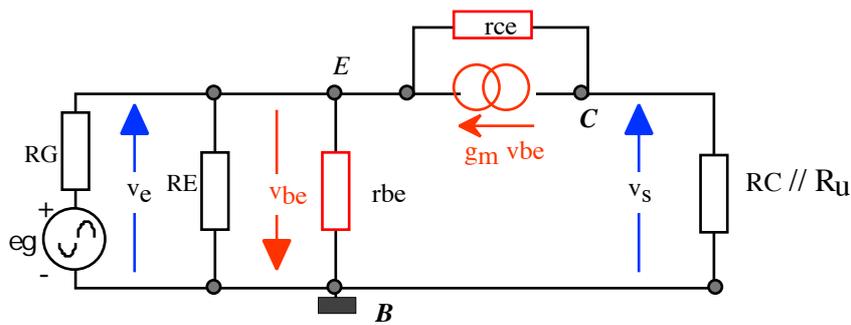
- 1) Quelle valeur doit-on donner aux résistances R_1 et R_2 pour polariser correctement le transistor avec un courant de repos de collecteur $I_C = 4 \text{ mA}$?
- 2) Dessiner le schéma équivalent au montage complet aux petites variations et aux fréquences moyennes sachant que toutes les capacités ont alors une impédance négligeable.
On utilisera le schéma équivalent en " $g_m v_{be}$ " pour simuler le transistor.
- 3) Déterminer les paramètres r_{be} , g_m et r_{ce} du transistor autour de son point de fonctionnement.
- 4) Chercher l'expression et calculer les caractéristiques essentielles de cet étage amplificateur :
 - a) Le gain en tension en charge $A_v = v_s/v_e$ et à vide A_{v0}
 - b) La résistance d'entrée R_e vue par le générateur d'attaque (e_g, R_g)
 - c) La résistance de sortie R_s vue par la résistance d'utilisation R_u (montrer que R_s peut se mettre sous la forme : $R_C // k r_{ce}$ où k est une constante dont on donnera l'expression).

SOLUTION

Question 1 :



Question 2 : schéma équivalent au montage complet aux petites variations et aux fréquences moyennes sachant que toutes les capacités ont alors une impédance négligeable.



Question 3 : paramètres du transistor :

$$r_{be} = \beta \frac{U_T}{I_{C\text{ repos}}} = 625 \Omega \quad g_m = 40 I_{C\text{ repos}} = 160 \text{ mS} \quad r_{ce} = \frac{|V_A| + V_{CE\text{ repos}}}{I_{C\text{ repos}}} = 26.5 \text{ k}\Omega$$

Question 4a :

Equation au noeud C : $\frac{v_e - v_s}{r_{ce}} - g_m v_{be} - \frac{v_s}{R_c / R_u} = 0$ sachant que $v_{be} = -v_e$, on obtient :

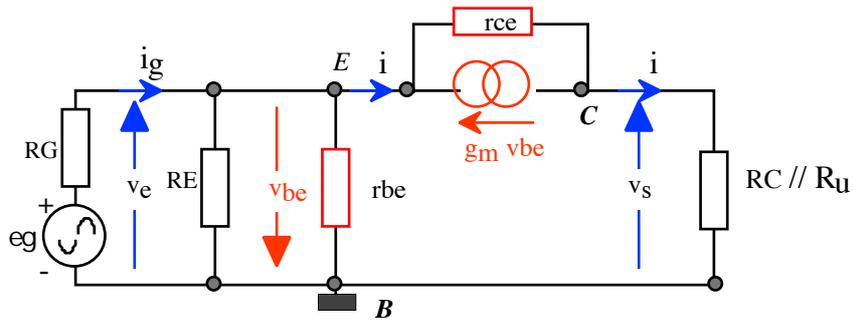
$$A_v = \left(g_m + \frac{1}{r_{ce}} \right) (R_c / R_u / r_{be}) \text{ soit } A_v = +154$$

Gain en tension à vide (R_u infinie) : $A_{v0} = 183.7$

Question 4b : Résistance d'entrée R_e vue par le générateur d'attaque (e_g, R_g) :

$$R_e = \frac{v_e}{i_g} = R_E / r_{be} / \frac{v_e}{i}$$

$$v_e = r_{ce} (i + g_m v_{be}) + (R_c / R_u) i$$



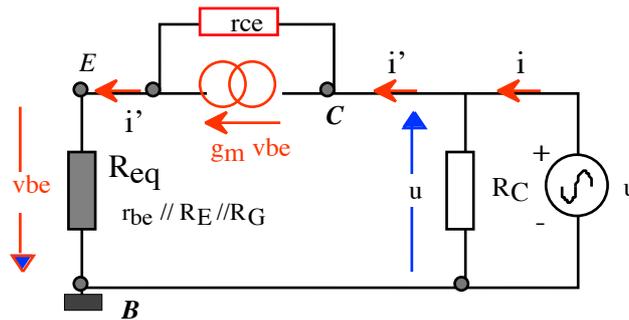
Sachant que : $v_e = -v_{be}$, il vient :

$$\frac{v_e}{i} = \frac{r_{ce} + (R_c // R_u)}{1 + g_m r_{ce}} \quad \text{soit :} \quad R_e = R_E // r_{be} // \frac{r_{ce} + (R_c // R_u)}{1 + g_m r_{ce}}$$

A.N. la résistance d'entrée est sensiblement égale à $(g_m)^{-1} = 6.25 \Omega$.

Question 4c : Résistance de sortie vue par R_u .

Schéma du montage selon la méthode de "l'ohmmètre" :



$$R_s = R_c // \frac{u}{i'} \quad \text{avec : } u = r_{ce} (i' - g_m v_{be}) + R_{eq} i' \quad \text{et } v_{be} = -R_{eq} i'$$

il vient :

$$R_s = R_c // k.r_{ce} \quad \text{avec : } k = 1 + g_m R_{eq} + \frac{R_{eq}}{r_{ce}}$$

A.N. $R_s = 1 \text{ k} // 220 \text{ k} = 995 \Omega$.