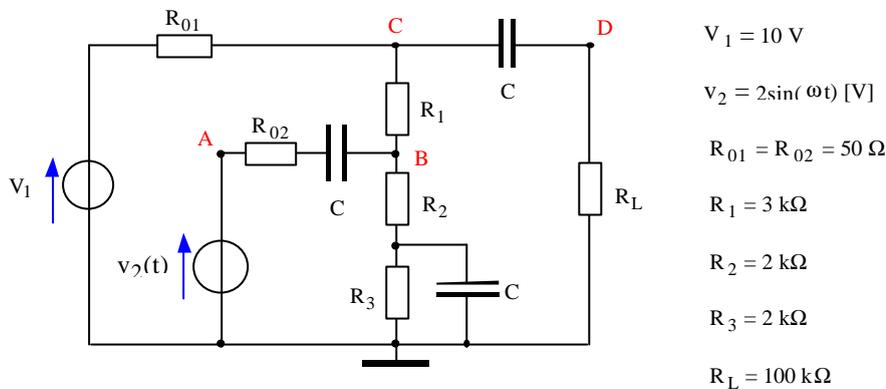


## TD d'électronique analogique 1A : Diodes

### Ex 1 : Analyse statique / dynamique d'un circuit

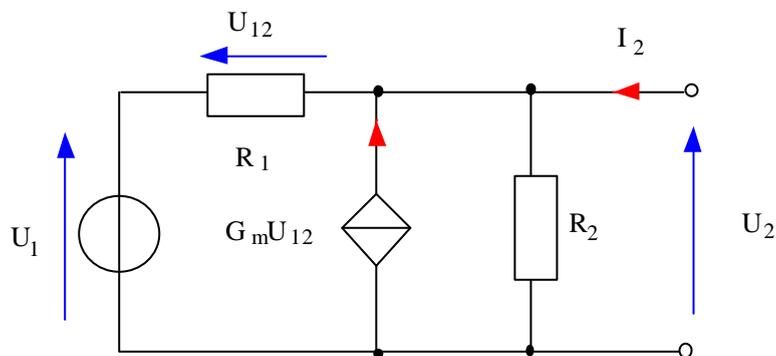
On donne le circuit suivant avec une source de tension continue  $V_1$  et une source de tension alternative  $v_2(t)$  sinusoïdale.



- 1) Etablir le schéma équivalent en continu et déterminer la composante continue du potentiel aux noeuds A, B, C et D.
- 2) Etablir le schéma équivalent en alternatif à des fréquences assez hautes pour que les capacités puissent être remplacées par des courts-circuits. Déterminer la composante alternative du potentiel aux noeuds A, B, C et D.

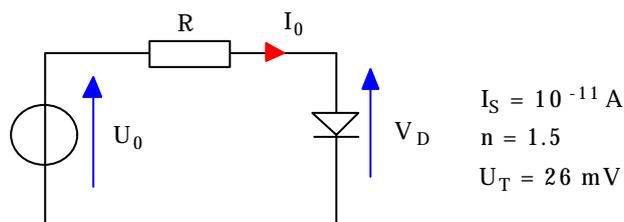
### Ex 2 : Thévenin

Déterminer la source de Thévenin équivalente du circuit ci-dessous :



### Ex 3 : Point de fonctionnement d'une diode

Soit le circuit à diode suivant :

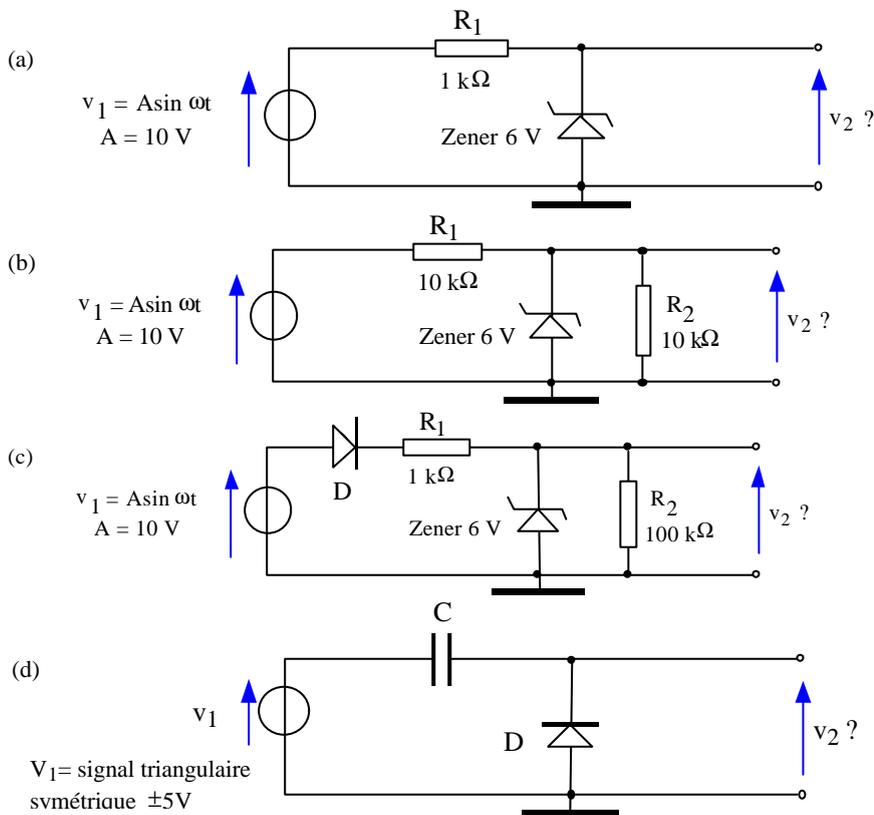


On veut imposer un courant  $I_0 = 1 \text{ mA}$  à partir d'une source  $U_0 = 2 \text{ V}$ .

- 1.1** En utilisant le modèle exponentiel de la diode, calculer
- la chute de tension aux bornes de la diode
  - la résistance  $R$  nécessaire pour imposer le courant  $I_0$
  - la résistance dynamique de la diode au point de fonctionnement
- 1.2** En utilisant le modèle simplifié (à segments linéaires) de la diode ( $U_D = U_j = 0.7$  V), calculer le courant  $I_0$  en prenant la même résistance que celle trouvée précédemment.

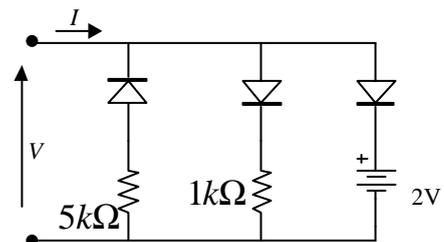
**Ex 4 : Modélisation des diodes**

En utilisant le modèle simplifié des diodes et des diodes Zener (chute de tension constante de  $U_j = 0.7$  V dans le sens direct et, pour les diodes Zener, chute de tension constante  $U_Z$  dans le sens inverse), étudier le comportement des circuits suivants en traçant un diagramme de la tension de sortie en fonction du temps.



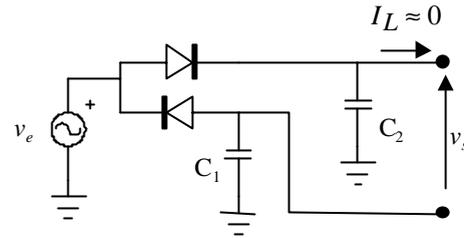
**Ex 5 :**

Tracer la caractéristique  $I=f(V)$  du dipôle représenté ci-contre. Les diodes sont considérées comme idéales.



### Ex 6 : Multiplieur

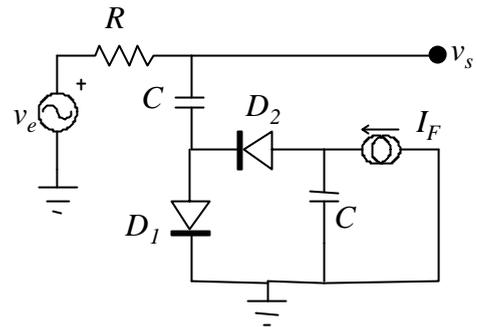
Soit le montage ci contre avec  $v_e = 240V_{eff}$ . Les diodes sont supposées idéales et le courant dans la charge est négligeable ( $I_L = 0$ ). Donner la forme et l'amplitude de  $v_s$ . Quelle est la tension inverse maximale que doit supporter chaque diode ? Qu'advierait-il si le courant  $I_L$  était non-nul?



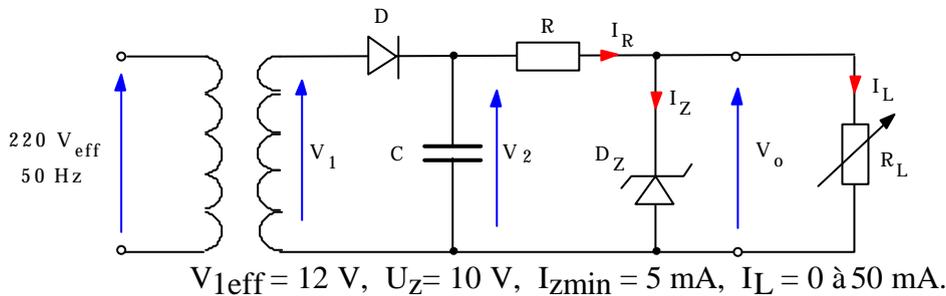
### Ex 7 : Atténuateur variable

Montrer que le montage ci-contre se comporte pour de petits signaux approximativement comme un atténuateur dont le rapport  $\eta$  d'atténuation dépend de  $I_F$ .

On suppose que les diodes se comportent comme des jonctions PN idéales (caractéristiques exponentielles). Les capacités sont prises très grandes de manière à pouvoir les négliger en dynamique.  $I_F$  varie de 0,1 à 1 mA et  $v_e^{c.a.c} < 10mV$ .



### Ex 8 : Circuit d'alimentation



- Dessiner l'allure de  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_0$  indiqués dans la figure, en supposant que le courant  $I_Z$  ne s'annule jamais et que les diodes  $D$  et  $D_Z$  ont une résistance différentielle nulle.
- En admettant que  $V_2$  ne descende pas en dessous de 14 V, calculer  $R$  pour que le courant  $I_Z$  ne descende jamais au dessous du minimum spécifié.
- Calculer la capacité de filtrage pour assurer que la tension  $V_2$  ne descende pas au dessous de 14 V.
- Déterminer les conditions de charge qui entraînent un courant  $I_Z$  maximum. Calculer  $I_{Zmax}$  et en déduire la puissance moyenne maximum dissipée dans la diode Zener.

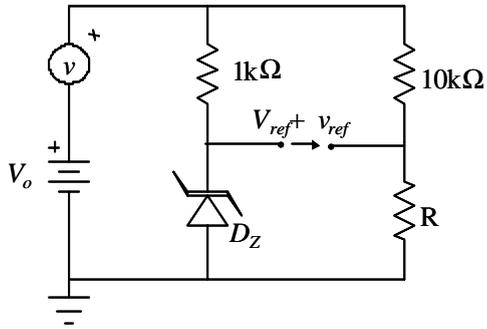
**Ex : 9**

Le montage ci-dessous est destiné à délivrer une tension de référence  $V_{ref}$ .

$D_Z$  est une diode Zener de valeur  $U_Z = -10V$  et dont la pente caractéristique, au delà du coude Zener, est de  $0,1 A/V$ .

$V_o = 50V$ .

En considérant l'aspect dynamique, établir l'expression littérale de  $F = \frac{v_{ref}}{v}$ .



Pour quelle valeur de  $R$  a-t-on  $F = 0$  ?

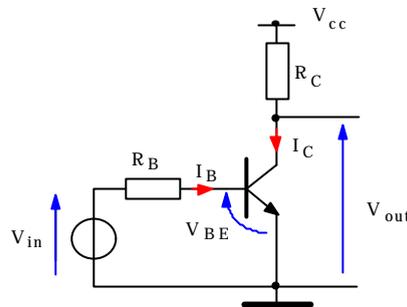
Quelle est la valeur de  $V_{ref}$  quand  $v = 0$  ?

Quelle est la résistance de sortie du montage ?

## TD d'électronique analogique 1A : Transistors n°1

### Ex1 : Mode de fonctionnement

Soit le circuit suivant, où  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_B = 27 \text{ k}\Omega$ ,  $\beta = 100$



- a) Déterminer les différents modes de fonctionnement du transistor lorsque  $V_{in}$  évolue de 0 à  $V_{CC}$ , en adoptant, pour la jonction base-émetteur, le modèle simple où  $V_{BE} \approx U_j = 0.7 \text{ V}$  dans le sens passant.

En utilisant l'hypothèse simplificatrice  $V_{CE,sat} \approx 0 \text{ V}$ , calculer les courants  $I_C$  et  $I_B$  ainsi que la tension  $V_{out}$  pour deux valeurs particulières de la tension d'entrée:  $V_{in} = 0 \text{ V}$  et  $V_{in} = V_{CC}$ .

- b) Déterminer la valeur maximum admissible pour  $R_B$  de façon à ce que le transistor sature lorsque  $V_{in} = V_{CC}$ .

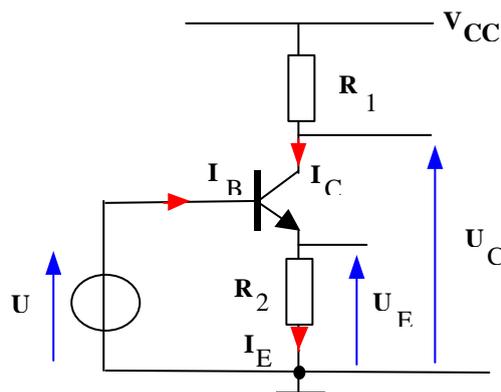
### Ex 2 :

Soit la structure de la figure suivante. Sachant que  $U_{BE} = U_j$ , calculer les courants  $I_B$ ,  $I_E$  et  $I_C$ , ainsi que les tensions  $U_E$  et  $U_C$ .

Quel est le mode de fonctionnement du transistor ?

Valeurs numériques:  $U = 3.4 \text{ V}$      $U_j = 0.7 \text{ V}$      $R_1 = 4.7 \text{ k}\Omega$

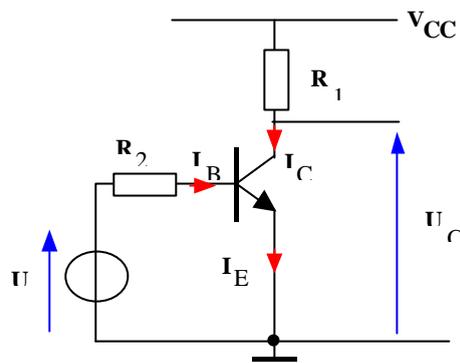
$R_2 = 2.7 \text{ k}\Omega$      $\beta = 200$      $V_{CC} = 10 \text{ V}$



### Ex 3 : Point de fonctionnement

Soit la structure de la figure suivante. Sachant que  $U_{BE} = U_j$ , calculer les courants  $I_B$  et  $I_C$ , ainsi que les tensions  $U_B$  et  $U_C$ .

Valeurs numériques:  $U = 3.4 \text{ V}$      $U_j = 0.7 \text{ V}$      $R_1 = 4.7 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 2.7 \text{ k}\Omega$      $\beta = 200$      $V_{CC} = 10 \text{ V}$



### Ex 5 : Source de courant

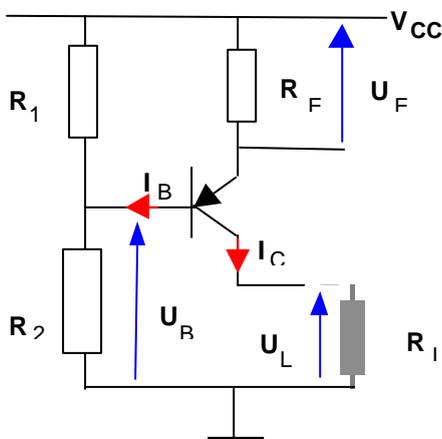
Soit la structure de la figure suivante.

Application numérique:

$\beta = 200$      $U_j = 0.7 \text{ V}$      $R_1 = 8.2 \text{ k}\Omega$      $V_{CC} = 10 \text{ V}$   
 $R_2 = 5.6 \text{ k}\Omega$      $R_E = 2.7 \text{ k}\Omega$

a.) Sachant que  $U_{EB} = U_j$  et en négligeant  $I_B$ , montrer que le courant  $I_C$  ne dépend pas de la charge  $R_L$  (source de courant), puis vérifier l'hypothèse.

b.) Quelle est la valeur maximale de  $R_L$ .



**Ex 6 : Régime dynamique**

Soit la structure de la figure suivante.

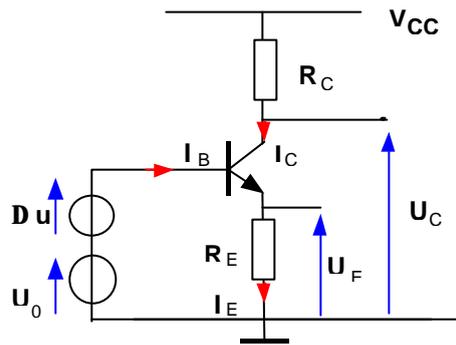
**a)** Sachant que  $U_{BE} = U_j$ , calculer le point de repos ( $\Delta u=0$ ) c.à.d. les courants  $I_B$ ,  $I_E$  et  $I_C$ , ainsi que les tensions  $U_E$  et  $U_C$ .

Quelle est le mode de fonctionnement du transistor ?

**b)** Dessiner le schéma pour accroissements (petits signaux) et déterminer  $g_m$  et  $g_{be}$ .

**c)** Déterminer le gain  $G_1 = \Delta u_E / \Delta u$  et  $G_2 = \Delta u_C / \Delta u$ .

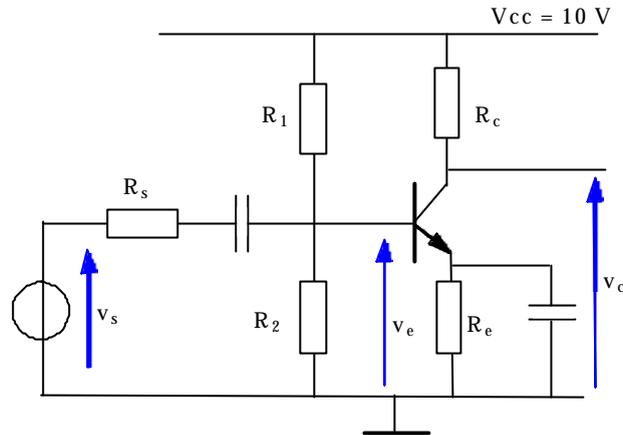
Application numérique:  $U_0 = 4.6 \text{ V}$     $U_j = 0.7 \text{ V}$     $R_C = 4.7 \text{ k}\Omega$   
 $R_E = 3.9 \text{ k}\Omega$     $\beta = 200$     $V_{CC} = 10 \text{ V}$



## TD d'électronique analogique 1A : Transistors n°2

### Exercice n° 1: Etage amplificateur

- a) Concevoir un amplificateur de type "émetteur commun" présentant les caractéristiques suivantes:  $Z_{in} = 1k\Omega$  et  $A_V = - 50$  avec  $h_{fe} = 150$ . La source  $v_s$  a une résistance interne de  $50\Omega$ .



- b)- Après avoir dimensionné les éléments :

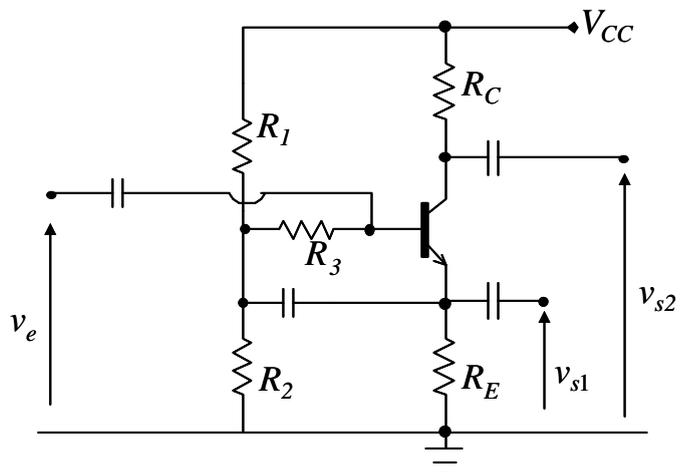
- calculer le point de fonctionnement ( $V_E$ ,  $V_C$ ,  $I_C$ ) avec les valeurs normalisées des résistances (valeurs normalisées : 1 - 1.2 - 1.5 - 1.8 - 2.2 - 2.7 - 3.3 - 3.9 - 4.7 - 5.6 - 6.8 - 8.2).
- calculer  $Z_{in}$  et  $A_V$ .
- tracer les droites de charge statique et dynamique ( $R_L = 5.6 k\Omega$ ).
- déterminer l'amplitude crête à crête maximale du signal de sortie (avant distorsion).

### Exercice n° 2 : Montage bootstrap

Donner un exemple de polarisation (ordres de grandeurs et composants) du montage.

Calculer :

- le gain  $\frac{v_{s1}}{v_e}$
- le gain  $\frac{v_{s2}}{v_e}$
- l'impédance d'entrée  $Z_e$ .



On négligera l'impédance des condensateurs.

### Exercice n° 3:

Soit le montage ci –contre où  $T_1$  et  $T_2$  sont des transistors bipolaires au silicium fonctionnant à température ambiante ( $T = 300 \text{ K}$ )..

Pour  $T_1$  et  $T_2$ ,  $h_{fe} = 400$

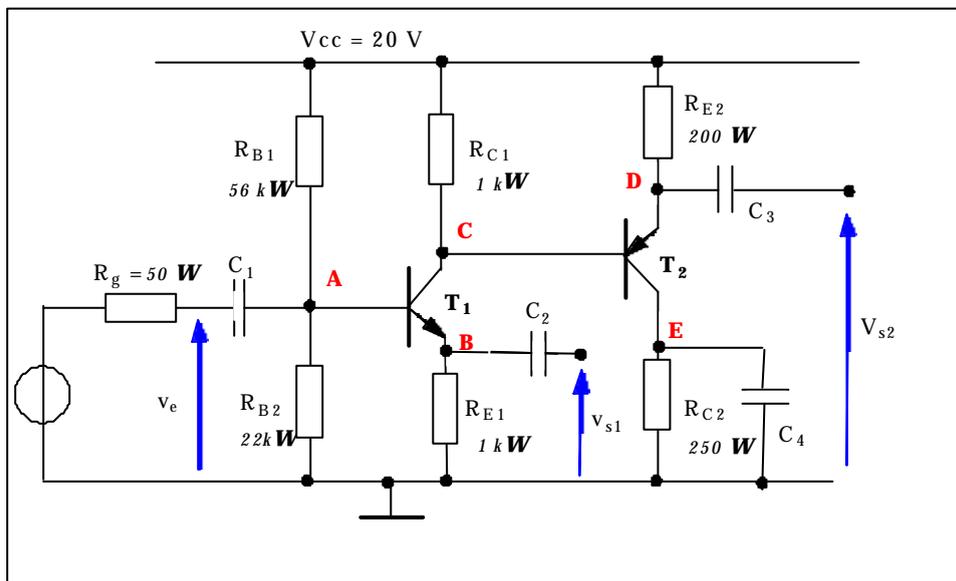
$H_{oe} = h_{re} = 0$

Donner les tensions statiques aux points A, B, C, D, E. Déduire les valeurs de  $h_{ie1}$  et de  $h_{ie2}$  de  $T_2$ .

Sachant que les capacités peuvent être choisies aussi grande que l'on veut, donner le schéma dynamique petit signaux du montage.

Calculer de façon littérale :

- $v_{s1}/v_e$  et  $v_{s2}/v_e$
- $Z_e$  Impédance d'entrée du montage
- $Z_{s1}$  et  $Z_{s2}$  impédances de sortie respectives 1 et 2 sachant que le générateur d'attaque  $v_e$  présente une résistance interne  $R_g$  de  $50 \Omega$ .



#### Exercice n° 4:

Soit l'amplificateur à transistors bipolaires NPN silicium suivant ci-dessous :

Pour  $T_1$  et  $T_2$ ,  $h_{fe} = 100$ ,  $H_{oe} = h_{re} = 0$ .

Déterminer les tensions statiques aux divers points du montage et la valeur du paramètre  $h_{ie}$  à température ambiante ( $T = 300$  K).

Etablir le schéma équivalent petits signaux sachant que les capacités peuvent être prises aussi grandes que l'on veut.

Dans les deux cas suivants :

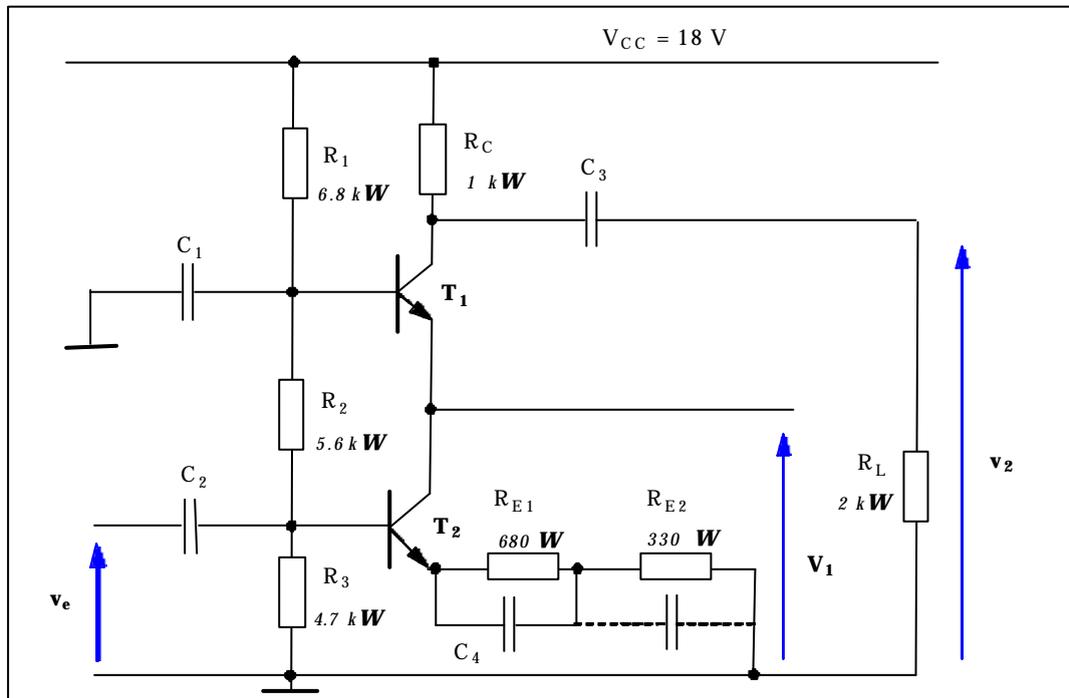
a)  $R_{e2}$  court-circuitée par une capacité de valeur élevée

b)  $R_{e2}$  seule

Calculer les gains en tensions  $v_1/v_e$  et  $v_2/v_e$  et les impédances d'entrée et de sortie du montage.

Présenter les résultats sous littérale puis effectuer l'application numérique.

Les approximations employées devront être justifiées.



**Exercice n° 5 :**

*Les éléments actifs sont au silicium et fonctionnent à température ambiante ( $T = 300K$ ).*

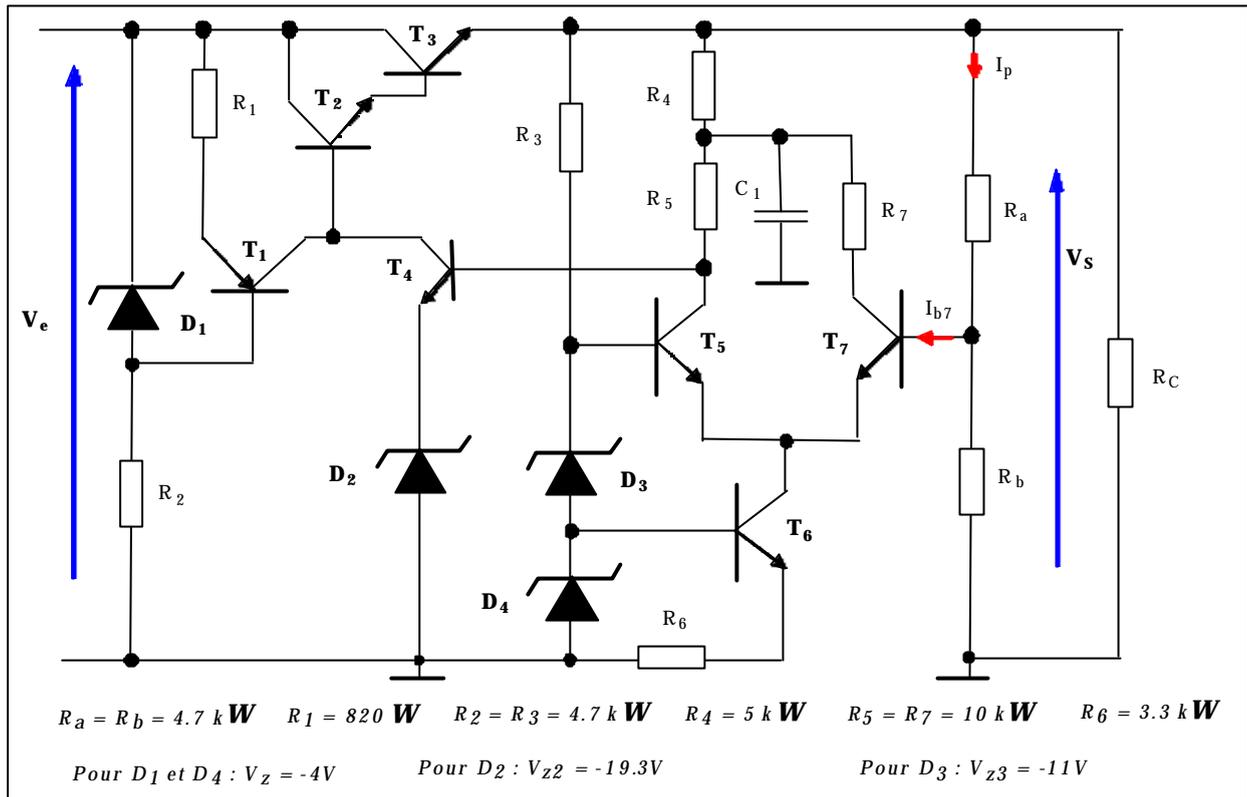
*Les diodes Zener sont parfaites.*

*On utilisera, en les justifiant, les approximations d'usage.*

Le montage de la figure ci-dessous représente le régulateur d'une alimentation stabilisée  $V_s = 30V$  où  $V_e$  qui peut varier autour de  $40V$ , est la tension continue filtrée d'entrée. La différence de tension entre la fraction de  $V_s$  prélevée par  $R_a$  et  $R_b$  et la tension de référence fournie par  $D_3$  et  $D_4$  est amplifiée par  $T_4$ .  $T_4$  contrôle la conduction de  $T_2$  et  $T_3$  pour annuler cette différence et stabiliser la sortie  $V_s$  à sa valeur nominale.

Les transistors sont du type bipolaire, avec les paramètres suivants :

- Pour  $T_1, T_4, T_5$  et  $T_7$ ,  $h_{fe} = 200, h_{oe} \# h_{re} = 0$ ,
- Pour  $T_2$ ,  $H_{fe2} \# h_{fe2} = 50, h_{oe2} \# h_{re2} = 0$ .
- Pour  $T_3$ ,  $H_{fe3} \# h_{fe3} = 20, h_{oe3} = 1/20 \text{ k}\Omega$ .
- enfin pour  $T_6$ ,  $H_{fe6} \# h_{fe6} = 200, h_{oe6} = 1/100 \text{ k}\Omega, h_{re6} = 0$ .



### - Aspect statique :

On supposera que l'alimentation débite sur une charge  $R_C$  d'environ  $30 \Omega$  telle que  $T_3$  délivre une intensité de 1 A. On prendra  $I_{b7} \approx I_p$ .

Déterminer, dans l'ordre que vous jugerez le plus judicieux, les courants qui circulent dans les émetteurs des transistors.

Déterminer les valeurs de  $h_{ie_i}$  ( $i = 1$  à  $7$ ) des transistors. Vérifiez que  $h_{ie_5} = h_{ie_7} = h_{ie}$  (attention  $h_{ie}$  est très grand et  $h_{ie_3}$  est très petit)

### - Aspect dynamique :

Justifier le fait que  $T_1$  n'intervienne pas en dynamique ; quel est son rôle ?

Montrer que l'ensemble  $T_2 - T_3$  peut être assimilé à un seul transistor dont on donnera le schéma dynamique équivalent, préciser les valeurs de  $h_{oe_{eq}}$ ,  $h_{fe_{eq}}$  et  $h_{ie_{eq}}$ .

Montrer que la partie du montage située entre le collecteur de  $T_6$  et la masse peut être considérée, en dynamique, comme une résistance **RM** élevée mais non infinie dont on calculera la valeur.

Sachant que la capacité est prise aussi grande que souhaité, mais non infinie et en tenant compte des simplifications citées ci-dessus :

Etablir le schéma dynamique

### Exercice n° 6 :

Soit le montage ci-dessous où les transistors sont du type bipolaire au silicium.

-  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$  sont presque identiques avec les paramètres suivants :  $h_{fe} = 200$ ,  $h_{oe} \neq h_{re} = 0$ ,

- Pour  $T_3$ ,  $H_{fe3} \neq h_{fe3} = h_{fe}$

#### Aspect statique:

Préciser les rôles de  $T_1$  et  $T_2$ .

Déterminer dans l'ordre qui vous paraîtra le plus judicieux, les tensions aux différentes électrodes des transistors.

Calculer  $hie_1$ ,  $hie_2$  et  $hie_3$ .

#### Aspect dynamique :

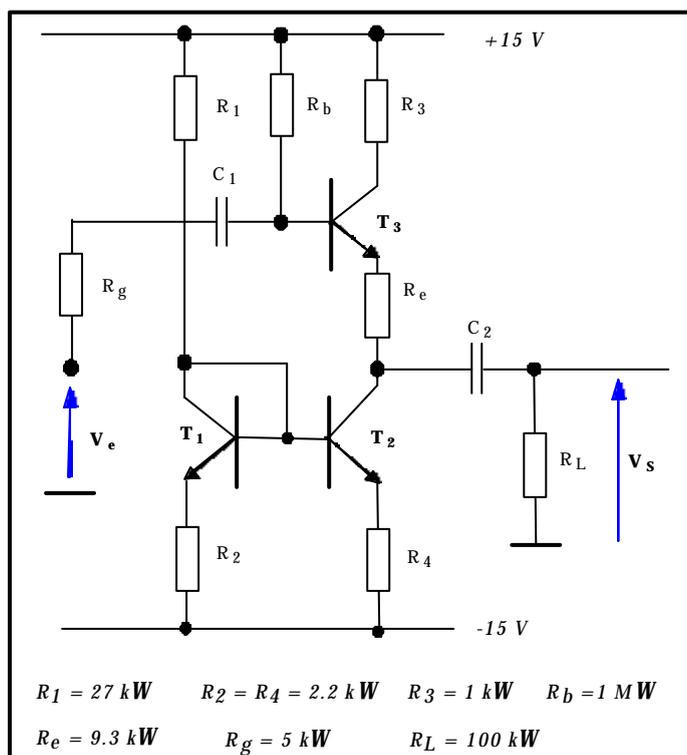
Tracer le schéma dynamique :

Sachant que  $C_1 = 1 \text{ nF}$  et que  $C_2$  peut être considérée comme très élevée, calculer le gain en régime harmonique  $T(j\omega)$ .

$$T(j\omega) = \frac{v_s(j\omega)}{v_e(j\omega)}$$

En déduire la pulsation de coupure liée à  $C_1$ .

Quelle est l'impédance de sortie du montage lorsque la fréquence est telle que les capacités sont équivalentes à des courts-circuits dynamiques.



## TD d'électronique analogique 1A : Transistors à effet de champ

### Exercice n° 1:

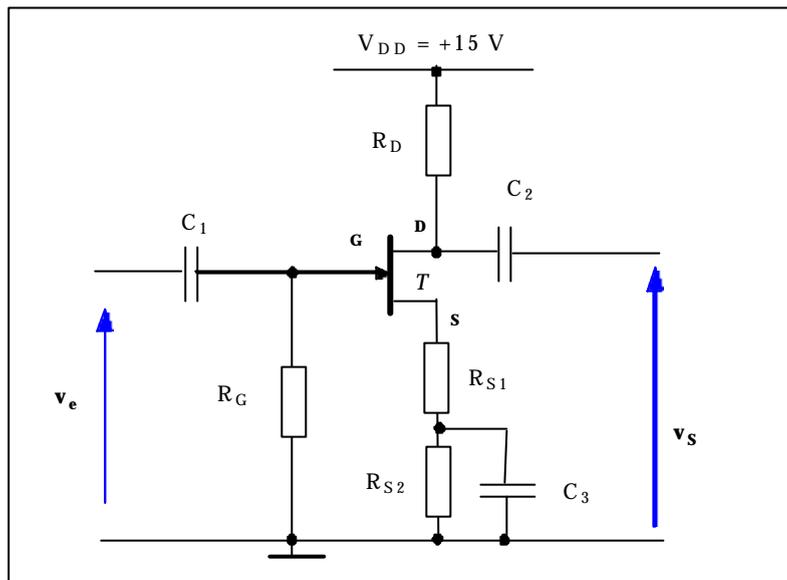
Dans le montage ci-dessous, on utilise un transistor dont les caractéristiques sont :

$$I_{dss} = 0.48 \text{ mA} ; |V_{GSoff}| = 3.6 \text{ V} ; 1/r = 0$$

Le point de fonctionnement est donné par :  $V_{DSQ} = 7 \text{ V}$  ;  $I_{DQ} = 0.25 \text{ mA}$  ;  $R_G = 1 \text{ M}\Omega$ .

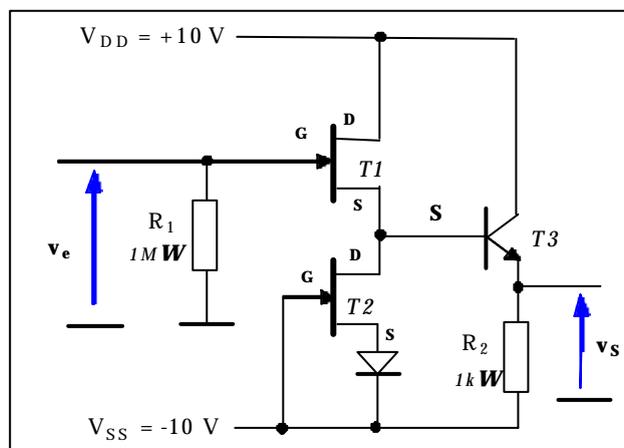
Toutes les capacités sont grandes.

Déterminer  $R_{S1} + R_{S2}$  et  $R_D$ . Calculer  $R_{S1}$  et  $R_{S2}$  si  $v_s/v_e = -5$



### Exercice n° 2:

Soit le montage ci-dessous où  $T_1$  et  $T_2$  sont des transistors à effet de champ, canal N à appauvrissement et  $T_3$  un transistor bipolaire. La diode est au silicium et serait parfaite si elle n'avait pas de seuil.



Pour  $T_1$  et  $T_2$  :  $V_p = 3.5 \text{ V}$  ,  $I_{dss} = 7 \text{ mA}$  ,  $1/r = 0$

Pour  $T_3$  :  $H_{fe} \propto h_{fe} = 200$ ,  $h_{oe} = h_{re} = 0$ .

**Aspect statique :**

Déterminer, dans l'ordre que vous jugerez le plus judicieux, les tensions par rapport à la masse, aux différentes électrodes ainsi que les courants dans les trois transistors quand  $v_e$  est nulle.

**Aspect dynamique :** Calculer  $v_s / v_e$ , l'impédance d'entrée et l'impédance de sortie.

**Exercice n° 3:**

Soit le montage ci-dessous, où  $T_1$  et  $T_2$  sont des transistors à effet de champ, canal N à appauvrissement fonctionnant en régime linéaire,  $D_Z = -8V$ .

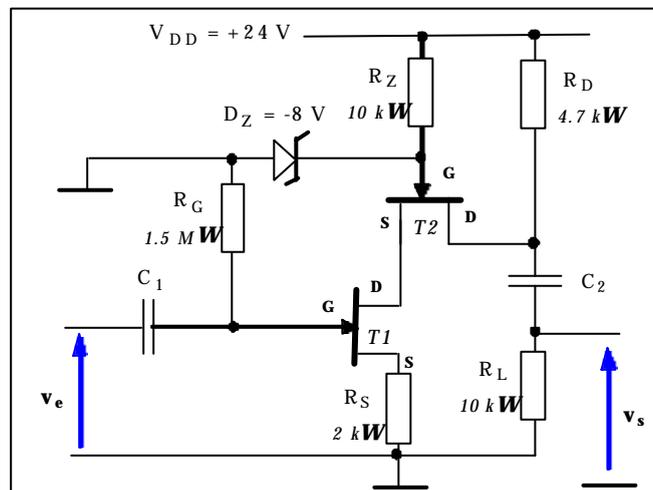
Pour  $T_1$  et  $T_2$  :  $V_p = 4V$ ,  $I_{dss} = 4mA$ ,  $1/r = 0$ .

**Aspect statique :**

Déterminer, dans l'ordre que vous le jugerez le plus judicieux, les tensions, par rapport à la masse, aux différentes électrodes.

**Aspect dynamique :**

Etablir le schéma dynamique dans les cas où les capacités  $C_1$  et  $C_2$  sont prises aussi grandes que souhaité mais non infinies.



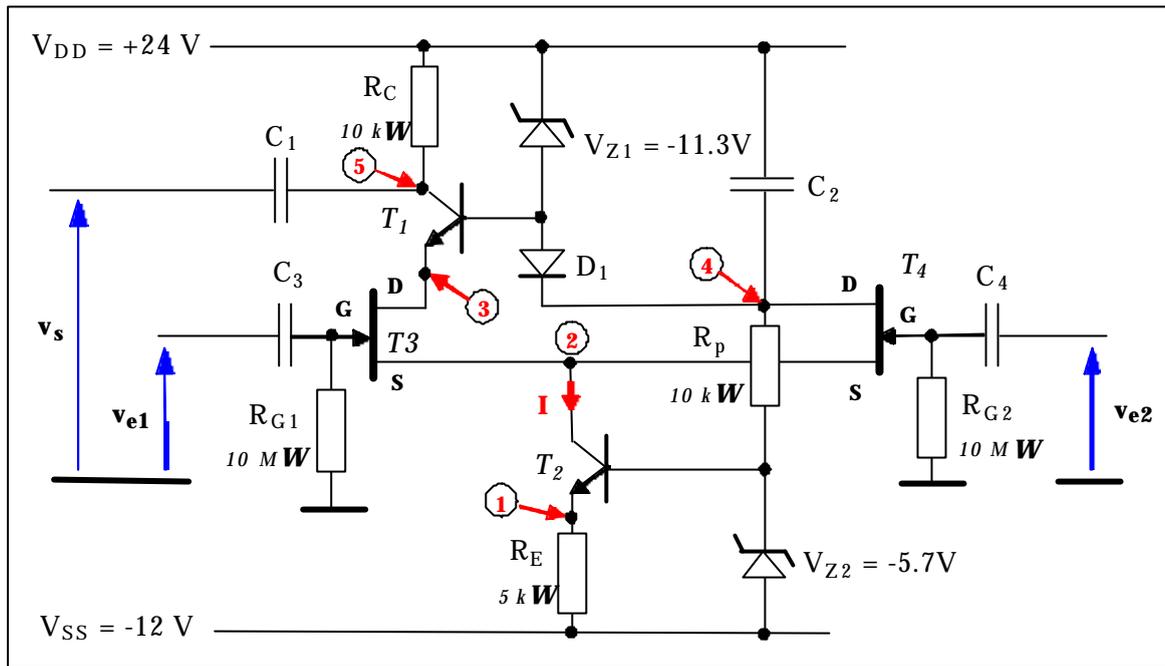
**Exercice n° 4:**

Soit le montage ci-dessous, où les diodes Zener ont une résistance directe et une résistance inverse nulles au-delà du coude Zener. Les transistors  $T_1$  et  $T_2$  sont des transistors bipolaires et  $T_3$  et  $T_4$  des transistors à effet de champ, canal N à appauvrissement.

Pour  $T_1$  :  $h_{fe} = 400$ ,  $h_{oe} = 0$ ,  $h_{re} = 0$

Pour  $T_2$  :  $h_{fe} = 100$ ,  $h_{oe} = 1/50 k\Omega$ ,  $h_{re} = 0$

Pour  $T_3$  et  $T_4$ ,  $V_p = 4V$ ,  $I_{dss} = 2mA$ ,  $1/r = 0$



### Aspect statique :

- Déduire du fonctionnement de  $T_2$  la différence de potentiel  $V_1$  entre ① et la masse et la valeur du courant  $I$ .
- Sachant que les courants statiques sont identiques dans  $T_3$  et  $T_4$ , déterminer les  $V_{GS}$  de ces derniers ainsi que la ddp  $V_2$  entre ② et la masse.
- Déterminer les ddp  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$  des points ③, ④, et ⑤ par rapport à la masse puis  $V_{DS3}$ ,  $V_{DS4}$ ,  $V_{CE1}$  et  $V_{CE2}$ .

### Aspect dynamique :

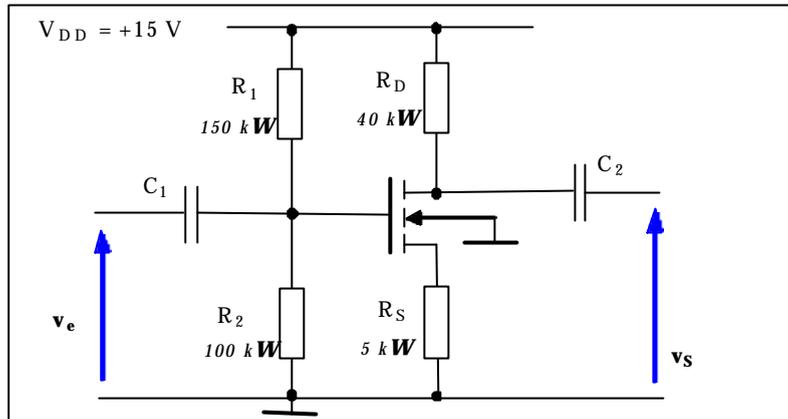
- Etablir le schéma dynamique sachant que les capacités sont prises aussi grandes que possible.
- Déterminer la transconductance  $g_m$  de  $T_3$  et  $T_4$  et  $h_{ie2}$  de  $T_2$ .
- Déterminer la résistance dynamique  $R_{CM}$  que constitue, entre ② et la masse, le montage de  $T_2$  vu de son collecteur.
- Déterminer  $(v_{GS3} - v_{GS4})$  et  $(v_{GS3} + v_{GS4})$  ( $v_{GS}$  = tension dynamique entre grille et source) en fonction de  $v_{e1}$  et  $v_{e2}$  et éventuellement  $g_m$  et  $R_{CM}$ .

e) Montrer que  $v_s$  peut être mis sous la forme  $v_s = A_d \cdot (v_{e1} - v_{e2}) + A_C \cdot (v_d + v_{e2})$ . Donner les expressions et les valeurs de  $A_d$  et  $A_C$ . Les approximations devront être justifiées.

**Exercice n° 5:**

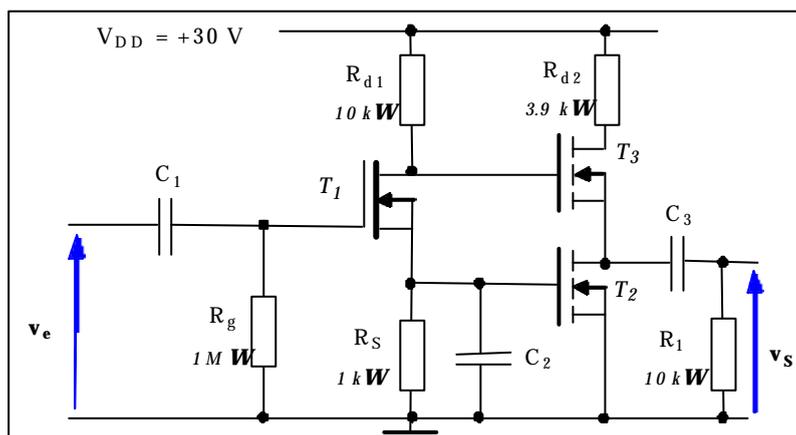
Pour le transistor :  $K = 20 \text{ mA/V}^2$ ,  $W/L = 1$ ,  $V_T = 2 \text{ V}$

Déterminer le point de fonctionnement.



**Exercice n° 6:**

Soit le montage de la figure ci-dessous, où les transistors sont des transistors MOSFETs.  $T_1$  est du type canal -N à appauvrissement avec  $I_{dss} = 8 \text{ mA}$ ,  $V_p = 4 \text{ V}$ ,  $1/r = 0$ .  $T_2$  et  $T_3$  sont des MOSFETs du type canal -N, à enrichissement, avec  $K = 2.04 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_T = 0.6 \text{ V}$ ,  $1/r = 0$ .



**- Aspect statique :**

Déterminer, dans l'ordre que vous jugerez le plus judicieux, les tensions par rapport à la masse, aux différentes électrodes des transistors, ainsi que les courants.

**- Aspect dynamique :**

Etablir le schéma dynamique petits signaux

Déterminer  $v_s / v_e$  en considérant que les capacités sont prises aussi grandes que souhaité, mais non infinies.

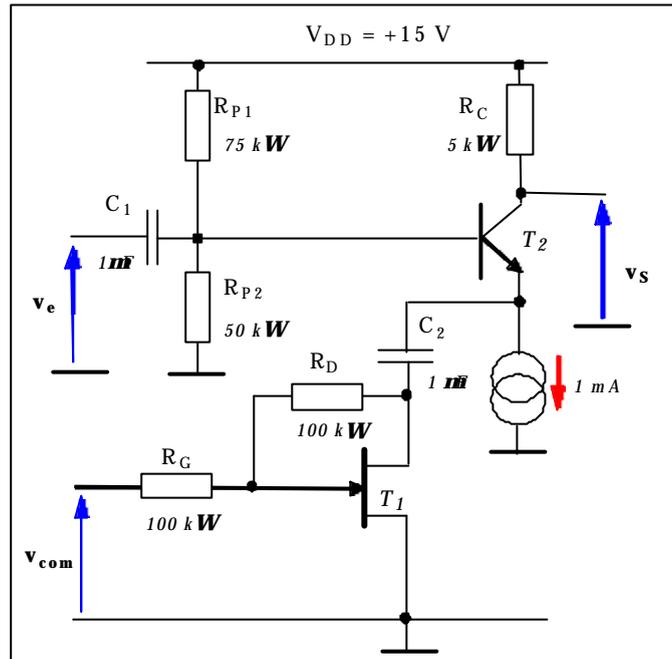
Déterminer l'impédance de sortie  $Z_s$  du montage.

**Exercice n° 7:**

Soit le montage ci-dessous.

Expliquer le fonctionnement du circuit.

Faire ensuite l'analyse statique et dynamique du circuit.



### Exercice n° 8:

Soit le montage ci-dessous.

Expliquer le fonctionnement du circuit.

Faire ensuite l'analyse statique et dynamique du circuit.

