

## Partie 2

### Amplificateurs opérationnels et applications.

#### Exercice n°1

On se propose d'étudier un montage électronique qui délivre une tension proportionnelle à la température d'un local à chauffer. Le capteur de température est une diode zener LM135 branchée comme l'indique la figure 1.1. La sensibilité  $S$  de la tension zener  $V_z$  en fonction de la température  $T$  est définie par  $\frac{dV_z}{dT} = 10\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

On donne la tension  $V_z$  à  $25^\circ\text{C}$ ,  $V_z(25)=2.982\text{V}$ .

En outre tous les amplificateurs opérationnels sont supposés idéaux et fonctionnent en régime linéaire.

1. On suppose que le force électromotrice de la source  $E_0$  vaut  $5\text{V}$

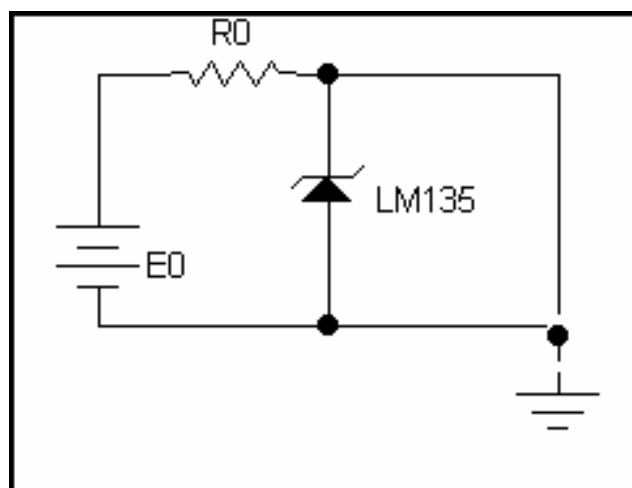


Figure 1.1

1.1 Calculer la valeur de  $R_0$  pour que le courant  $I_z$  à  $25^\circ\text{C}$  soit de  $15\text{mA}$ .

1.2. Calculer les coefficients  $a$  et  $b$  sachant que  $V_z(T) = a.T + b$ .

2. Soit le montage de la figure 1.2.

2.1. Exprimer  $V_s$  en fonction de  $V_e$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .

2.2. En réalité la tension  $V_e$  est celle délivrée par la diode zener,  $V_z(T)$ . Que devient alors la relation établie en 2.1 ?

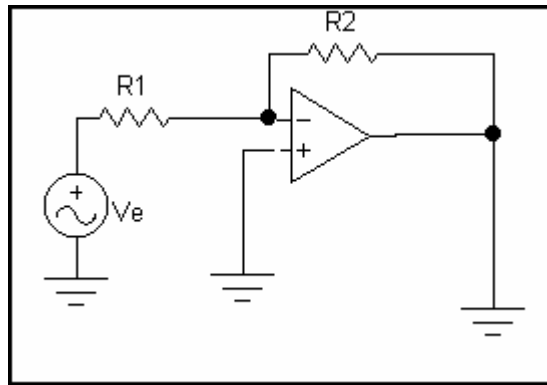


Figure 1.2.

3. On donne le montage de la figure 1.3.

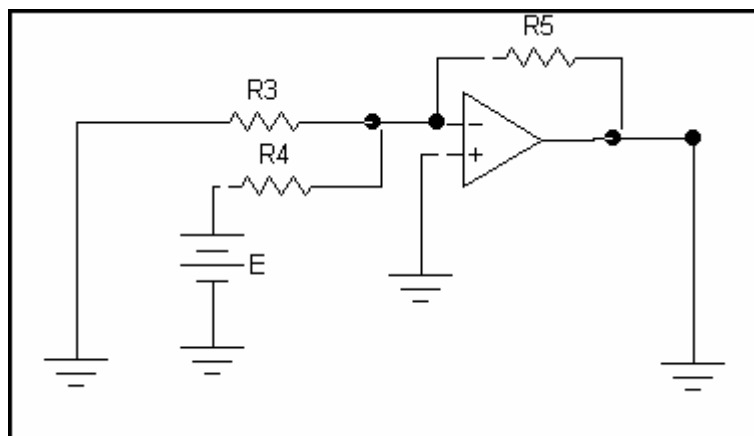


Figure 1.3

- 3.1. Exprimer  $V_{s'}$  en fonction de  $V_e$ ,  $E$  et des résistances du montage.
- 3.2. Sachant que  $V_e' = V_s$ ,  $V_s$  et  $V_e$  étant définies sur la figure 2, quelle relation doit être vérifiée par les résistances  $R_4$  et  $R_5$ , afin que  $V_{s'}$  soit de la forme  $V_{s'} = \beta V_e - E$  ?
4. Le montage électronique complet est donné par la figure 1.4. En s'aidant des résultats précédents, donner la condition sur  $E$  pour que  $V_{s'} = K T$ , où  $K$  est une constante que l'on déterminera en fonction des données du problème.

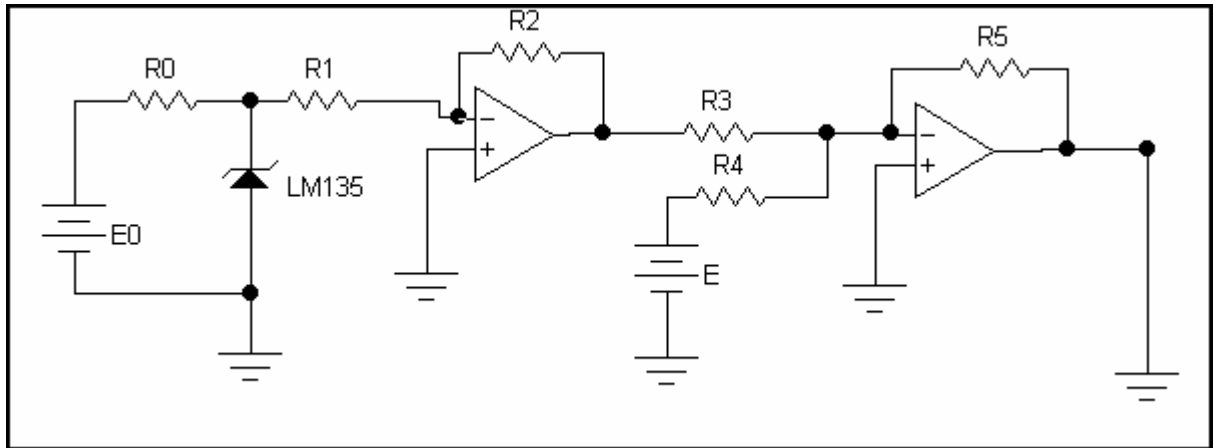


Figure 1.4

**Exercice n°2**

On considère le schéma fonctionnel d'un système bouclé figure 2.1. Pour un oscillateur le signal d'entrée X est nul.

1. Montrer que dans le cas d'un oscillateur  $T(j\omega) = K(j\omega).H(j\omega) = -1$ .  $H(j\omega)$  étant la fonction de transfert du système en boucle ouverte (chaîne directe) et  $K(j\omega)$  est celle de la réaction (chaîne de réaction).

2. On considère l'oscillateur à pont de Wien de la figure 2.2.

2.1. Calculer la fonction de transfert de la chaîne directe (amplification)  $A_0$ , on pose  $K = R_2/R_1$ .

2.2. Exprimer la transmittance complexe du boucle de retour en fonction de R, C, et  $\omega$ .

2.3. En tenant compte de la condition d'oscillation, donner l'expression de la pulsation d'oscillation et de l'amplification  $A_0$ . En déduire la valeur de K.

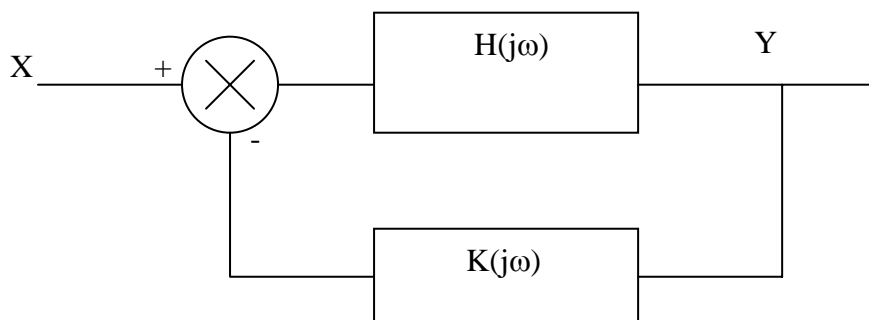


Figure 2.1

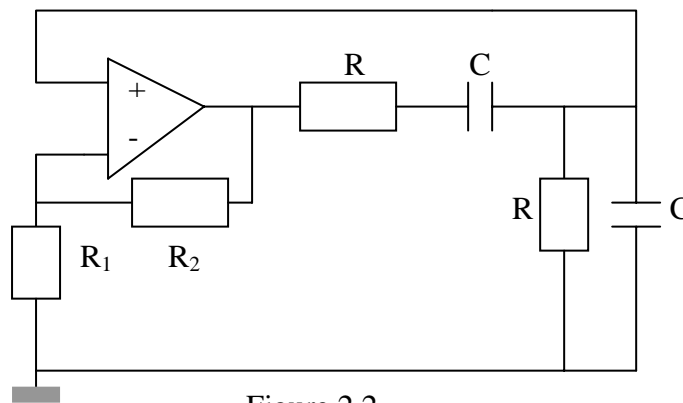


Figure 2.2

**Exercice n°3 :**

On considère le filtre de la figure 3.1 alimenté par une tension sinusoïdale de pulsation  $\omega$ . On donne  $R = 10\text{K}\Omega$  et  $C = 20\text{nF}$ .

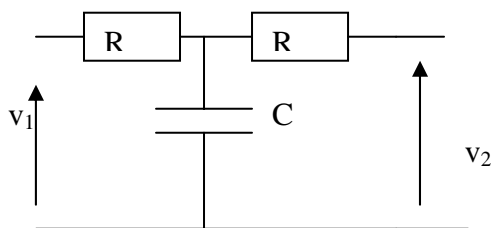


Figure 3.1

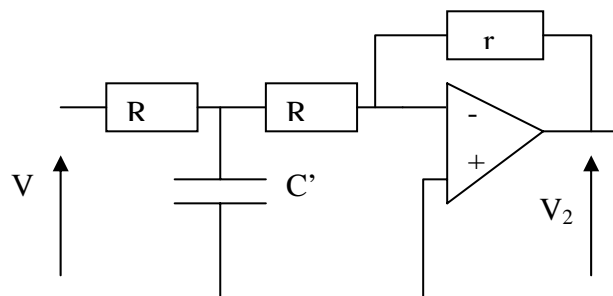


Figure 3.2

1. Calculer la fonction de transfert  $T_1(j\omega) = v_2/v_1$ .
2. Quelle est la valeur maximale en décibels  $T_1\text{dB}$ . En déduire la fréquence de coupure de ce filtre.
3. Déterminer le schéma équivalent de Thevenin du filtre vu de la sortie.
4. On charge le filtre par une résistance de charge  $R_L = R$ . Déterminer la nouvelle fonction de transfert  $T_1'(j\omega)$ . En déduire le module  $T_1'\text{dB}$ , la valeur maximale de  $T_1'\text{dB}$  et la fréquence de coupure.

5. On associe un filtre du même type à un amplificateur A idéal conformément à la figure 3.2. avec  $r = 2R$ . Les résistances  $R$  ont même valeur que précédemment.

5.1. Etablir la fonction de transfert  $T_2 = V_2/V_1$ , Calculer le module  $T_{2dB}$  et la valeur de  $C'$  pour avoir la même fréquence de coupure qu'au 2.

5.2. A la sortie S, on charge par une résistance  $R_L = R$ .  $T_2$  et la fréquence de coupure sont-ils modifiés ?

#### Exercice n°4

La figure 4.1 montre un montage amplificateur qui utilise un A.Op. idéal. Ce montage peut réaliser l'une des trois fonctions suivantes : amplification de tension sans inversion, amplification de tension avec inversion ou amplification de courant. On donne  $R_0 = 180k\Omega$ ,  $R = 1k\Omega$ ,  $R_1 = R_2 = 1.5k\Omega$ .

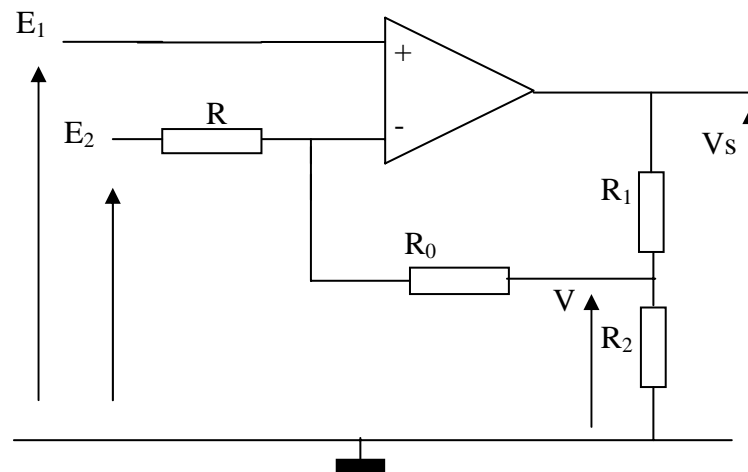


Figure 4.1

#### 1. Réalisation d'un amplificateur de tension non inverseur

Pour réaliser un tel amplificateur, on relie la borne  $E_2$  à la masse et on applique une tension d'entrée  $V_1$  entre la borne  $E_1$  et la masse. Déterminer l'expression du gain  $G_{V1} = V_S/V_1$  du montage en fonction des résistances, simplifier le résultat lorsque  $R_0$  est très supérieure aux résistances  $R$ ,  $R_1$  et  $R_2$ . Calculer sa valeur. Justifier le nom du montage.

#### 1. Réalisation d'un amplificateur inverseur

Pour réaliser cette fonction, on relie la borne  $E_1$  à la masse et on applique une tension d'entrée  $V_2$  entre la borne  $E_2$  et la masse. Déterminer l'expression du gain  $G_{V2} = V_S/V_2$  du montage en fonction des résistances, simplifier le résultat obtenu lorsque  $R_0$  est très supérieure à  $R$ ,  $R_1$  et  $R_2$ . Calculer la valeur de ce gain et justifier le nom du montage.

#### 2. Réalisation d'un amplificateur de courant

La borne  $E_1$  est maintenue à la masse. Un générateur de courant appliqué entre la borne  $E_2$  et la masse envoie un courant  $I_e$  dans  $R$ . Déterminer l'expression du gain en courant  $G_i = I_s / I_e$  où  $I_s$  est le courant qui monte dans la résistance  $R_1$ . Calculer sa valeur et justifier le nom du montage dans ce cas.

**Exercice n°5**

On considère un générateur de f.é.m  $E_g$  et de résistance interne  $R_g$  fermé sur une charge  $R_u$ (figure 5.1).

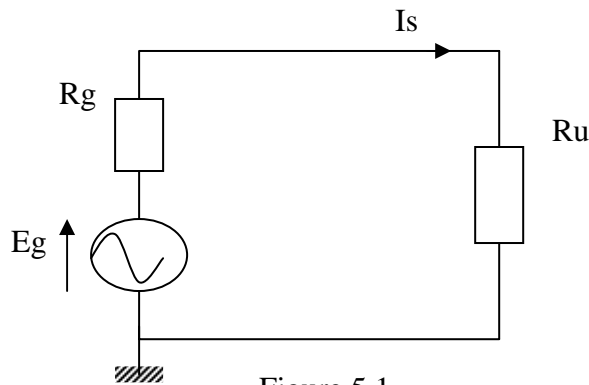


Figure 5.1

1. Calculer le courant  $I_s$  circulant dans la charge  $R_u$  . En déduire le gain en courant  $A_i = I_s / I_e$ . Si  $I_e$  désigne le courant débité par le générateur.
2. Représenter les variations de  $I_s$  en fonction de  $R_u$  quand celle-ci évolue de zéro à l'infini.

On intercale entre le générateur et la charge  $R_u$  un circuit électrique conformément au montage représenté à la figure 5.2.

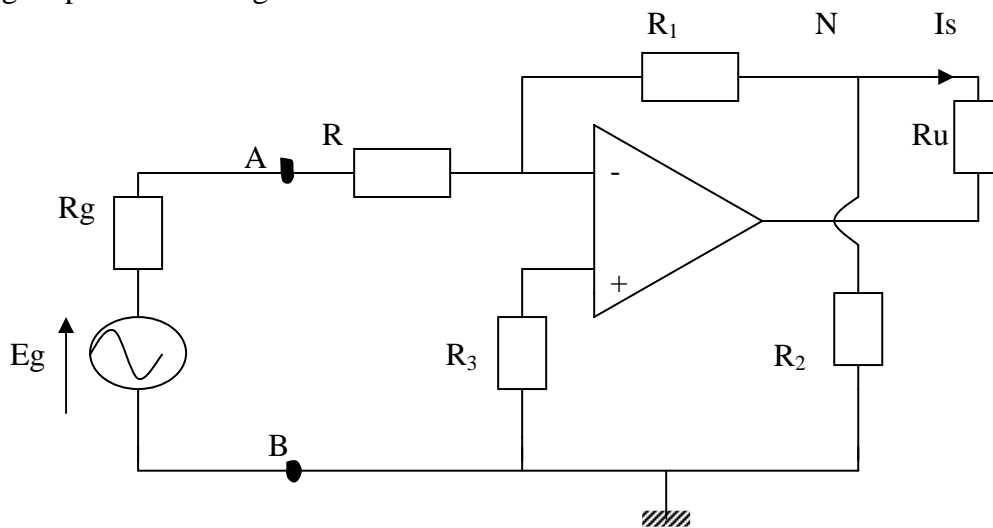


Figure 5.2

3. Calculer l'impédance vue par le générateur entre les bornes A et B.
4. Déduire le courant  $I_e$  débité par la source.
5. Calculer le rapport  $A_i' = I_s / I_e$ ,  $I_s$  étant le courant circulant dans  $R_u$ .
6. Déduire  $I_s$  et représenter ses variations en fonction de  $R_u$  et proposer une appellation de ce système électronique.

**Exercice n°6**

On considère le montage électronique de la figure 6.1, où l'amplificateur opérationnel est supposé idéal. On donne  $R = 10\text{K}\Omega$  et  $C = 10\text{nF}$ .

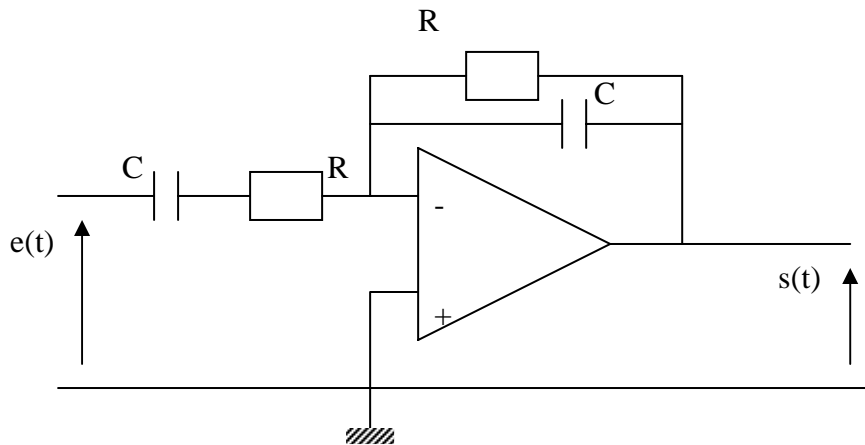


Figure 6.1

1. Déterminer l'expression de l'amplification  $T(p) = S(p)/E(p)$ ,  $p$  étant l'opérateur de Laplace.
2. En déduire l'amplification complexe  $T(j\omega)$  dans le cas où  $e(t)$  est un signal alternatif sinusoïdal de fréquence  $f$ .
3. Tracer sur papier semi-log ci-joint l'allure asymptotique du diagramme de Bode. En déduire la nature de ce montage.
4. Pour quelle pulsation  $\omega_0$  a-t-on  $|T(j\omega)|$  maximal ? Calculer cette valeur de  $|T(j\omega)|$ .

**Exercice n°7**

On considère le montage électronique de la figure 7.1, où l'amplificateur opérationnel est supposé idéal. On donne  $R = 1\text{K}\Omega$  et  $C = 10\text{nF}$ .

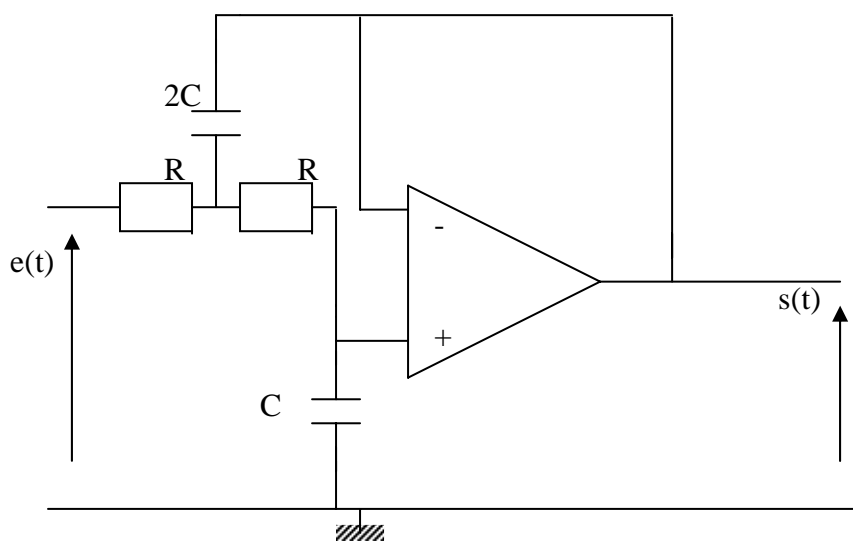


Figure 7.1

1. Déterminer l'expression de l'amplification  $T(p) = S(p)/E(p)$ ,  $p$  étant l'opérateur de Laplace.
2. En déduire l'amplification complexe  $T(j\omega)$  dans le cas où  $e(t)$  est un signal alternatif sinusoïdal de fréquence  $f$ .
3. Tracer sur papier semi-log ci-joint l'allure asymptotique du diagramme de Bode. En déduire la nature de ce montage.

### Exercice n°8

Les amplificateurs opérationnels A1 et A2 utilisés dans les montages ci-dessous sont supposés idéaux et fonctionnent en commutation.

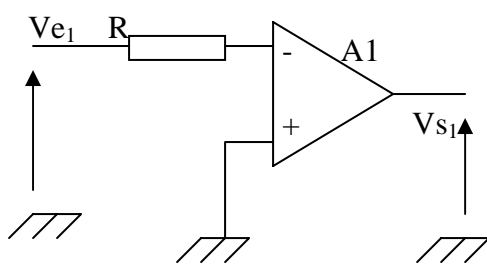


Figure 8.1

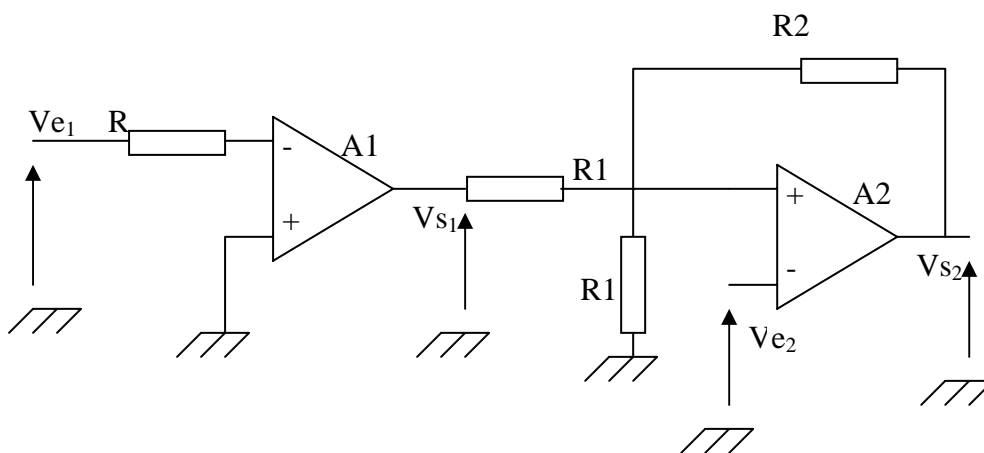


Figure 8.2

On donne  $R=1K\Omega$ ,  $R1= 2K\Omega$ ,  $R2=1K\Omega$  et  $V_{sat}=12V$ .

1. On considère le montage de la figure 8.1. Représenter, en la justifiant, la caractéristique de transfert  $V_{S1} = f(V_{e1})$  lorsque  $V_{e1}$  varie de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$ . Quelle est la fonction accomplie par ce montage ?
2. On se propose d'étudier le montage de la figure 8.2 dans les deux cas suivants :

A. premier cas :  $V_{e2}=V_{e1}$ .

- 2.1. Déterminer le potentiel  $V_+$  de l'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel A2 en fonction de  $V_{S1}$ ,  $V_{S2}$ ,  $R1$  et  $R2$ .



2.2. On fait croître la tension d'entrée  $V_{e2}$  de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$ , la tension de sortie  $V_{s2}$  subit un basculement (de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ ) lorsque la tension d'entrée atteint une valeur  $V_{e2} = V_{HB}$ . Calculer  $V_{HB}$ .

2.3. On fait croître la tension d'entrée  $V_{e2}$  de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ , la tension de sortie  $V_{s2}$  subit un basculement (de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$ ) lorsque la tension d'entrée atteint une valeur  $V_{e2} = V_{BH}$ . Calculer  $V_{BH}$ .

2.4 Représenter, la caractéristique de transfert  $V_{s2} = f(V_{e2})$  du comparateur lorsque  $V_{e2}$  varie de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$  et de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ .

2.5. Calculer la largeur du cycle d'hystérésis  $L = V_{HB} - V_{BH}$ .

### Exercice n°9

On considère le montage électronique de la figure 9.1, où l'amplificateur opérationnel est supposé idéal. On donne  $R = 1\text{K}\Omega$  et  $C = 10\text{nF}$ .

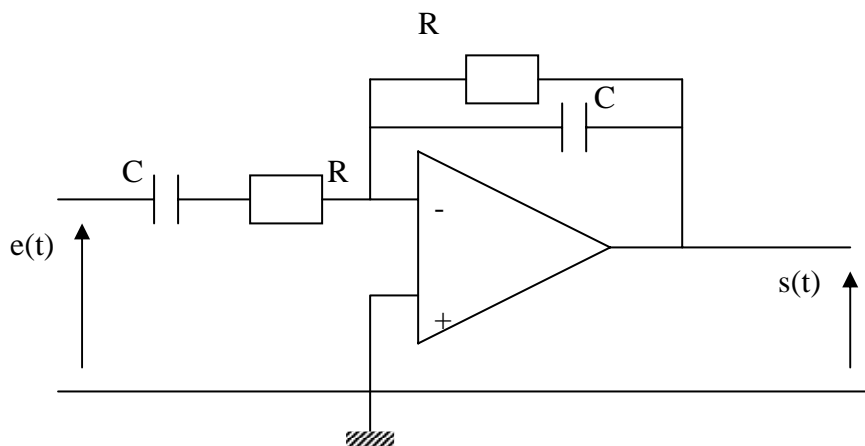


Figure 9.1

1. Déterminer l'expression de l'amplification  $T(p) = S(p)/E(p)$ ,  $p$  étant l'opérateur de Laplace.
2. En déduire l'amplification complexe  $T(j\omega)$  dans le cas où  $e(t)$  est un signal alternatif sinusoïdal de fréquence  $f$ .
3. Tracer sur papier semi-log ci-joint l'allure asymptotique du diagramme de Bode. En déduire la nature de ce montage.
4. Pour quelle pulsation  $\omega_0$  a-t-on  $|T(j\omega)|$  maximal ? Calculer cette valeur de  $|T(j\omega)|$ .

### Exercice n°10

On considère le montage électronique de la figure 10.1 , où l'amplificateur opérationnel est supposé idéal. On donne  $R = 10K\Omega$  et  $C = 1nF$ .

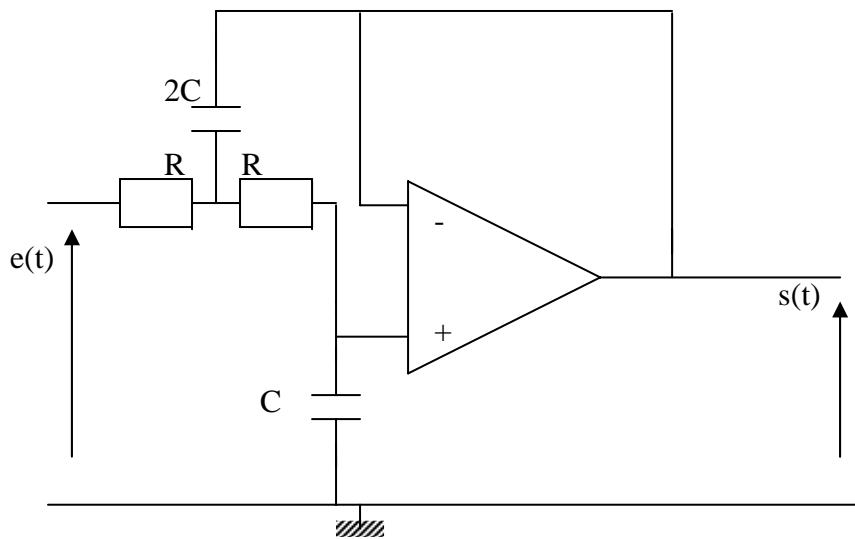


Figure 10.1

1. Déterminer l'expression de l'amplification  $T(p) = S(p)/E(p)$ ,  $p$  étant l'opérateur de Laplace.
  2. En déduire l'amplification complexe  $T(j\omega)$  dans le cas où  $e(t)$  est un signal alternatif sinusoïdal de fréquence  $f$ .
  3. Tracer sur papier semi-log ci-joint l'allure asymptotique du diagramme de Bode.
- En déduire la nature de ce montage. Calculer le module pour  $\omega = \frac{1}{RC\sqrt{2}}$ .

Exercice n°11

On considère l'amplificateur à réponse logarithmique de la figure 11.1. L'amplificateur opérationnel est supposé idéal.

Le courant qui traverse la diode à jonction pn  $D$  est de la forme :

$$i = I_s \exp\left(\frac{V}{V_0}\right)$$

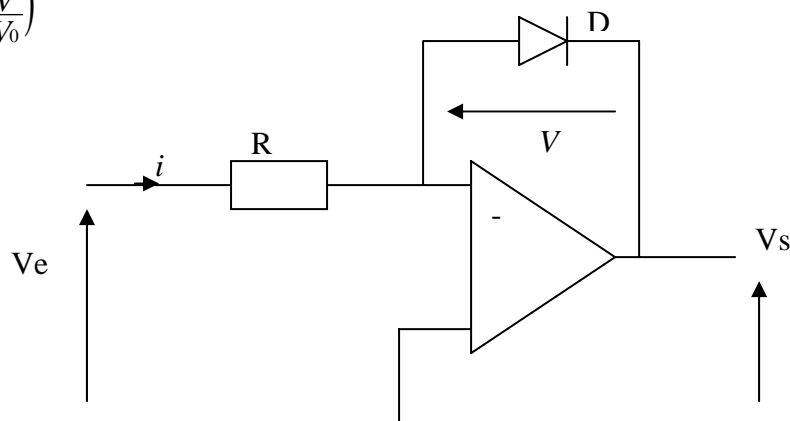


Figure 11.1

1. Exprimer la tension de sortie  $V_s$  en fonction de  $V_e$ ,  $R$ ,  $I_s$  et  $V_0$ .
2. Si on permute la diode  $D$  et la résistance  $R$ . En déduire de nouveau  $V_s$ .
3. A partir des montages précédents, proposer un montage permettant de réaliser la fonction produit.  $V_s = V_{e1} \cdot V_{e2}$ .

### Exercice n°12

#### Partie A

L'amplificateur opérationnel est supposé parfait et fonctionne en saturation de tension de sortie  $\pm V_{sat} = \pm 12V$ .

On considère le montage de la figure 12.1. où l'entrée  $V_{ref}(t)$  est un signal en dent de scie de fréquence  $f = 25KHz$  et d'amplitude maximale  $10V$  l'entrée  $V_e(t)$  est un signal sinusoïdal comme l'indique le graphe de la figure 12.2(document ci-joint). Ce principe est utilisé dans les systèmes nécessitant des impulsions de commande de largeur variable (MLI :Modulation de Largeur d'Impulsions).

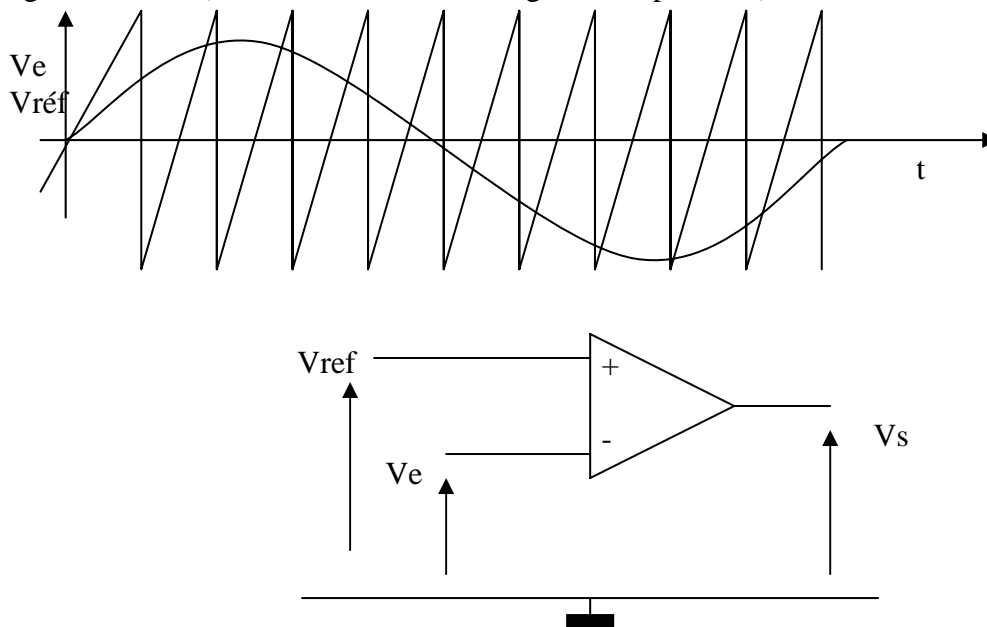


Figure 12.1

1. Déterminer les valeurs de  $V_s$  dans les deux cas suivants :
  - 1.1.  $V_e(t) > V_{ref}(t)$
  - 1.2.  $V_e(t) < V_{ref}(t)$ .
2. Représenter l'allure de  $V_s(t)$  selon les variations de  $V_e(t)$  et de  $V_{ref}(t)$ .
3. Interpréter l'allure de  $V_s(t)$ .

#### Partie B

Afin d'éviter les inconvénients du comparateur simple on utilise le comparateur à hystérésis ou 'Trigger'. Pour cela on se propose d'étudier le circuit de la figure 12.3  $V_{ref}$  est supposée continue et de valeur fixe. L'amplificateur opérationnel est supposé parfait et fonctionne en saturation.

On désire que ce comparateur fonctionne selon la caractéristique de transfert suivante :

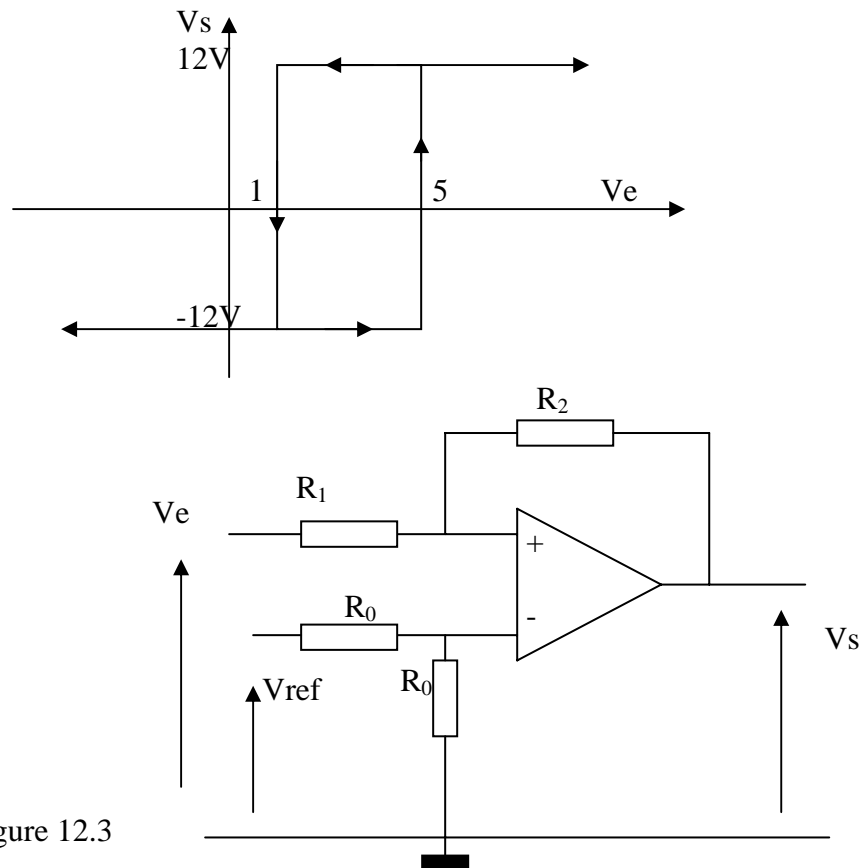


Figure 12.3

3. A partir de cette caractéristique, donner les valeurs des seuils de basculement. On note le seuil de basculement du Haut vers le Bas ( $V_{HB}$ ) et celui du Bas vers le Haut ( $V_{BH}$ ).
2. En utilisant le théorème de Millman, déterminer les expressions des entrées non inverseuse  $V^+$  et inverseuse  $V^-$  en fonction des résistances,  $V_e$ ,  $V_s$  et  $V_{ref}$ .
3. Donner les expressions de  $V_{HB}$  et  $V_{BH}$ .
4. En déduire le rapport  $R_2/R_1$  puis calculer la valeur de  $V_{ref}$ .
5. Sachant que  $R_2 = 6K\Omega$ . En déduire la valeur que doit prendre  $R_1$ .
6. Sachant que  $V_e(t) = 8\sin(\omega t)$  [V], tracer la réponse l'allure de  $V_s(t)$ .

### Exercice n°13

On se propose d'étudier un montage qui génère une tension triangulaire. Tous les amplificateurs opérationnels sont supposés idéaux et fonctionnent en régime linéaire.

#### 1 Etude d'une source de courant

Le montage de la figure 13.a représente une source de courant  $i_0$  commandée par une tension  $v_1$ . La figure 13.b montre la relation qui doit lier la grandeur de sortie  $i_0$  à la grandeur d'entrée  $v_1$ .

- 1.1. Exprimer le potentiel  $V^-$  en fonction de  $v_1$  et  $v$ .

- 1.2. Exprimer le potentiel  $V_+$  en fonction de  $v_2$
- 1.3. En déduire l'expression de  $v$  en fonction de  $v_1$  et  $v_2$ .
- 1.4. Trouver l'expression de  $i_0$  en fonction de  $i_4$  et  $i_3$ .
- 1.5. Exprimer  $i_4$  en fonction de  $v$  et  $v_2$ .
- 1.6. Trouver la relation entre  $i_3$  et  $v_2$ .
- 1.7. En utilisant les résultats précédents, déduire l'expression de  $i_0$  en fonction de  $v_1$  et  $v_2$ .
- 1.8. Quelle relation doit lier les résistances  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$  pour que  $i_0 = kv_1$  ? Donner l'expression de la constante de proportionnalité  $k$ .

2. Etude du générateur de tension triangulaire.

La figure 13.c donne le schéma complet du générateur en tension triangulaire.

- 2.1. Exprimer  $v_1$  en fonction de  $V_0$  et  $v_e$ . Quelle est la fonction du 1<sup>er</sup> étage.
- 2.2. En supposant que la relation de la question 1.8 est satisfaite, en déduire  $i_0$  en fonction de  $V_0$  et  $v_e$ . On prend  $R_5 = R_6$  que devient l'expression de  $i_0$ .
- 2.3. Sachant que  $v_e$  est la tension rectangulaire de période  $T$  donnée par la figure 13.d et que  $V_0 = -E$  (tension continue négative), tracer le chronogramme  $i_0 = f(t)$ .
- 2.4. En supposant que le condensateur de capacité  $C$  est complètement déchargé à l'instant initial ( $t = 0$ ), montrer que  $v_c(t)$  est une tension périodique de période  $T$  qui s'écrit de la façon suivante :

- pour  $0 \leq t < T/2$ ,  $v_c(t) = (i_{0m}/C) t$ .
- pour  $T/2 \leq t < T$ ,  $v_c(t) = (i_{0m}/C)(T - t)$ .

où  $i_{0m}$  est l'amplitude maximale du courant  $i_0$  que l'on exprimera en fonction de  $E$  et des résistances.

- 2.5. Représenter le chronogramme de la tension  $v_c(t)$  aux bornes du condensateur.

Conclure.

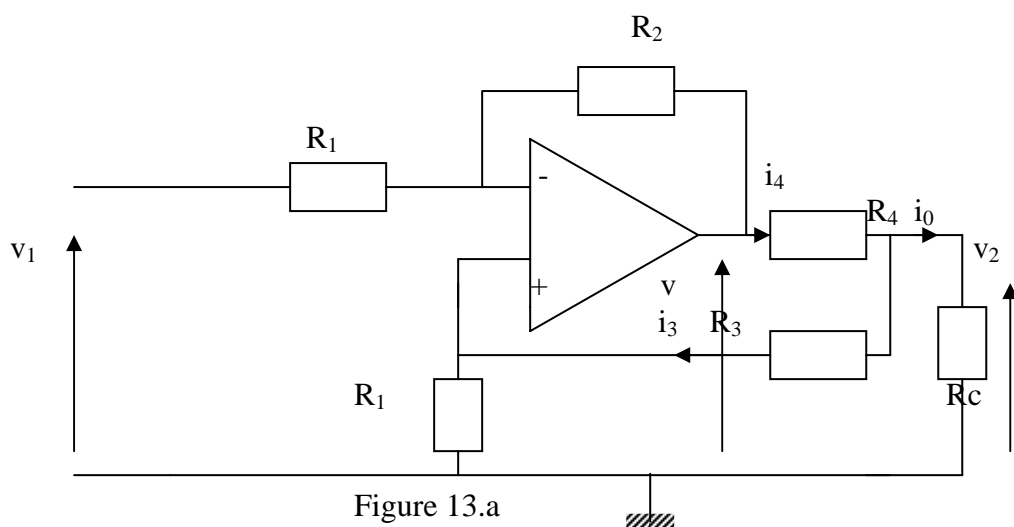


Figure 13.a



Figure 13.b

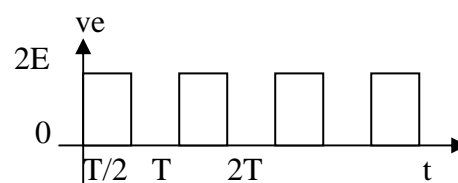


Figure 13.c

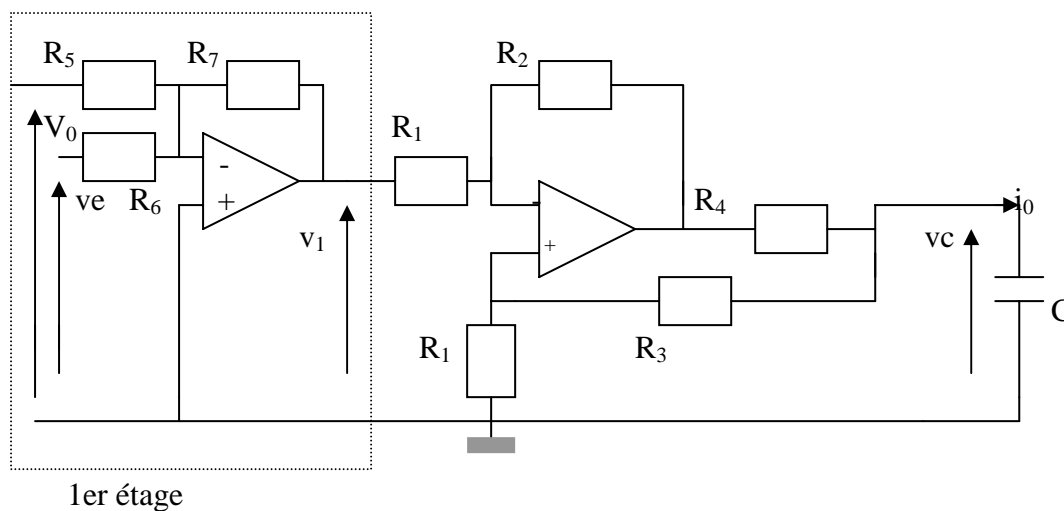


Figure 13.d

**Exercice n°14**

On considère le montage électronique de la figure 14, où l'amplificateur opérationnel est supposé idéal. On donne  $R = 1K\Omega$  et  $C = 100nF$ .

1. Déterminer l'expression de l'amplification  $T(p) = S(p)/E(p)$ ,  $p$  étant l'opérateur de Laplace.
2. En déduire l'amplification complexe  $T(j\omega)$  dans le cas où  $e(t)$  est un signal alternatif sinusoïdal de fréquence  $f$ . Tracer dans le plan de Bode et sur papier semi-log ci-joint  $T(j\omega)$ .
3. Calculer la ou les fréquences de coupure ainsi que la bande passante de ce montage. En déduire sa nature.

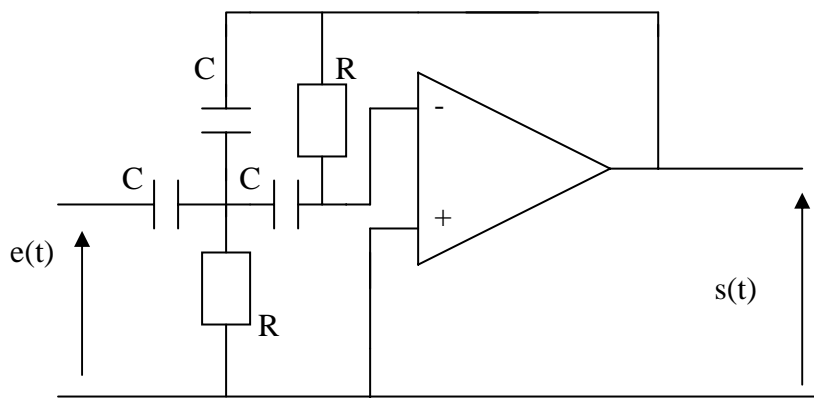


Figure 14

**Exercice n°15**

L'amplificateur opérationnel est supposé parfait.  $V_3 = 2 \sin(\omega t)$ .

1. On considère le montage de la figure 15.1. donner l'expression de la tension de sortie  $V_s$  en fonction de  $V_2$  et  $V_1$  et les différentes résistances du montage. Quelle est la fonction de ce montage ?.
2. On considère le montage de la figure 15.2 où les diodes sont supposées parfaites. Donner l'expression de  $V_4$  pour les deux cas suivants en indiquant dans chaque fois la fonction obtenue.
  - a.  $K_1$  fermé et  $K_2$  ouvert, on étudie l'alternance positive et l'alternance négative du signal  $V_3$ .
  - b.  $K_2$  fermé et  $K_1$  ouvert, on étudie l'alternance positive et l'alternance négative du signal  $V_3$ .
3. On considère maintenant le montage de la figure 15.3 donner l'expression de  $V_5$  en fonction de  $V_3$  quelle est la fonction de ce montage.
4. Dessiner sur papier millimétré les courbes  $V_3$ ,  $V_{4a}$ ,  $V_{4b}$  et  $V_5$  avec  $V_{4a}=V_4$  (question 2.a) et  $V_{4b}=V_4$  (question 2.b). On suppose que  $R_1=R_2=R_3=R_5=R_6=R_7=R$ .

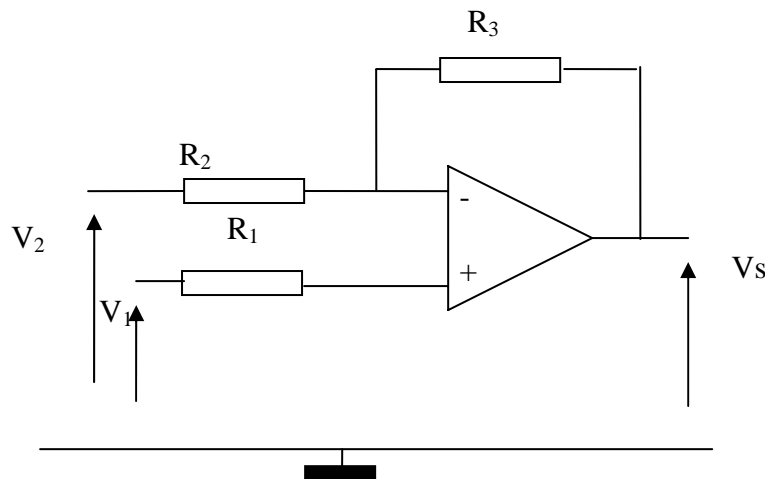


Figure 15.1.

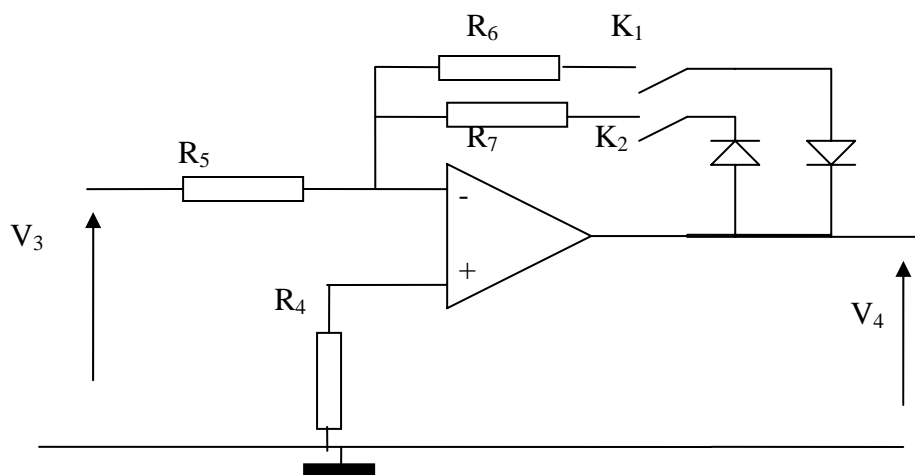


Figure 15.2

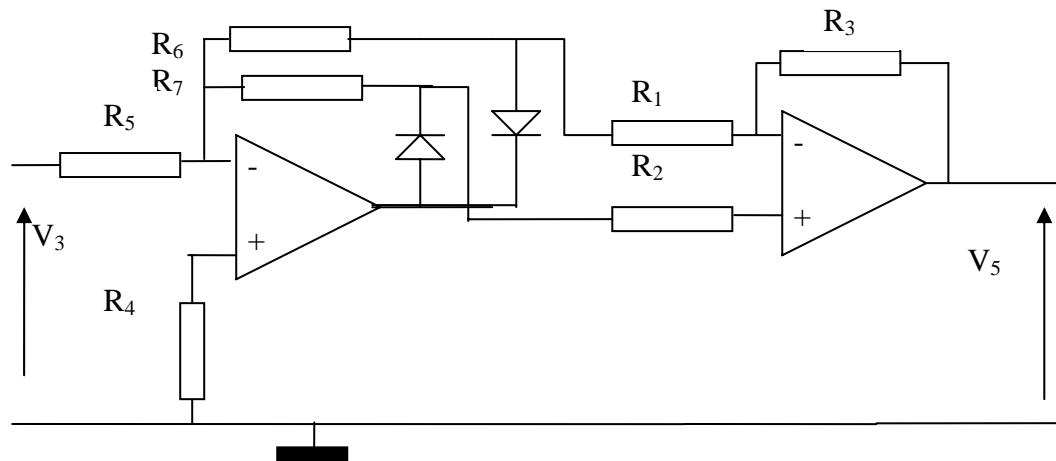


Figure 15.3

**Exercice n°16**

L'amplificateur opérationnel utilisé dans le montage ci-dessous est supposé idéal et fonctionne en commutation :

- Si  $\varepsilon > 0$ ,  $V_{S1} = +V_{sat} = 12\text{ V}$
- Si  $\varepsilon < 0$ ,  $V_{S1} = -V_{sat} = -12\text{ V}$

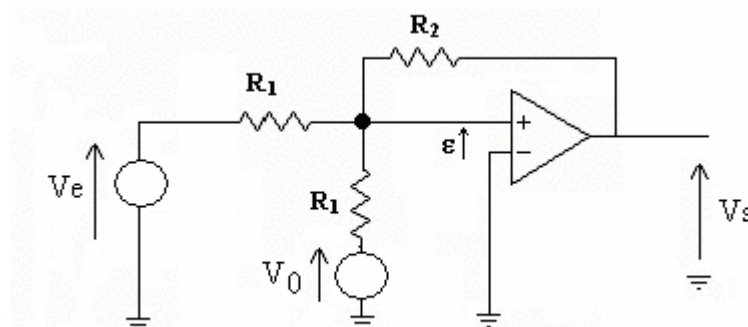


Figure 16.1

On se propose d'étudier le montage de la figure 16.1 dans les trois cas suivants :

1. Premier Cas : La référence est une tension constante :  $V_0 = 4\text{ V}$ , et  $R_1 = 1\text{ K}\Omega$ .

1.1 Déterminer le potentiel  $e_+$  de l'entrée non inverseuse en fonction de  $V_e$ ,  $V_s$ ,  $V_0$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .

1.2 On fait croître la tension d'entrée  $V_e$  de  $-12\text{ V}$  à  $+12\text{ V}$ , la tension de sortie  $V_s$  subit un basculement (de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$ ) lorsque la tension d'entrée atteint une valeur  $V_e = V_{BH} = 2\text{ V}$ . Calculer la résistance  $R_2$ .

1.3 On fait décroître la tension d'entrée  $V_e$  de  $+12\text{ V}$  à  $-12\text{ V}$ , la tension de sortie  $V_s$  subit alors un basculement (de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ ) lorsque la tension d'entrée atteint une valeur  $V_e = V_{HB}$ . Calculer  $V_{HB}$ .



1.4 Représenter, en la justifiant, la caractéristique de transfert  $V_s = f(V_e)$  du comparateur lorsque  $V_e$  varie de -12 V à +12 V et de +12 V à -12V.

1.5 Calculer la largeur  $L$  du cycle d'Hystérésis ( $L = V_{BH} - V_{HB}$ ).

On considère dans la suite que :  $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ K}\Omega$  et  $V_e(t) = 12 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$  (V).

2. Deuxième Cas : La référence est une tension constante :  $V_0 = -4 \text{ V}$ .

2.1 Représenter, en la justifiant, la caractéristique de transfert  $V_s = f(V_e)$  du comparateur.

2.2 Calculer la largeur du cycle d'Hystérésis.

3. Troisième Cas : La tension de référence  $V_0$  est un signal carré symétrique de période  $T$  et d'amplitude 4V .

3.1 Représenter sur le même graphe les courbes  $V_e(t)$  et  $V_s(t)$  pour  $0 < t < 2T$ .

3.2 Déterminer le rapport des durées des niveaux haut et bas.

### **Exercice n°17**

Les amplificateurs opérationnels sont supposés idéaux et fonctionnent en régime linéaire.

1- En considérant les montages a et b de la figure 17-1, établissez les expressions de  $v_{O1}$  et  $v_{O2}$ .

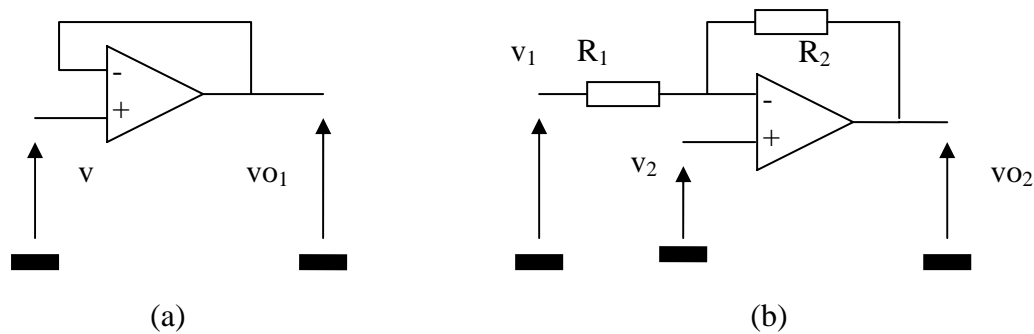


Figure 17.1



Figure 17.2

Figure 17.3

La tension  $v_2$  est obtenue par un diviseur de tension conformément au montage de la figure 17-2, où  $E$  est une tension stabilisée et  $\alpha R_4$  est la fraction de  $R_4$  donnant  $v_2$  ;  $\alpha$  étant un réel positif inférieur à 1.

2- Exprimez  $v_2$  en fonction de  $E$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  et  $\alpha$ .

Soit  $v$  la tension aux bornes d'une diode au silicium polarisée en direct conformément au montage de la figure 17-3 ; on admet que la sensibilité thermique  $S = dv/dT$  de la diode est constante sur la plage de température  $T \in [T_m, T_M]$ .

3- Sachant que  $v = V_0$  à  $T = T_0$  telle que  $T_m \leq T_0 \leq T_M$ , montrer que  $v = a T + b$ , où  $a$  et  $b$  sont des constantes. Exprimez les constantes  $a$  et  $b$ .

4- Les divers blocs précédemment étudiés sont montés conformément à la figure 17-4.

4-1- De l'étude précédente, établissez l'expression de  $v_0$  en fonction de  $v$ ,  $E$ ,  $\alpha$  et des diverses résistances.

4-2- En déduisez l'expression de  $v_0$  en fonction de la température  $T$

4-3- Déterminez  $\alpha$  pour que  $v_0$  soit nulle à  $T = 0^\circ\text{C}$ .

4-4- En déduisez la condition que doivent satisfaire  $V_0$ ,  $S$  et  $T_0$  pour répondre à l'exigence de la question 4-3.

5- Sachant que  $S = -2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  et  $V_0 = 0,65\text{V}$  à  $T_0 = 25^\circ\text{C}$ , d'une part, et en se plaçant sous l'hypothèse de variation linéaire en fonction de la température (question 4-3), d'autre part,

5-1- Vérifiez la satisfaction de la condition 4-4

5-2- Déterminez le rapport  $R_2/R_1$  pour que  $1^\circ\text{C}$  corresponde à  $10\text{mV}$ .

5-3- En déduisez alors la condition que doivent vérifier  $R_3$  et  $R_4$  pour la réalisation de ce montage.

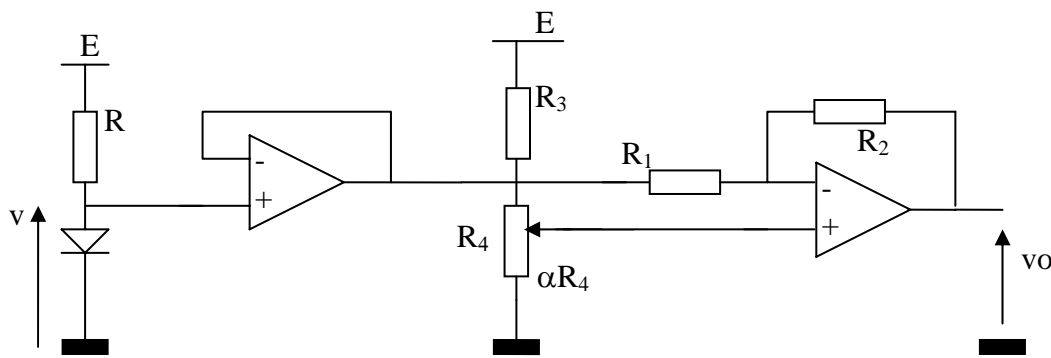


Figure 17.4

**Exercice n°18**

1. Soit le montage de la figure 18.1 où l'amplificateur opérationnel est supposé parfait. Pour que cette supposition soit valable les valeurs des résistances utilisées avec l'amplificateur opérationnel ne doivent pas être trop élevées (supérieures à 50 K $\Omega$ ).

1.1 Exprimer les tensions  $e_+$  et  $e_-$  puis en déduire l'expression du gain en tension du montage :  $A_V = \frac{V_s}{V_e}$  en fonction de  $R_1$  et  $R_2$ . Quelle est la fonction accomplie par le montage ?

1.2 On applique à l'entrée une tension sinusoïdale d'amplitude 20 mV, on désire obtenir à la sortie une tension sinusoïdale d'amplitude 10 V. Sachant que  $R_1=1\text{K}\Omega$ , calculer la valeur de la résistance  $R_2$  qui permet de satisfaire cette condition. Que peut-on dire de la valeur de  $R_2$  trouvée compte tenu de ce qui a été donné au début du problème ?

2. Pour résoudre le problème posé par le montage précédent, on ajoute deux résistances  $R$  et  $R'$  (figure 18.2).

2.1 Déterminer l'expression du gain du montage  $A_V' = \frac{V_s'}{V_e}$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R$  et  $R'$ .

2.2 On se met dans les mêmes conditions que dans la question 1.2 où  $V_e$  est une tension sinusoïdale d'amplitude 20 mV,  $R_1=1\text{K}\Omega$  et on désire obtenir à la sortie une tension sinusoïdale d'amplitude 10 V. Calculer la valeur de  $R_2$  sachant que  $R'=1\text{K}\Omega$

et  $R=24K\Omega$ . La valeur de  $R_2$  trouvée résout-elle le problème posé par le montage de la figure IV.4 ?

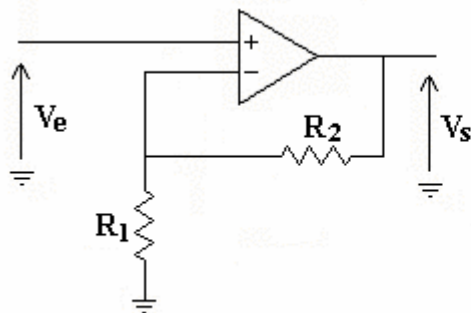


Figure 18.1

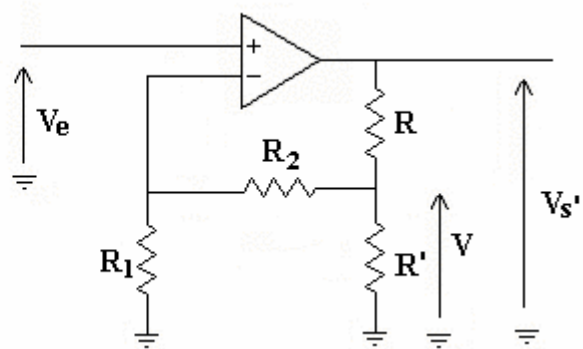


Figure 18.2

**Exercice n°19**

Les amplificateurs opérationnels utilisés dans les montages suivants sont supposés idéaux et fonctionnent en commutation :

Si  $\varepsilon_1 > 0$ ,  $V_{S1} = + V_{sat}$   
 Si  $\varepsilon_1 < 0$ ,  $V_{S1} = - V_{sat}$

Si  $\varepsilon_2 > 0$ ,  $V_{S2} = + V_{sat}$   
 Si  $\varepsilon_2 < 0$ ,  $V_{S2} = - V_{sat}$

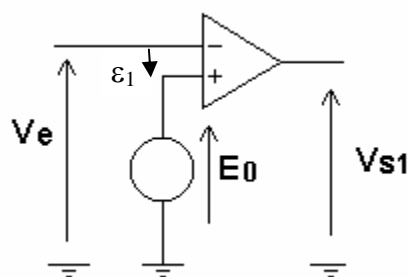


Figure 19.1

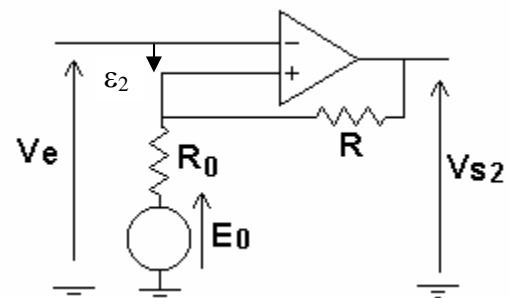


Figure 19.2

On donne  $V_{sat} = 12V$ ,  $E_0 = -2 V$  et  $R_0=20 K\Omega$ .

1. On considère le montage de la figure 19.1. Représenter, en la justifiant, la caractéristique de transfert  $V_{S1}=f(V_e)$  lorsque  $V_e$  varie de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$ . Quelle est la fonction accomplie par ce montage ?

2. En ajoutant deux résistances  $R_0$  et  $R$  au montage précédent on obtient celui de la figure 19.2.

2.1 Déterminer le potentiel  $e_+$  de l'entrée non inverseuse en fonction de  $V_{S2}$ ,  $E_0$ ,  $R_0$  et  $R$ .

2.2 On fait croître la tension d'entrée  $V_e$  de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$ , la tension de sortie  $V_{s2}$  subit un basculement (de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ ) lorsque la tension d'entrée atteint une valeur

$V_e = V_{HB}$ . Calculer la résistance  $R$  sachant que  $V_{HB} = 8 \text{ V}$ ,

2.3 On fait décroître la tension d'entrée  $V_e$  de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ , la tension de sortie  $V_{s2}$  subit un basculement (de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$ ) lorsque la tension d'entrée atteint une valeur

$V_e = V_{BH}$ . Calculer  $V_{BH}$ .

2.4 Représenter, en la justifiant, la caractéristique de transfert  $V_{s2} = f(V_e)$  du comparateur lorsque  $V_e$  varie de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$  et de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ .

2.5 Calculer la largeur  $L$  du cycle d'Hystérésis ( $L = V_{HB} - V_{BH}$ )

## Eléments de correction

### Exercice n°1

1.1.  $R_a = (E_0 - V_Z(25^\circ\text{C})) / I_Z = 134.5\Omega$ .

1.2.  $V_Z(T) = aT + b$  ; avec  $a = 10\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

à  $25^\circ\text{C}$   $V_Z(25) = 2.982\text{V} = a \cdot 25 + b \rightarrow b = 2.532\text{V}$ .

1.1.  $V_s = -R_2/R_1 V_e$ .

1.2.  $V_s = -R_2/R_1 (aT + b)$ .

3.1.

$$e^- = \frac{\frac{V_e'}{R_3} + \frac{E}{R_4} + \frac{V_s'}{R_5}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}} ; e^+ = 0 \rightarrow V_s' = -R_5 \left( \frac{V_e'}{R_3} + \frac{E}{R_4} \right)$$

3.2.  $V_s' = \beta V_e - E \rightarrow R_5 = R_4 ; \beta = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}$

4.  $V_s' = \beta V_e - E ; V_s' = a\beta T + \beta b - E ; \rightarrow E = \beta b, K = a\beta$ .

### Exercice n°2

1/ Pour un oscillateur  $X=0$ ;  $\varepsilon(j\omega) = -Xr(j\omega)$ ;

$Xr(j\omega) = K(j\omega) \cdot H(j\omega) \cdot \varepsilon(j\omega) \rightarrow K(j\omega) \cdot H(j\omega) = -1 = T(j\omega)$  .

2.1/  $H(j\omega) = V_s/V_e = 1 + R_2/R_1 = 1 + k = A_0$ .

2.2/

$$K(j\omega) = \frac{-1}{1 + \left( R + \frac{1}{jC\omega} \right) \left( \frac{1}{R} + jC\omega \right)}$$

2.3/  $T(j\omega) = -1$  pour un oscillateur;  $\frac{A_0}{1 + \left( R + \frac{1}{jC\omega} \right) \left( \frac{1}{R} + jC\omega \right)} = 1$

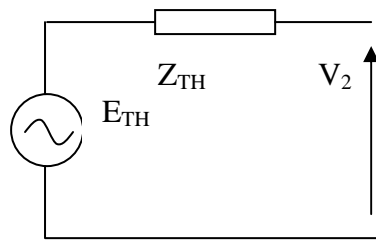
$\rightarrow A_0 = 3 ; \omega_0 = \frac{1}{RC} ; k = 2$ .

### Exercice n°3

1.  $T_1(j\omega) = \frac{1}{1 + jRC\omega}$

2.  $T_{1\text{dB max}} = 0 ; f_c = 1 / 2\pi RC = 796\text{Hz}$ .

3.



$$E_{TH} = \frac{Z_c}{R + Z_c} V_1 \qquad Z_{TH} = R + \frac{Z_c R}{Z_c + R}$$

4.  $R_L = R$

$$T_1'(j\omega) = \frac{Z_c}{3Z_c + 2R} = \frac{1}{3 + 2jRC\omega} = \frac{1}{3} \frac{1}{1 + j\frac{2}{3}RC\omega}$$

$$T_1' \text{ dB} = -20 \log 3 - 10 \log [1 + (\omega/\omega_0)^2] \quad \text{avec } \omega_0 = \frac{3}{2RC}$$

$$T_1' \text{ dB max} = -9.54 \text{ dB.}$$

5.

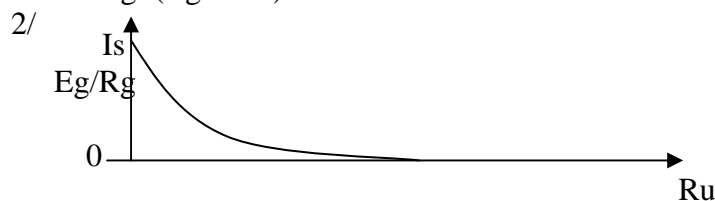
$$5.1/ \frac{V_2}{V_1} = \frac{-rZc'}{2RZc' + R^2} = - \frac{1}{1 + j\frac{RC'}{2}\omega}$$

$T_2 \text{ dB} = -10 \log [1 + (\omega/\omega_0)^2]$  ;  $\omega_0 = 2/RC$  pour avoir la même fréquence de coupure  $C' = 2C$ .

5.2/ Il n'y aura pas dépassement.

**Exercice n°5**

1/  $I_s = E_g / (R_g + R_u) \rightarrow A_i = I_s / I_e = 1.$



3/  $Z_e = R.$

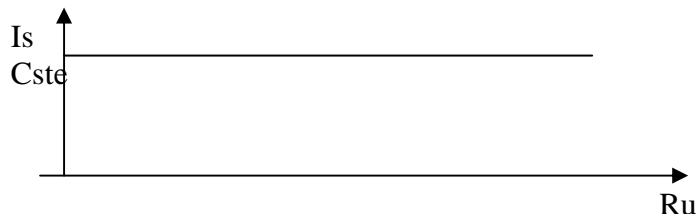
4/  $I_e = \frac{E_g}{R_g + R} = V_{AB} / R$

5/

$$V_N = \frac{\frac{V^-}{R_1} + \frac{V_s}{R_u}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_u}} ; \quad V^- = \frac{\frac{V_e}{R} + \frac{V_N}{R_1}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1}} = 0$$

$$I_e = -V_N/R_1 \quad I_s = -V_N \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

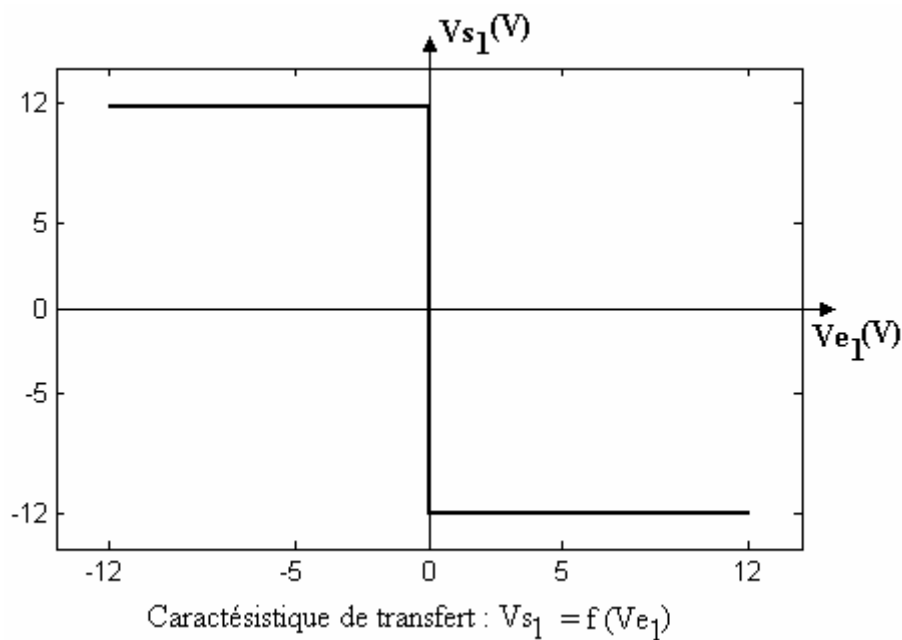
$$A_i = \frac{I_s}{I_e} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad , \quad I_s \text{ est indépendant de la charge } R_u \quad I_s = \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \frac{E_g}{R_g + R}$$



Source de courant ou générateur de courant commandé par la tension  $E_g$ .

**Exercice n°8**

1.



Le montage de la figure IV.10 représente un comparateur simple (ou comparateur à zéro).

2. A. **Premier Cas** :  $V_{e2} = V_{e1}$ .

$$2.1 \quad e^+ = \frac{\frac{V_{s1}}{R_1} + \frac{V_{s2}}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}} = \frac{R_2 V_{s1} + R_1 V_{s2}}{2R_2 + R_1} = \frac{V_{s1} + 2V_{s2}}{4}$$

2.2 Basculement de  $V_{s2}$  de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$  :



$$V_{HB} = \frac{-0,5V_{sat} + V_{sat}}{2} = 0,25 \cdot V_{sat}$$

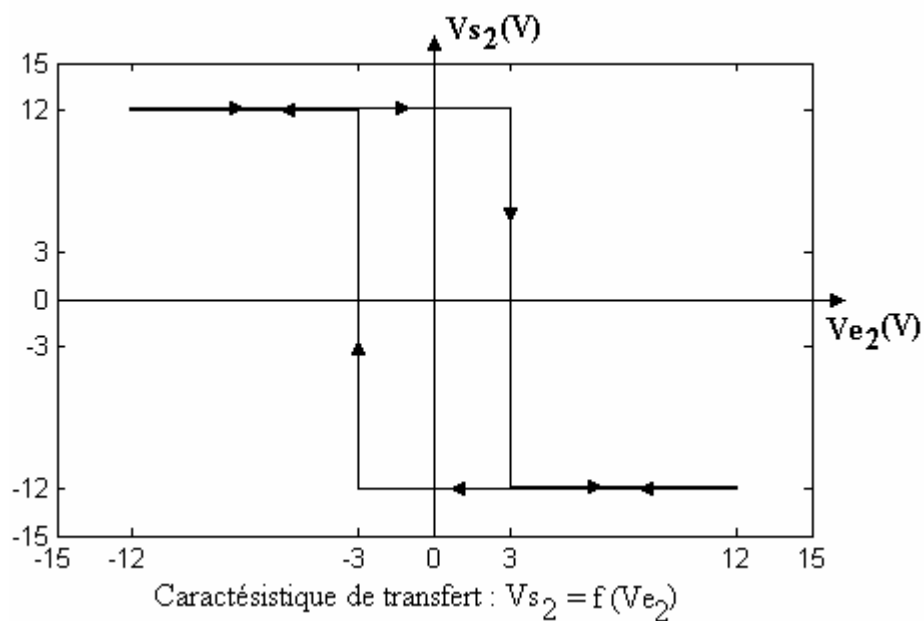
A.N. :  $V_{HB} = 0,25 \cdot 12 \text{ V} = 3 \text{ V}$

2.3 Basculement de  $V_{s2}$  de  $V_{sat}$  à  $-V_{sat}$  :

$$V_{BH} = \frac{0,5V_{sat} - V_{sat}}{2} = -0,25 \cdot V_{sat}$$

A.N. :  $V_{BH} = -0,25 \cdot 12 \text{ V} = -3 \text{ V}$

2.4



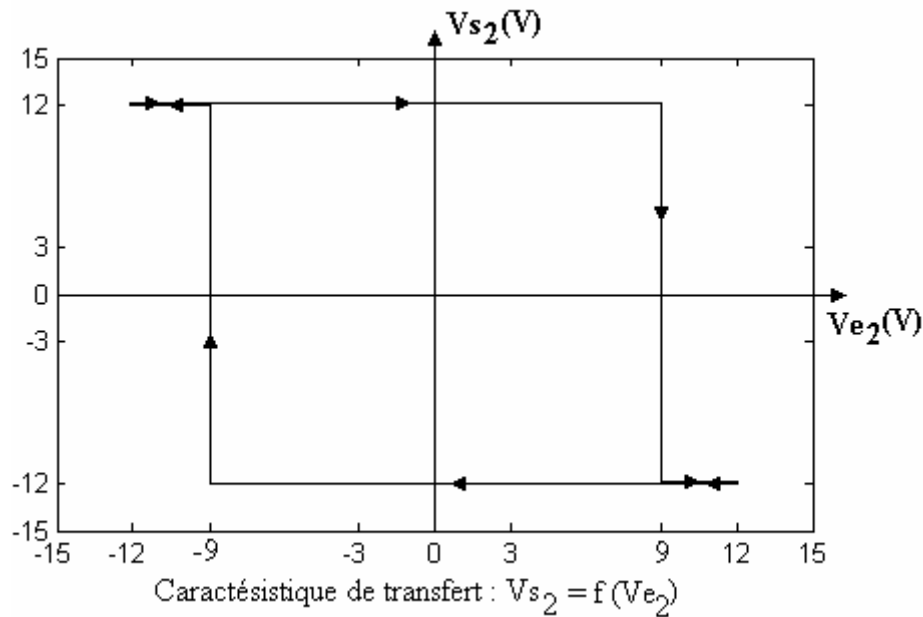
2.5 La largeur du cycle d'Hystérésis :  $L = V_{HB} - V_{BH} = 3 + 3 = 6\text{V}$ .

**B. Deuxième Cas :  $V_{e2} = -V_{e1}$**

2.6

$$V'_{HB} = \frac{0,5V_{sat} + V_{sat}}{2} = 0,75 \cdot V_{sat} = 9\text{V}$$

$$V'_{BH} = \frac{-0,5V_{sat} - V_{sat}}{2} = -0,75 \cdot V_{sat} = -9\text{V}.$$



La largeur du cycle d'Hystérésis :  $L' = V'_{HB} - V'_{BH} = 9 + 9 = 18V$ .  $L' > L$ .

#### Exercice n°14

$$1. V^- = \frac{\frac{S(p)}{R} + \frac{V_N}{Zc(p)}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{Zc(p)}} = 0 ; \rightarrow V_N = -Zc(p) \cdot S(p) / R$$

$$V_N = \frac{\frac{E(p)}{Zc(p)} + \frac{0}{R} + \frac{V^-}{Zc(p)} + \frac{S(p)}{Zc(p)}}{\frac{1}{R} + \frac{3}{Zc(p)}}$$

$$\frac{S(p)}{E(p)} = \frac{-R^2}{Zc(p)^2 + 3RZc(p) + R^2}$$

$$T(p) = \frac{-(RCp)^2}{1 + 3RCp + (RCp)^2}$$

2.

$$T(j\omega) = T_1(j\omega) \cdot T_2(j\omega)$$

Avec

$$T_1(j\omega) = - \left( \frac{j\omega}{\omega_0} \right)^2 \quad T_2(j\omega) = \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 + 3j\omega\omega_0 + (j\omega)^2} ; \omega_0 = 1/RC = 10^4 \text{rd/s.}$$

$T_2$  est un système de 2<sup>ème</sup> ordre de coefficient d'amortissement  $m = 1.5 > \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow$  il n'y aura de dépassement.

C'est un filtre passe haut de 2<sup>ème</sup> ordre de fréquence de coupure  $f_c = \omega_0/2\pi$ .

### Exercice n°16

1.

$$1.1 \quad e^+ = \frac{\frac{V_e}{R_1} + \frac{V_0}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2 V_e + R_2 V_0 + R_1 V_s}{R_1 + 2R_2}$$

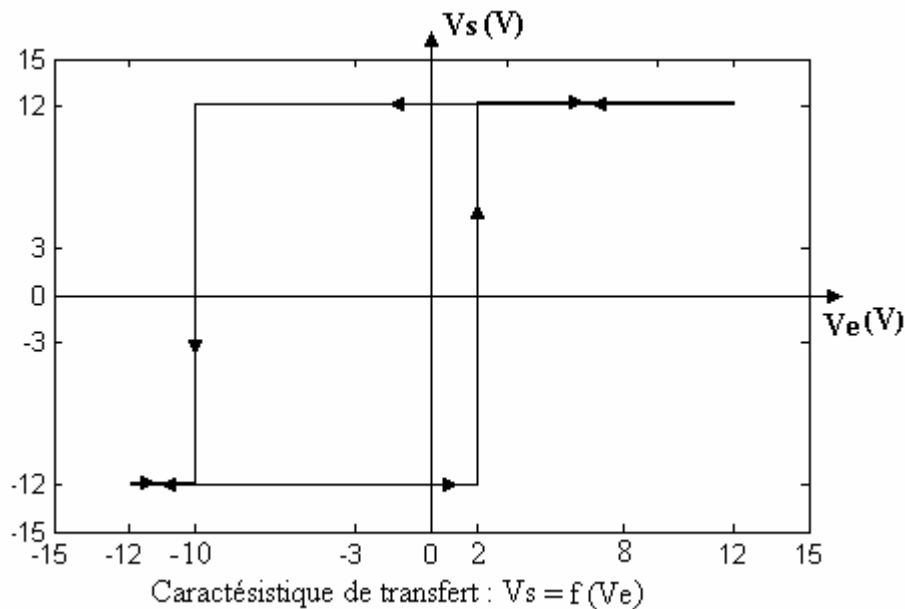
$$1.2 \quad V_e = V_{BH} = 2V$$

$$R_2 V_{BH} + R_2 V_0 - R_1 V_{sat} = 0 \Rightarrow R_2 = R_1 \frac{V_{sat}}{V_{BH} + V_0}$$

$$\text{A.N. : } R_2 = 10^3 \frac{12}{4+2} = 2 \text{ K}\Omega$$

$$1.3 \quad V_{HB} = -\frac{R_1}{R_2} V_{sat} - V_0 = -10V$$

1.4

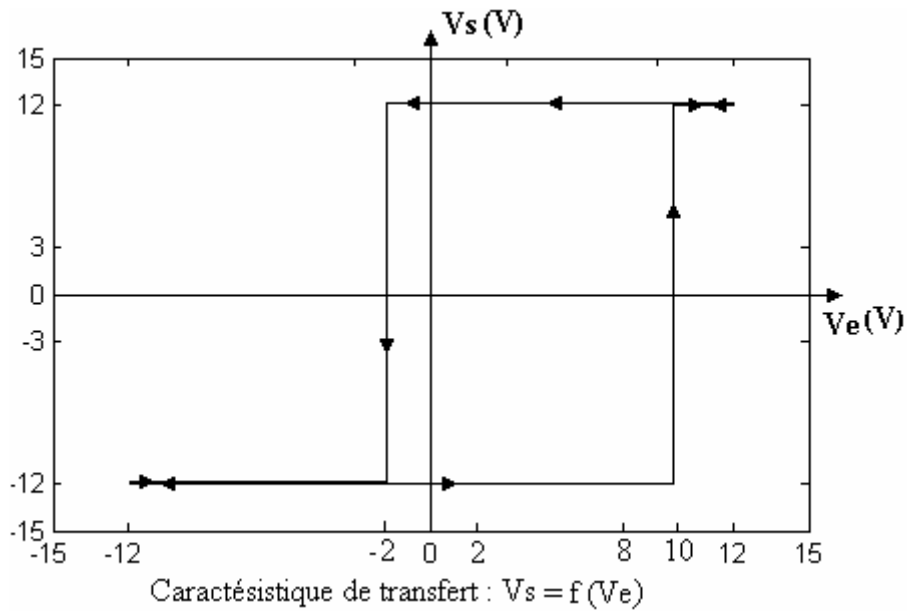


$$1.5 \quad \text{La largeur du cycle d'Hystérésis : } L = V_{BH} - V_{HB} = 2 + 10 = 12V.$$

2.

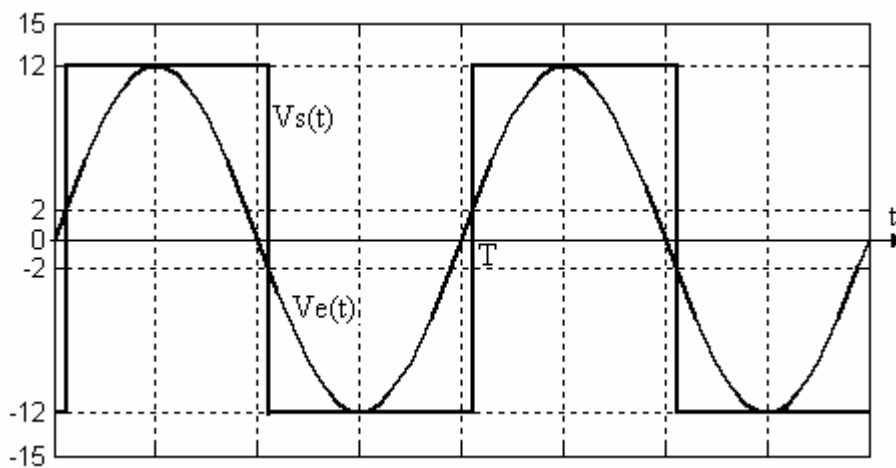
2.1  $V_{BH} = \frac{R_1}{R_2} V_{sat} - V_0 = 6 + 4 = 10 \text{ V}$

$V_{HB} = -\frac{R_1}{R_2} V_{sat} - V_0 = -6 + 4 = -2 \text{ V}$



2.2 La largeur du cycle d'Hystérésis :  $L = V_{BH} - V_{HB} = 10 + 2 = 12 \text{ V}$ .

3.1



3.2  $T_H = T_B \Rightarrow K = \frac{T_H}{T_B} = 1$

**Exercice n°17**

1/ fonctionnement linéaire, montage suiveur  $v_{01} = v$ .  
Montage soustracteur.

$$v_{02} = \frac{(R_1 + R_2)v_2 - R_2v_1}{R_1}$$

2/ Diviseur de tension

$$v_2 = \frac{\alpha R_4}{R_3 + R_4} E$$

3/  $s = dv/dT$  par intégration on aura:  $v = s T + \text{Cste} = a T + b$ .

$a = s$  ;  $b = v_0 - sT_0$ . Donc  $v = s (T - T_0) + v_0$ .

4.1/

On exprime  $v_0$  à partir de  $v_{02}$  établie en 1/ en faisant correspondre à  $v_{02}$ ,  $v_0$  à  $v_1$ ,  $v$  à

$$v_2, \frac{\alpha R_4}{R_3 + R_4} E ; \text{ on aura } v_0 = - \frac{R_2}{R_1} + \alpha \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} E$$

4.2/ comme  $v = s (T - T_0) + v_0$ . on aura :

$$v_0 = - \frac{R_2}{R_1} sT + \alpha \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} E - \frac{R_2}{R_1} (v_0 - sT_0)$$

$$4.3/ v_0 = 0 \text{ à } T = 0^\circ\text{C. donne } \alpha = \frac{R_2}{R_1} \left( \frac{v_0 - sT_0}{E} \right) \frac{1 + \frac{R_3}{R_4}}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

4.4/  $\alpha$  étant positif, son signe est celui de  $(v_0 - sT_0) \rightarrow v_0 - s T_0 > 0$  condition à satisfaire pour répondre à l'exigence de 4.3/.

### Exercice n°18

1. 1.1

$$e^+ = V_e$$

$$e^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

$$\text{L'amplificateur est idéal, donc : } e^+ = e^- \Rightarrow G_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Le montage de la figure 18.1 représente un montage non inverseur.

$$1.2 G_V = \frac{10}{20 \cdot 10^{-3}} = 500; \text{ et } R_1 = 1 \text{ K}\Omega \Rightarrow R_2 = (500 - 1) 1 \text{ K}\Omega = 499 \text{ K}\Omega.$$

$R_2 = 499 \text{ K}\Omega \gg 50 \text{ K}\Omega \Rightarrow$  la valeur trouvée n'est pas appropriée.

2.

$$2.1 \quad V = \frac{\frac{e^-}{R_2} + \frac{V_s}{R}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R'}}$$

$$e^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \Rightarrow e^- = \frac{V_s}{1 + \frac{R}{R'} + \frac{R}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2 R}{R_1 R'}}$$

2.2 L'amplificateur est idéal, donc :

$$e^+ = e^- = V_e \Rightarrow G'_V = \frac{V_{s'}}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1} + R \left( \frac{1}{R'} + \frac{1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 R'} \right)$$

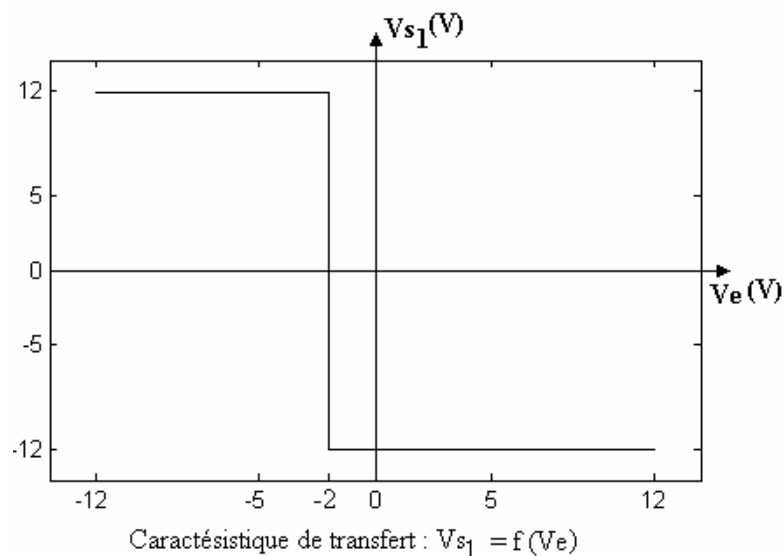
$$R_2 = \frac{G'_V - \left(1 + \frac{R}{R'} + \frac{R}{R_1}\right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{R}{R_1 R'}} \approx 18 \text{ K}\Omega$$

$R_2 = 18 \text{ K}\Omega \ll 50 \text{ K}\Omega \Rightarrow$  La valeur de  $R_2$  est appropriée est résout le problème.  
D'où

- Le premier montage peut être utilisé pour réaliser un amplificateur non inverseur avec un gain qui n'est pas très élevé. (pour  $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$ ,  $G_V < 50$ ).
- Le deuxième montage offre une meilleure solution dans le cas où un gain élevé est recherché.

### Exercice n°19

1.



Le montage est un comparateur simple avec une tension de référence  $V_{ref} = E_0 = -2 \text{ V}$ .

2.

$$2.1 \quad e^+ = \frac{\frac{E_0}{R_0} + \frac{Vs_2}{R}}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R}} = \frac{R E_0 + R_0 Vs_2}{R_0 + R}$$

$$2.2 \quad \varepsilon = e^+ - e^- = \frac{R E_0 + R_0 Vs_2}{R_0 + R} - V_e$$

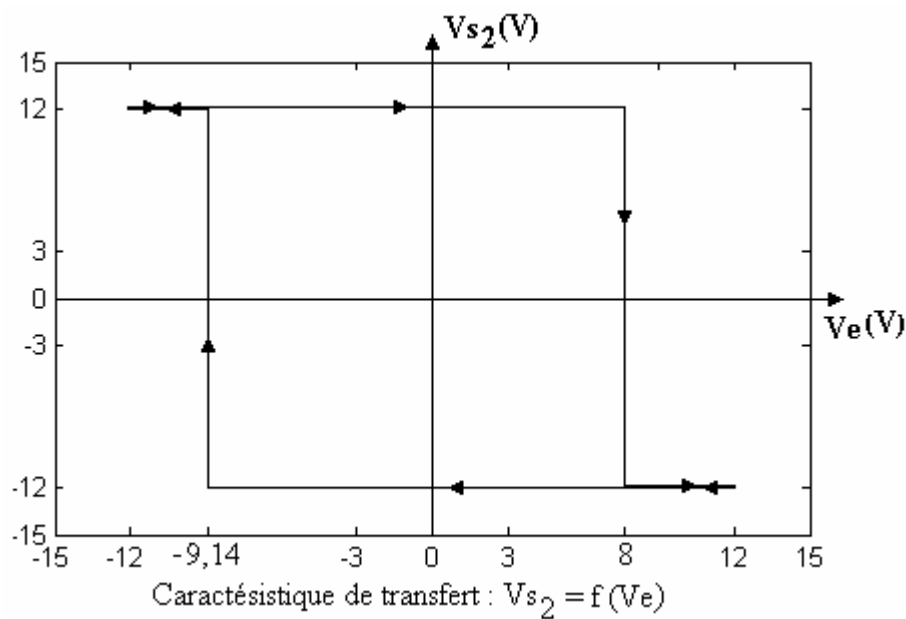
Basculement de  $V_s$  de de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$  pour :

$$V_e = V_{HB} = \frac{R E_0 + R_0 V_{sat}}{R_0 + R} \Rightarrow R = R_0 \frac{V_{sat} - V_{HB}}{V_{HB} - E_0}$$

$$\text{A.N. : } R = 20 \frac{12 - 8}{8 + 2} = 8 \text{ k}\Omega$$

$$2.3 \quad V_{BH} = \frac{R E_0 - R_0 V_{sat}}{R_0 + R} \quad \text{A.N. : } V_{BH} = \frac{-2 \cdot 8 - 20 \cdot 12}{8 + 20} = -9,14 \text{ V}$$

2.4



$$2.5 \quad L = V_{HB} - V_{BH} = 8 + 9,14 = 17,14 \text{ V}$$

## BIBLIOGRAPHIE

- 1- F. Dattée, *électronique, concepts de base*, Eyrolles 1987 (cours de l'école supérieure d'Electricité. ESE3).
- 2- C. Grossetête ; *électronique –1 circuits électriques, électroniques et amplificateur opérationnel idéal*. Ellipses. 1987.
- 3- J. Millman, A. Grabel ; *micro-électronique*. Ediscience 1994.
- 4- S. Coeurdacier ; *électronique 3 : amplification hautes fréquences-réaction*. Dunod 1980.
- 5- S. Coeurdacier ; *électronique 2 : amplification basses fréquences-commutation*. Dunod 1980.
- 6- S. Coeurdacier ; *électronique 1 : les composants discrets non linéaires*. Dunod 1980.
- 7- F. Milsant, *cours d'électronique. Tomes 1,2,3*. Eyrolles.
- 8- J. D. Chatelain, R. dessoulavy ; *électronique Tomes :1,2*. Dunod.
- 9- Tran Tien L., *Electronique des systèmes de mesures*, Masson, 1983.
- 10- Aumiaux M., *Physique de l'électronique*, Masson, 1977
- 11- Valkov S., *Electronique analogique*, Casteilla, 1994
- 12- Boittiaux B., *Cours d'électronique*, Lavoisier, 1995
- 13- Dziadowiec A., Lescure M., *Fonctions à amplificateurs opérationnels*, Eyrolles, 1996
- 14- Manneville F., Esquieu J., *Théorie du signal et composants*, Dunod, 1989
- 15- R. Besson, "Technologie des composants électroniques" Tome 1, 2, Edition Radio, 1993.
- 16- S. M. Sze, "Semi-conductor devices: physics and technology" 2<sup>nd</sup> Edition Wiley 2002.
- 17- P. Mayé, « Composants électroniques », Dunod , 3<sup>ème</sup> edition, 2005.



