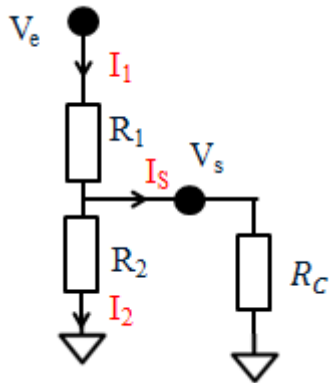


TD 1 – Lois de kirshoff

Question 1

On considère le montage suivant :



On prendra $R_1=1\text{k}\Omega$ et $R_2=2\text{k}\Omega$
Avec $R_C=\infty$ et $V_e=3\text{V}$

Calculer I_1 , I_2 , I_s et V_s

Vérifier sous lushprojects

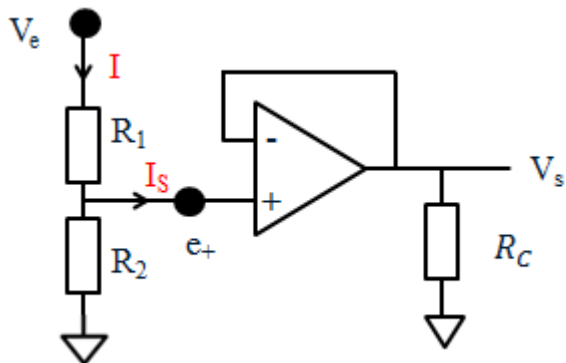
<http://lushprojects.com/circuitjs/circuitjs.html>

Mêmes questions avec ($R_C=100\text{k}\Omega$ puis) $20\text{k}\Omega$

On prendra finalement $R_C=2\text{k}\Omega \rightarrow$ Calculer I_1 , I_2 , I_s et V_s et vérifier sous lushprojects
Sauvegarder ce montage.

Question 2

On considère le montage suivant :



On prendra $R_1=1\text{k}\Omega$ et $R_2=2\text{k}\Omega$
Avec $R_C=2\text{k}\Omega$ et $V_e=3\text{V}$

Calculer I , I_s , e_+ et V_s

Vérifier sous lushprojects

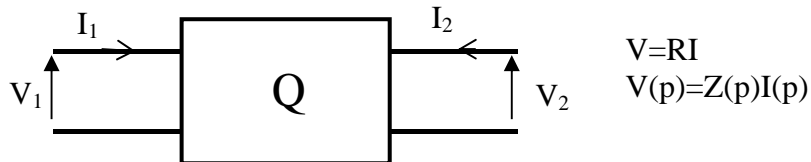
Que se passe-t-il si on change la valeur de R_C ?

D'où provient le courant I_s ?

Etudier les différents montages à Amplificateur Opérationnel sous Lushprojects

TD 2 – Quadripôles

Définition



4 grandeurs électriques (V_1, V_2, I_1, I_2) \Rightarrow 6 systèmes différents :

✓ Matrice Impédance

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = [Z] \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

✓ Matrice Admittance

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = [Y] \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

✓ Matrice de Transfert

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix} = [a] \begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix}$$

✓ Matrice de Transfert inverse

$$\begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = [a'] \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

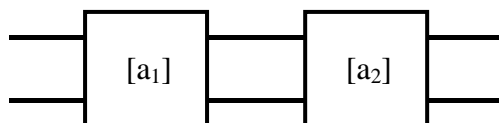
✓ Matrice Hybride

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = [h] \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

✓ Matrice Hybride inverse

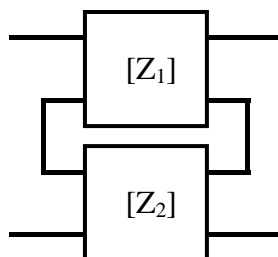
$$\begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = [g] \begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

Association de quadripôles

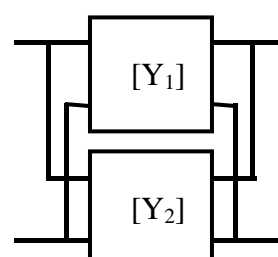


Cascade :

Matrice de transfert : $[a] = [a_1] [a_2]$



Série : $[Z] = [Z_1] + [Z_2]$



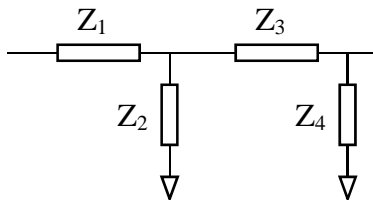
Parallèle : $[Y] = [Y_1] + [Y_2]$

Question 1

Dans le cas d'un quadripôle passif, en utilisant le théorème de réciprocité, démontrer que le déterminant de la matrice de transfert : $\Delta T=1$, et que $Z_{21}=Z_{12}$

Question 2

On considère le réseau suivant :



Calculer la matrice de transfert du réseau formé par Z_1 et Z_2 uniquement.

Calculer la valeur de A de la matrice de transfert totale.

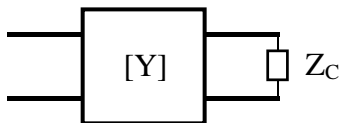
En déduire $H(p)$, la fonction de transfert du réseau.

Dans le cas où $Z_1=Z_3=R$ et $Z_2=Z_4=C$, donner la fonction de transfert.

Même question avec uniquement le premier quadripôle (Z_1 et Z_2). Déterminer également son impédance d'entrée et celle de sortie. Conclusion.

Question 3

On considère le quadripôle suivant :

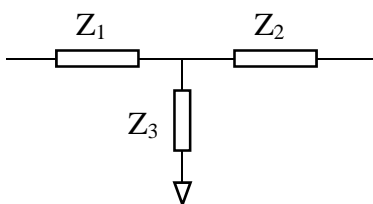


Calculer la fonction de transfert, $H(p)$, en fonction des paramètres Y_{ij} et Z_C .

Même question avec $Z_C \rightarrow \infty$.

Question 4

On considère le réseau suivant :



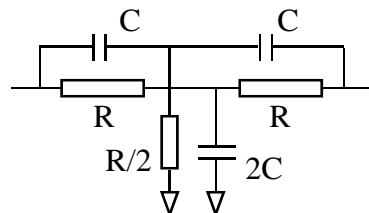
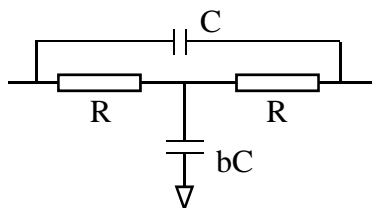
Calculer Y_{21} et Y_{22} .

En déduire $H(p)$.

Tracer $H(p)$ pour $Z_1=R$, $Z_2=kR$ et $Z_3=1/bCp$.

Question 5

On considère les quadripôles suivants :

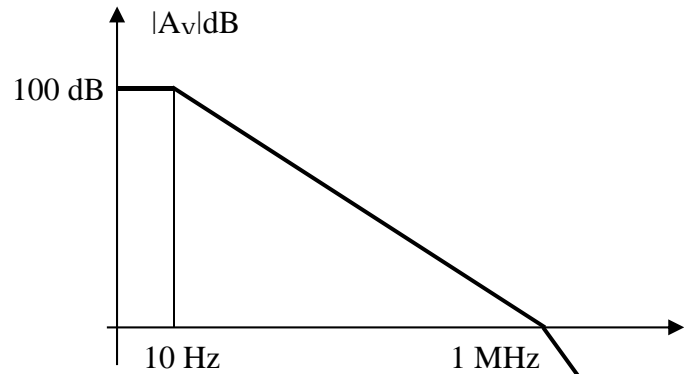
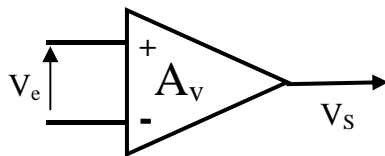


Calculer Y_{21} et Y_{22} .
En déduire $H(p)$.

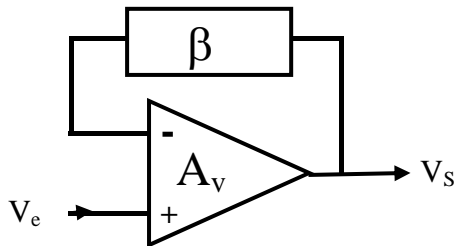
Tracer leurs fonctions de transfert respectives sous lushprojects avec $b=2$ et $R=2k\Omega$ et $C=15,9nF$. Conclusion.

TD 3 – Amplificateur Opérationnel en contre-réaction

Rappel 741



Contre-Réaction



C.R. en tension :

B : Taux de C.R.

AV : Gain de l'A.Op.

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{A_v(p)}{1 + A_v(p)\beta(p)} = H(p)$$

Question 1

Dans le cas d'un montage non inverseur où $\beta = R_1/(R_2 + R_1)$, tracer le diagramme asymptotique de $H(p)$ avec $R_2 = 10$ $R_1 = 100\text{k}\Omega$. Donner la bande passante à -3 dB.

Même question pour d'autres rapports potentiométriques $\beta = R_1/(R_2 + R_1)$.

Conclusion

Question 2

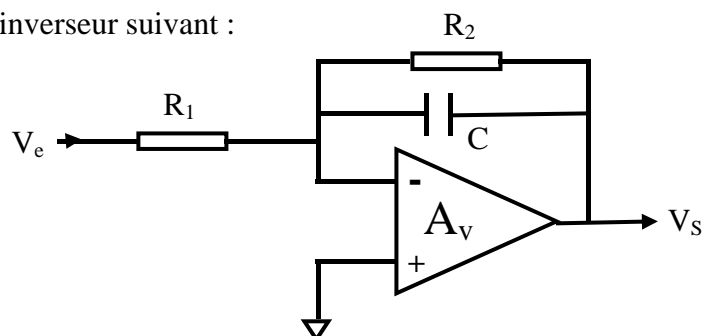
Mêmes question dans le cas d'un montage inverseur.

Puis, même question avec le montage inverseur suivant :

$R_2 = 10$, $R_1 = 100\text{k}\Omega$.

$C = 1,6\text{nF}$.

On cascade 3 fois de suite ce même montage. Que vaut le gain théorique A_T du montage à 3 étages ?



TD 4 – Transistors EC et Cascode

Question 1 : Etude de la réponse en fréquence d'un étage amplificateur à transistor

On considère l'étage amplificateur à transistor représenté sur la figure 1. Les éléments de polarisation assurent au transistor un courant collecteur de repos $I_C=1\text{mA}$.

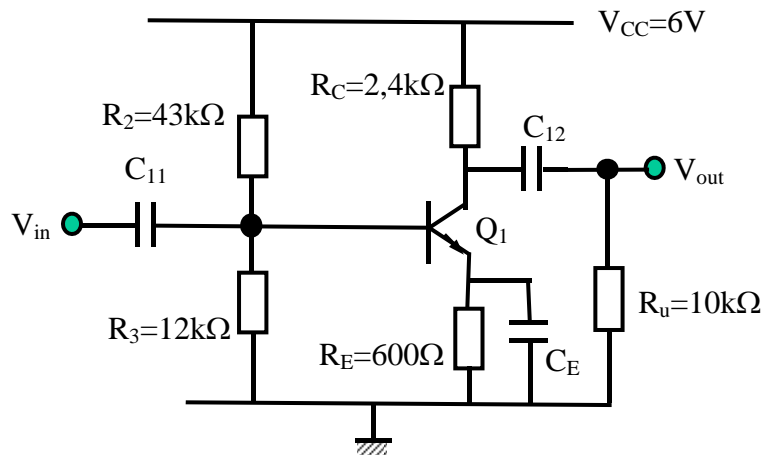


Figure 1

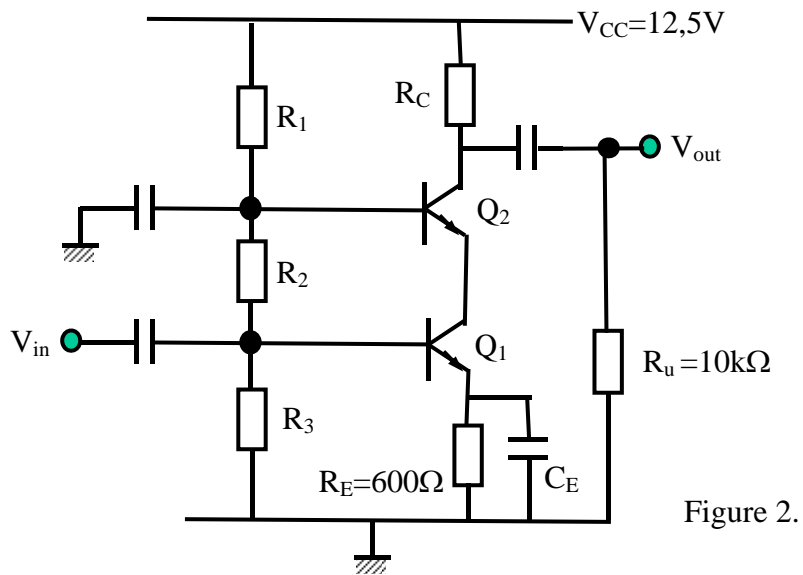
Le gain statique en courant du transistor est $\beta_0=100$.

- 1) Vérifier le point de repos du transistor.
- 2) Faire le schéma équivalent petits signaux du montage. Déterminer la résistance d'entrée, R_e , de sortie R_s et le gain en tension statique A_{V0} à vide.
- 3) Calculer le gain en tension en charge, puis le gain en courant.
- 4) Qu'est-ce qui limite le gain en BF ? Si on ne tient compte que de C_E , quelle valeur doit-on prendre pour avoir une fréquence de coupure BF de 100 Hz ?
- 5) En ne tenant compte que de la capacité miller, C_μ ($C_{BC}=1\text{pF}$), reprendre le schéma petits signaux et calculer la fréquence de coupure HF.

Question 2 : Etude de la réponse en fréquence d'un montage cascode

Le montage cascode représenté sur la figure 2 est réalisé à partir de deux transistors Q_1 et Q_2 identiques. Le gain statique en courant est $\beta_0=100$. On désire obtenir un courant de repos $I_C=1\text{mA}$ et $V_{CE}(Q_1)=V_{CE}(Q_2)=4,7\text{V}$.

- 1) Calculer la valeur des résistances pour assurer ce point de fonctionnement. Prendre les valeurs normalisées de résistances. On prendra $I_{R1}=12.I_B$.



- 2) Faire le schéma équivalent petits signaux du montage. Déterminer la résistance d'entrée, R_e , de sortie R_s et le gain en tension statique A_{V0} à vide. Conclusion.
- 3) En ne tenant compte que de la capacité miller, C_μ ($C_{bc}=1\text{pF}$), reprendre le schéma petits signaux et calculer la fréquence de coupure HF. Conclusion

<http://lushprojects.com/circuitjs/circuitjs.html>

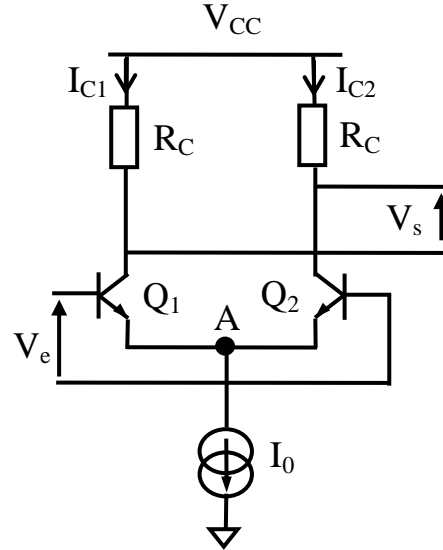
TD 5 – Amplificateur différentiel et Modulation d'amplitude

On considère le montage différentiel ci-contre.

Les transistors bipolaires, supposés identiques, et sont caractérisés par la relation suivante :

$$I_B \# I_S e^{\frac{qV_{BE}}{kT}} = I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}}$$

Les transistors possèdent le même gain β .



1°) Exprimer le gain de transconductance du circuit V_s/I_0 en fonction des éléments du montage et de la variable $x=(V_{BE1}-V_{BE2})/U_T$.

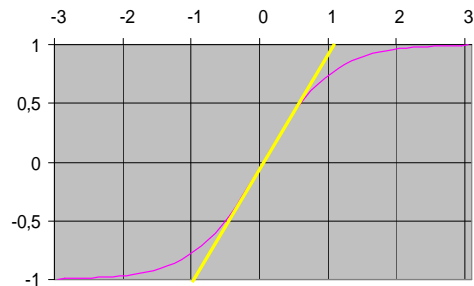
Comparer au gain V_s/V_e

2°) On tracera $y = \frac{V_s / R_c}{I_0} = f(x)$ pour $-3 < x < 3$

En déduire la transconductance autour de 0.

On donne $I_0=500\mu A$.

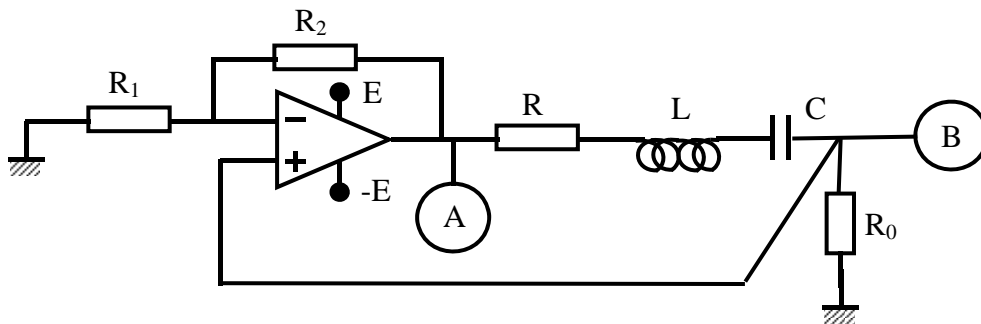
Evaluer le domaine de linéarité de cet amplificateur en prenant une erreur de non linéarité inférieure à 1 %.



3°) Le générateur de courant I_0 est réalisé à partir d'une source de courant commandé en tension (transistor) telle que $I_0=g_m V_{BF}$. Exprimer alors la tension de sortie V_s aux bornes de R_C de cet amplificateur en fonction de V_{BF} et $V_e= V_{BE1}-V_{BE2}=A\cos 2\pi f_0 t$.

TD 6 – Oscillateurs – Méthode du premier harmonique

On considère le montage de la suivante :



R représente la perte de l'inductance L .

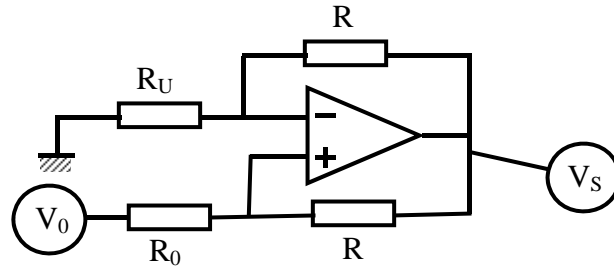
R_0 représente l'impédance de charge du montage.

- 1) Mettre en évidence, dans ce montage, les deux éléments fondamentaux d'un oscillateur. Donner les expressions des gains de ces deux montages.
- 2) Quelle est la fréquence d'oscillation ?
Quelle est la condition de démarrage ?
Quel phénomène limite l'amplitude de l'oscillation ?
- 3) En considérant la résistance R_2 comme infinie et R_1 nulle, quelle est l'amplitude de la tension en B ?
- 4) Application numérique : on désire avoir $f_0=32\text{MHz}$.
On pose $E=15\text{V}$, $R_0=1\text{k}\Omega$, $L=2,53\mu\text{H}$ et $R=500\Omega$
Calculer C , et l'amplitude maximale en B.
- 5) On désire obtenir $V_B=11\text{V}$, déterminer le rapport R_2/R_1 . On esquissera l'allure de V_A en fonction de $\theta=\omega t$. On précisera les valeurs intéressantes (valeurs des tensions et des angles correspondant).

TD 7 – Stabilité et NIC

Question 1 : Stabilité d'un montage à impédance négative

1) On considère le montage de la figure suivante :



Calculer la résistance d'entrée vue de e_+ .

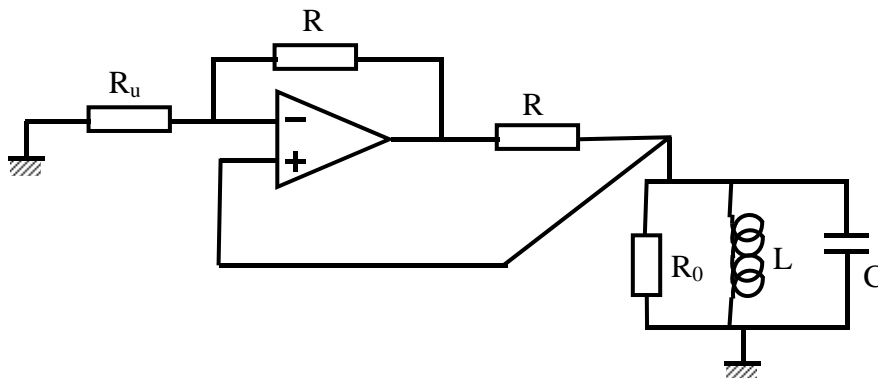
2) Reprendre le montage précédent

a) Calculer le rapport V_S/V_0 .

b) Mettre le résultat sous la forme $\frac{V_s}{V_0} = \frac{A}{1 + AB}$ Préciser A et B

c) A l'aide du critère de Nyquist, démontrer que pour $R_u < R_0$, le système est instable. Quelle est la fréquence d'instabilité ?

3) On considère l'oscillateur suivant :



a) Mettre en évidence les deux éléments fondamentaux d'un oscillateur. Donner les expressions des gains de ces deux montages.

b) Quelle est la fréquence d'oscillation ?

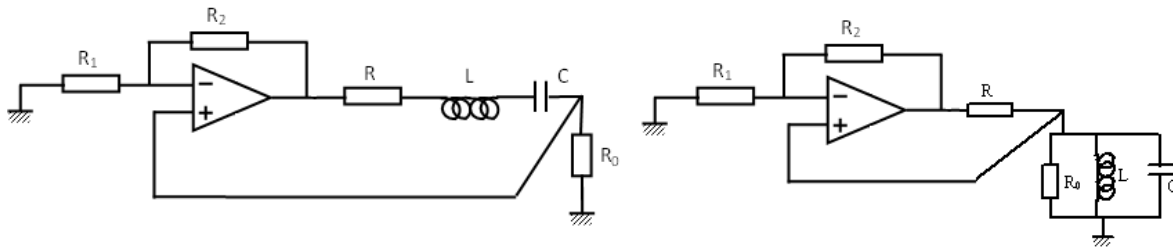
c) Quelle est la condition de démarrage ?

d) Comment peut-on relier les questions 2 et 3 de cet exercice ?

TD 8 – Oscillateur et CAG

I – Oscillateur

On considère les montages ci-dessous, avec $R=100\Omega$, $R_0=50\Omega$, $L=25\mu\text{H}$ et $C=100\text{pF}$:



- 1) Mettre en évidence, dans ces montages, les deux éléments fondamentaux d'un oscillateur.
Donner les expressions des gains de ces deux montages.
- 2) Quelle est la fréquence d'oscillation ? Donner sa valeur
Quelle est la condition de démarrage ?
Donner la valeur minimale du gain $1 + R_2/R_1$.

II – Contrôle automatique du gain par un JFET

On veut stabiliser l'amplitude de l'oscillateur avec un transistor à effet de champ canal N qui pour les faibles tensions de V_{DS} ($V_{DS} < V_P$) a une résistance équivalente :

$$R_{DS} = \frac{R_{DSon}}{1 - \left| \frac{V_{GS}}{V_P} \right|} \quad \text{avec } R_{DSon}=1\text{k}\Omega \text{ et } V_P=5\text{V}$$

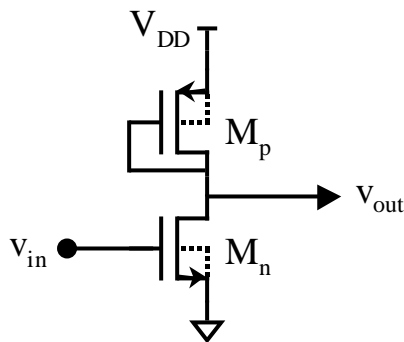
Ce transistor sera monté à la place de R_1 et on prendra $R_2=10\text{k}\Omega$.

- a) Donner le circuit complet permettant de stabiliser l'amplitude.
- b) Quelle est la valeur de la tension de sortie ?
- c) Conclusion.

TD 9 – Amplificateurs CMOS

I – Amplificateur à charge active

Préambule : Même schéma que ci-dessous avec une résistance R_L . L'étage de polarisation, qui fixe la tension continue sur la grille de M_n , n'est pas représenté sur cette figure. Faire le schéma équivalent, calculer le gain avec $R_L=1k\Omega$.



On considère l'amplificateur ci-contre.

On fixe $V_{DD}=3V$ et $V_{out_Statique}=1,5V$ (point de repos).

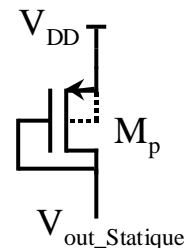
On pose $L_n=L_p=0,35\ \mu m$.

On rappelle : $KP_n=175\ \mu A/V^2$ - $KP_p=58\ \mu A/V^2$
 $V_{Tn}=0,47\ V$ - $V_{Tp}=-0,60\ V$
 $V_{En}=22\ V/\mu m$ - $V_{Ep}=31\ V/\mu m$

1°) Etude de la charge active

Montrer que M_p est toujours en régime saturé.

On désire avoir un courant de $0,5\ mA$, en déduire W_p .



Faire le schéma équivalent petits signaux du montage « charge active », en déduire la résistance équivalente (analytique et application numérique).

2°) Montage complet

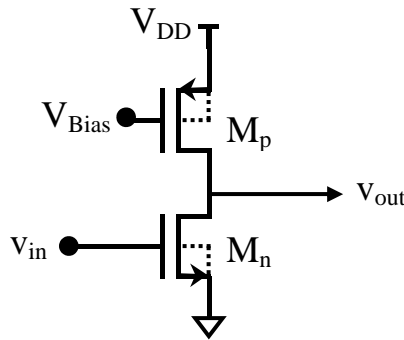
Faire le schéma équivalent petits signaux de l'amplificateur en remplaçant la charge active par la résistance équivalente déterminée précédemment.

Calculer le gain basse fréquence de ce montage. Déterminer V_{GSn} et W_n pour obtenir un gain de 2.

Montrer que ce gain est en première approximation proportionnel à $\sqrt{W_n/W_p}$

II - Amplificateur à générateur de courant

On considère l'amplificateur ci-après. L'étage de polarisation, qui fixe la tension continue sur la grille de M_n , n'est pas représenté sur cette figure. On désire obtenir un gain de 10 avec une consommation de $1,5\ mW$.



On fixe $V_{DD}=3V$ et $V_{out_Statique}=1,5V$ (point de repos).

On pose $L_n=L_p=0,35 \mu m$.

On rappelle : $KP_n=175 \mu A/V^2$ - $KP_p=58 \mu A/V^2$
 $V_{Tn}=0,47 V$ - $V_{Tp}=-0,60 V$
 $V_{En}=22 V/\mu m$ - $V_{Ep}=31 V/\mu m$

Quelle doit être la valeur du courant $I_0=I_{DSn}=-I_{DSp}$ qui traverse les transistors M_n et M_p ? En déduire les valeurs numériques de g_{dsn} et g_{dsp} .

Faire le schéma équivalent petits signaux basse fréquence de ce montage.

Déterminer le gain statique A_{V0} en fonction des caractéristiques des transistors (g_m et g_{ds}).

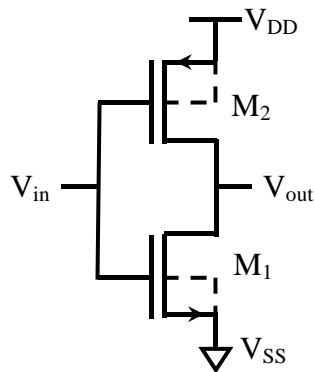
Sachant que l'on désire un gain A_{V0} de 10, calculer g_{mn} , puis le rapport W_n/L_n donc W_n .

Quelle doit être la tension V_{GSn} du transistor M_n ?

Calculer la dynamique de sortie (OUT- et OUT+), en déduire V_{BIAS} .

III - Inverseur CMOS

On désire concevoir un amplificateur à partir d'un inverseur CMOS, utilisé dans sa partie linéaire.



On donne $V_{SS}=0V$ et $V_{DD}=3V$

En regard des valeurs des paramètres Spice (KP_N et KP_P), on

prendra : $\frac{W_2}{L_2} = 3 \frac{W_1}{L_1}$. Par ailleurs, on choisit $L_1=L_2$.

Ecrire dans chaque cas (transistors OFF, ON : saturés et linéaires) les courants I_1 et I_2 (I_{DS1} et I_{DS2}) en remplaçant V_{GS1} , V_{GS2} , V_{DS1} et V_{DS2} par V_{in} , V_{out} et V_{DD} ($V_{SS}=0V$).

Donner les régimes de fonctionnement des transistors M_1 et M_2 lorsque V_{in} varie de V_{SS} à V_{DD} (on considérera les cas particuliers de V_{in} suivant : $0,47 \leq V_1 \leq V_2 \leq 2,4 V$, on ne cherchera pas à déterminer les valeurs V_1 et V_2).

Quelles conditions doit-on avoir sur V_{in} et V_{out} pour que les deux transistors M_1 et M_2 soient saturés ? On cherche à déterminer le point $V_{in}=V_{out}=V_0$ sur la caractéristique de transfert de l'inverseur, $V_{out}=f(V_{in})$. Vérifier que cette condition impose la saturation des deux transistors M_1 et M_2 . On désire avoir $V_0=V_{DD}/2=1,5V$, en déduire la valeur de $L_1(=L_2)$. La technologie retenue (CMOS $0,35 \mu m$) est-elle suffisante ?

On prend donc $L_1=L_2=L_{min}=0,35 \mu m$, en déduire l'équation qui permet de calculer la valeur V_0 . Vérifier que $V_0=1,43 V$ est une solution approchée de cette équation.

On désire avoir $I=1,1mA$. Déterminer alors W_1 , puis W_2 .

Faire le schéma équivalent petits signaux autour de ce point de polarisation. Déterminer le gain de cet amplificateur.

TD 10 – Amplificateur de Puissance

Question 1 : Soit le montage de la figure 1

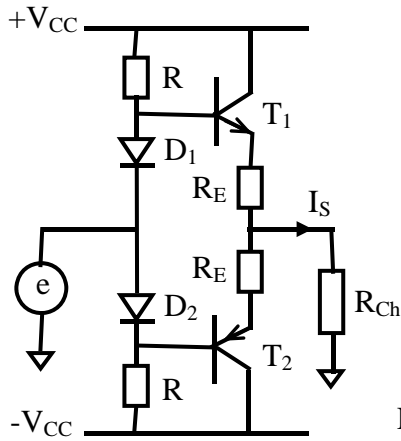


Figure 1

On pose :

$$V_{CC}=20V$$

$$\beta=100$$

$$R_{Ch}=200\Omega$$

$$(h_{22})^{-1}=5.10^4\Omega$$

- 1) Indiquer la classe du montage. Justifier le rôle des diodes D_1 et D_2 .
- 2) Déterminer la valeur maximum du courant I_S en négligeant R_E . Calculer les éléments du montage (R_E et R), les impédances d'entrée et de sortie, la puissance de sortie et le rendement du montage. On précisera le rôle de R_E et R .
- 3) Conclusions sur ce montage.

Question 2 – On modifie ce schéma suivant la figure 2.

On se considère le montage ci -dessous :

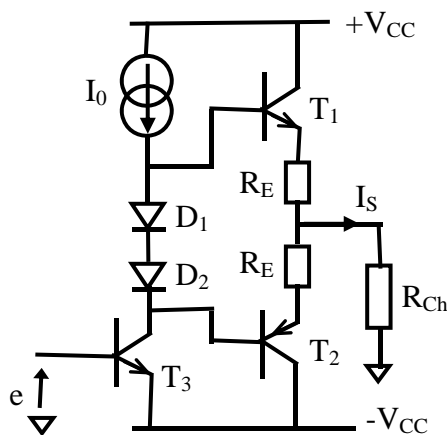


Figure 2

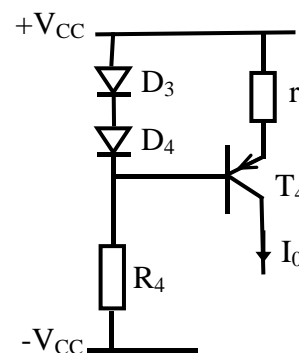


Figure 3

- 1) La source de courant est réalisée selon le montage de la figure 3. Déterminer le courant I_0 . Expliquer son principe de fonctionnement, calculer les éléments du montage.

- 2) Calculer, pour le schéma de la figure 2, l'impédance d'entrée, le gain du montage et la dynamique de sortie.

Question 3 – On désire protéger le montage des surintensités (cf. figure 4).

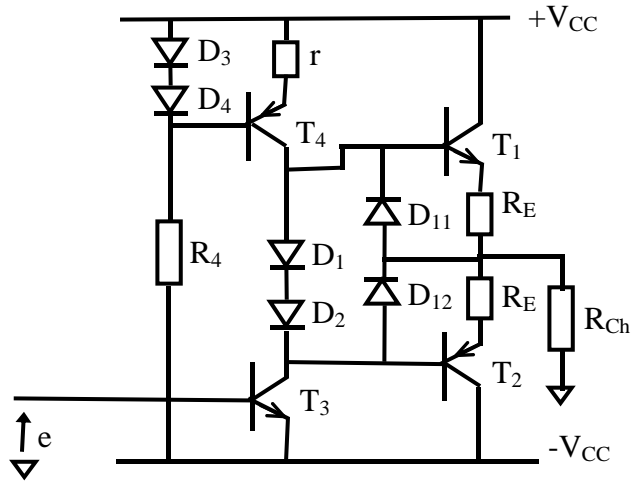


Figure 4

- 1) Expliquer le fonctionnement du nouveau montage. Indiquer son principal inconvénient.
- 2) Pour éviter cet inconvénient, on modifie ce montage des manières suivantes :

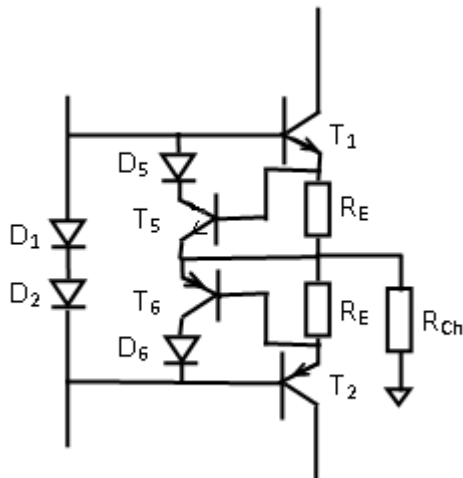


Figure 5

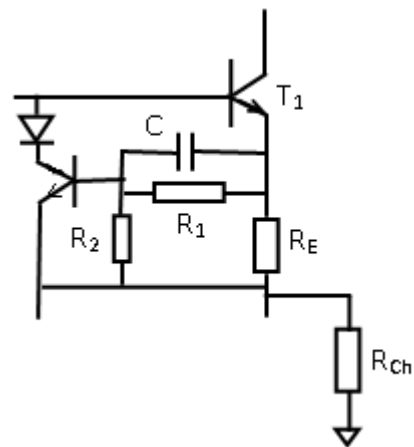


Figure 6

Expliquer le fonctionnement du montage de la figure 5. Indiquer le rôle des diodes D_5 et D_6 . Quel est toujours l'inconvénient de ce montage et quelle amélioration apporte le schéma de la figure 6 ? Donner des valeurs possibles de R_1 et R_2 qui limitent le courant de sortie à 80 mA. Quel est le rôle de C ?