

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 $\frac{dV_z}{dT} = 10mV/^{\circ}C$.

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

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 5V

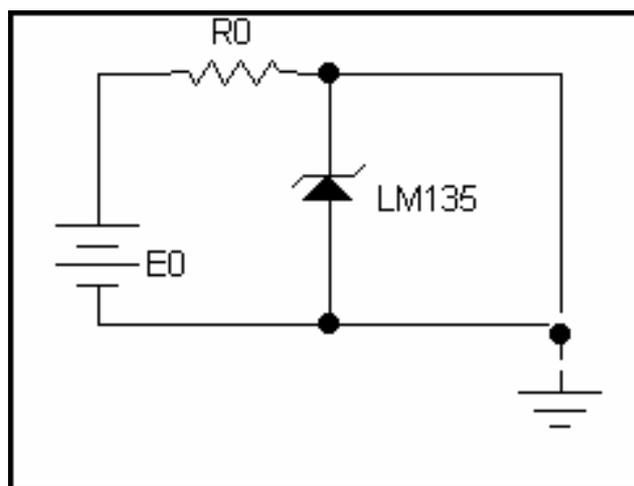


Figure 1.1

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

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 ?

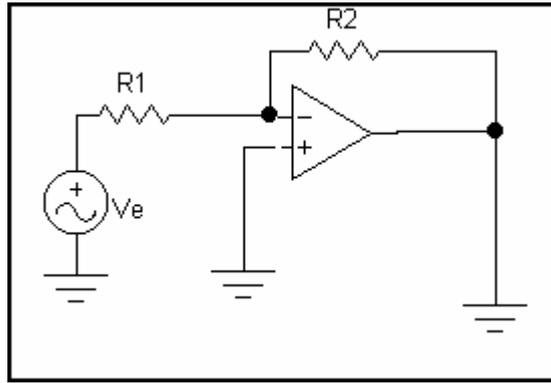


Figure 1.2.

3. On donne le montage de la figure 1.3.

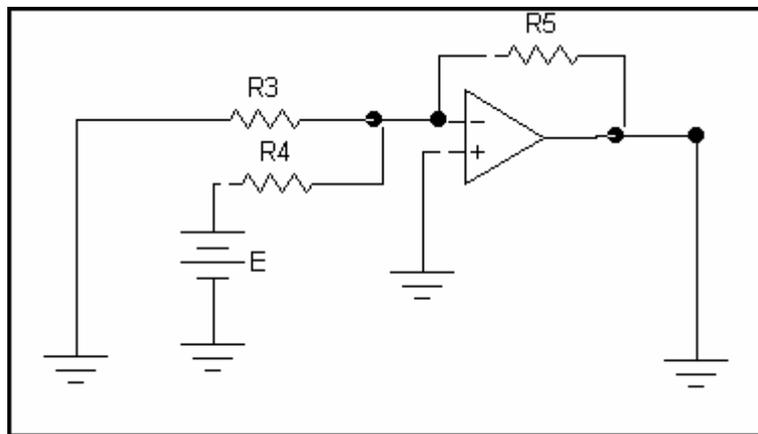


Figure 1.3

- 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.

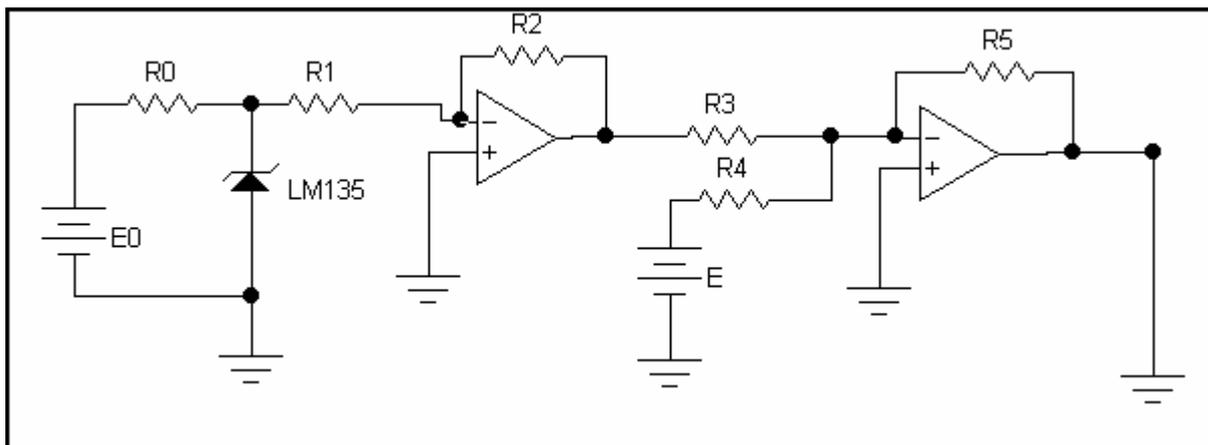


Figure 1.4

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 ω .

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.

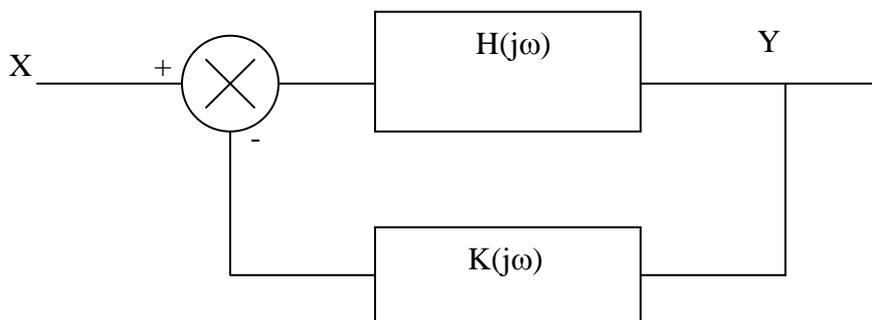


Figure 2.1

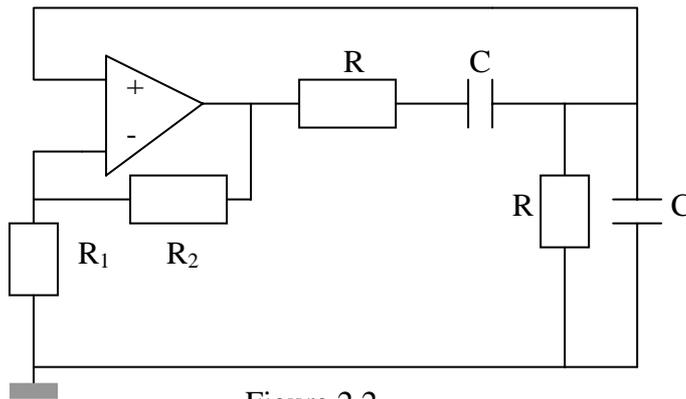


Figure 2.2

Exercice n°3 :

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

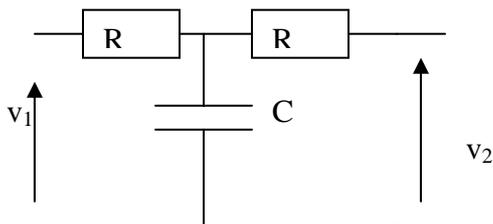


Figure 3.1

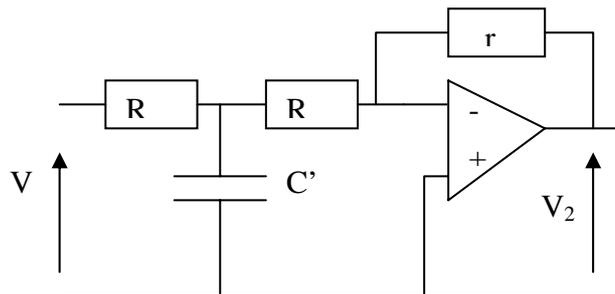


Figure 3.2

1. Calculer la fonction de transfert $T_1(j\omega) = v_2/v_1$.
2. Quelle est la valeur maximale en décibels T_1 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' dB, la valeur maximale de T_1' 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 $R_0 = 180k\Omega$, $R = 1k\Omega$, $R_1 = R_2 = 1.5k\Omega$.

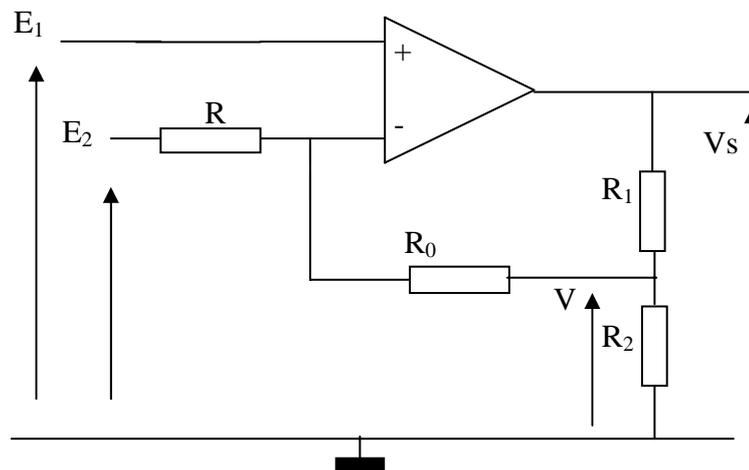


Figure 4.1

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).

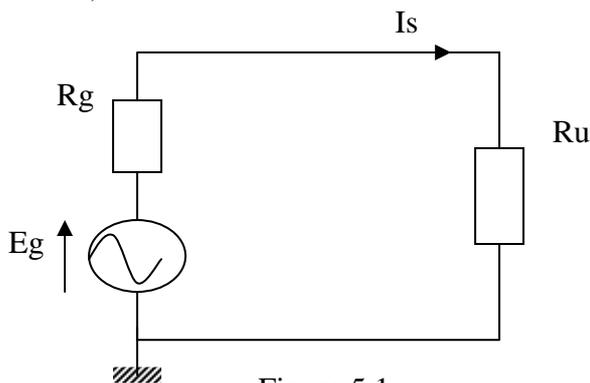


Figure 5.1

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.

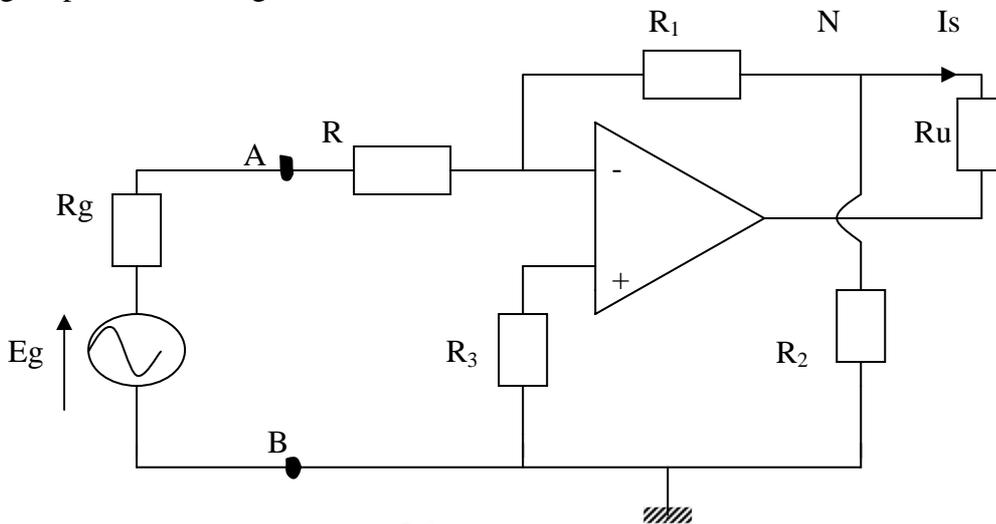


Figure 5.2

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 $R = 10K\Omega$ et $C = 10nF$.

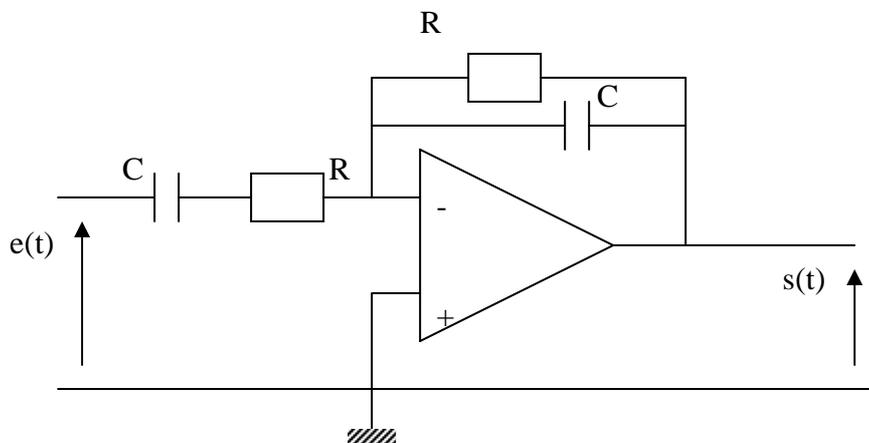


Figure 6.1

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 ω_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 $R = 1K\Omega$ et $C = 10nF$.

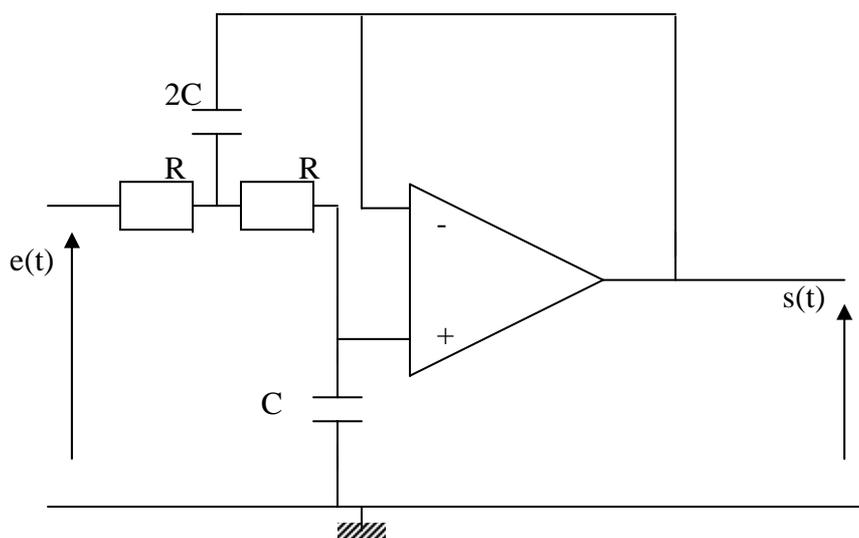


Figure 7.1

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.

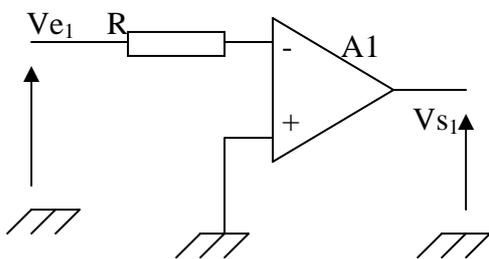


Figure 8.1

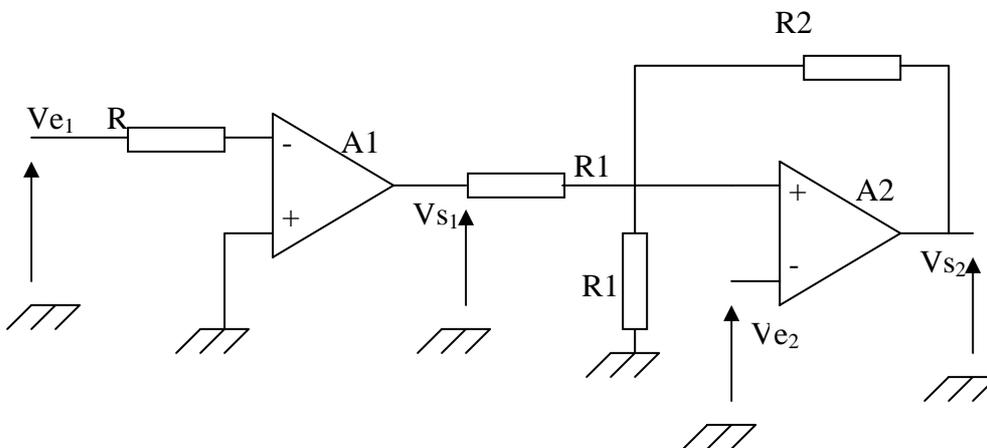


Figure 8.2

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 $R = 1K\Omega$ et $C = 10nF$.

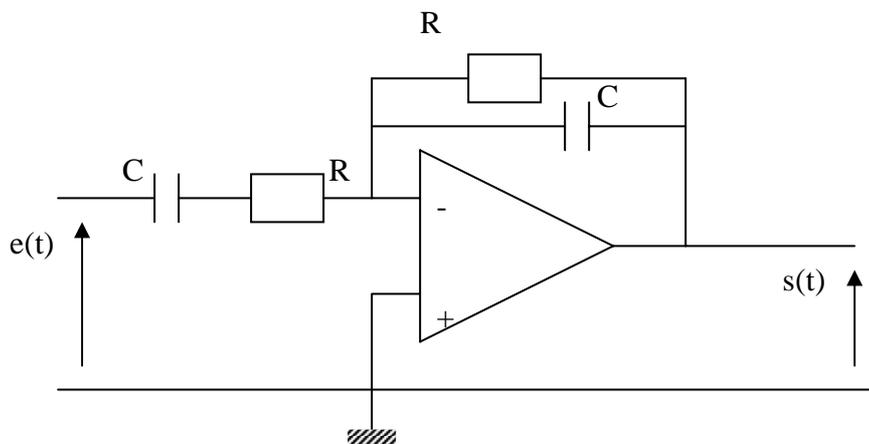


Figure 9.1

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 ω_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 $C = 1nF$.

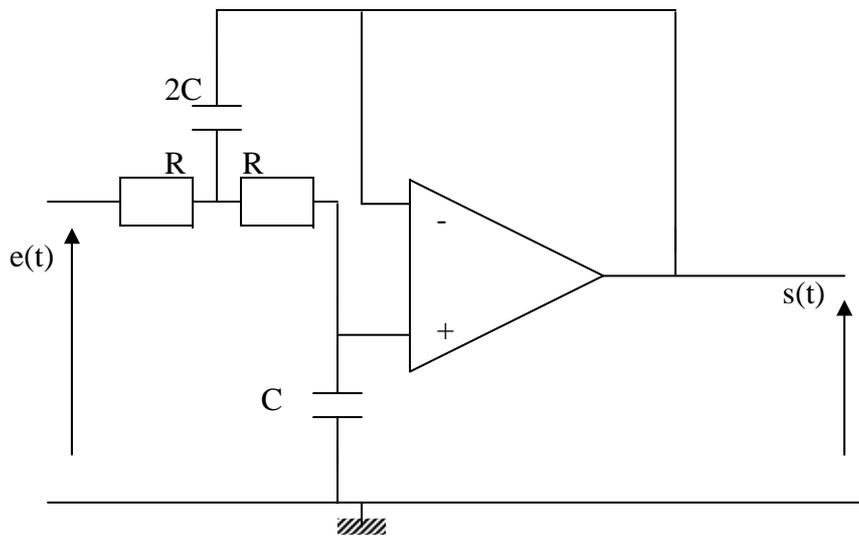


Figure 10.1

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 :

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

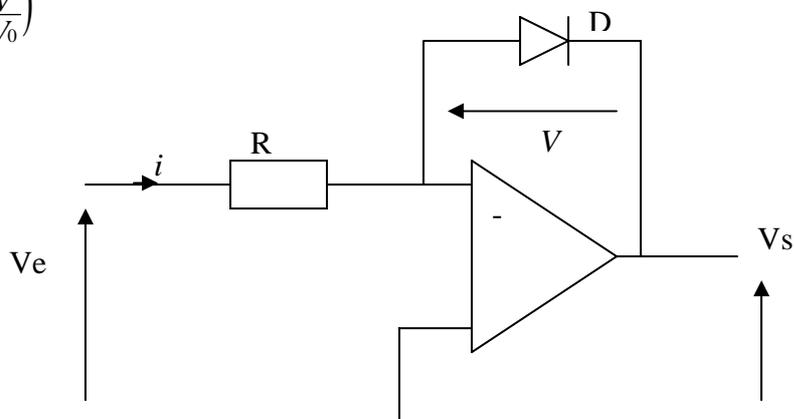


Figure 11.1

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).

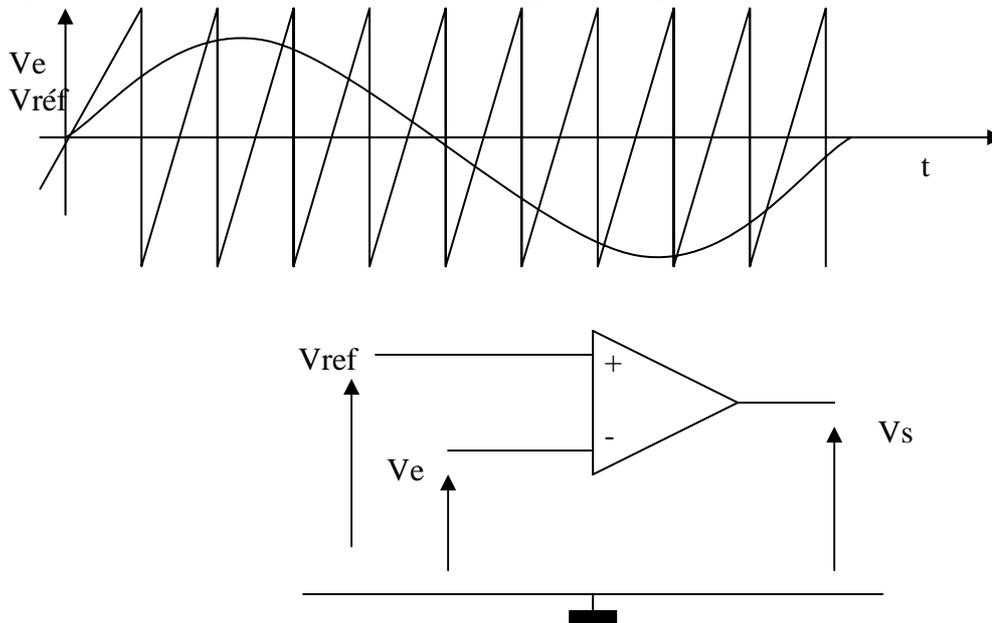


Figure 12.1

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 :

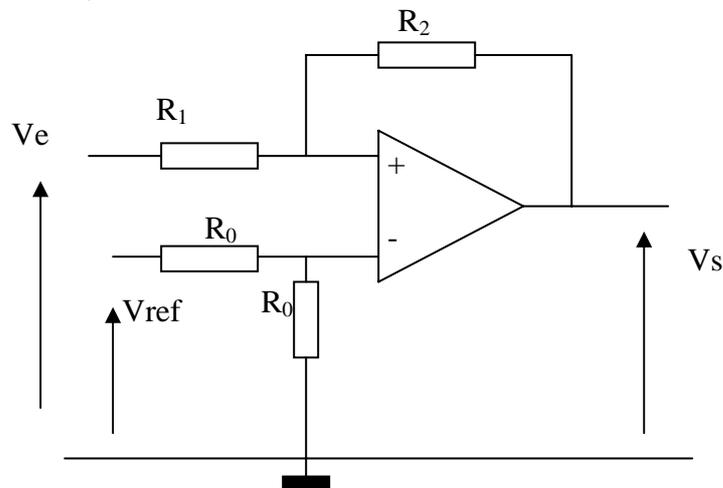
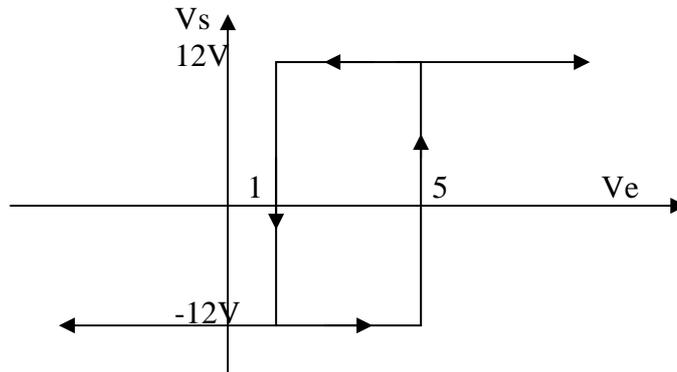


Figure 12.3

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^{er} 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.

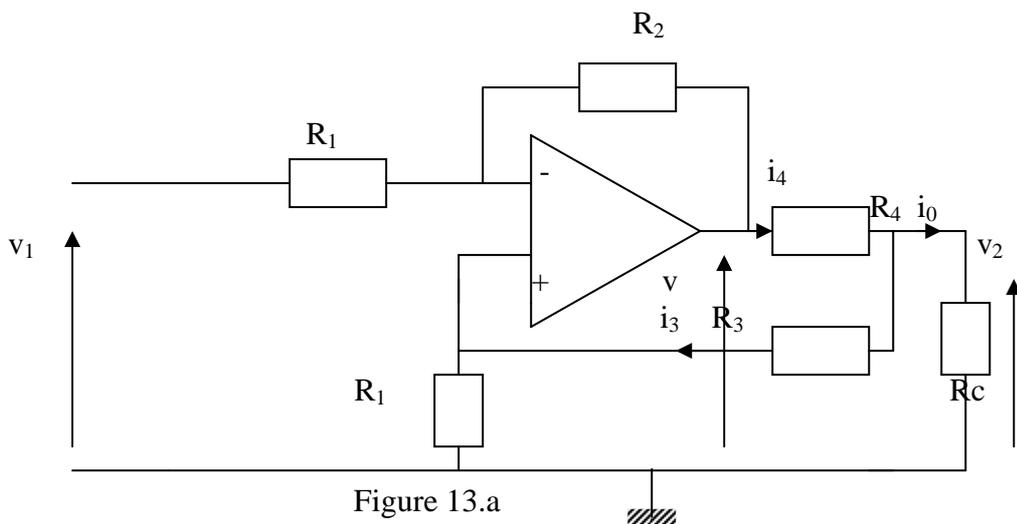


Figure 13.a

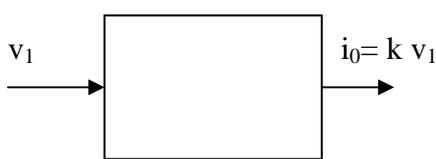


Figure 13.b

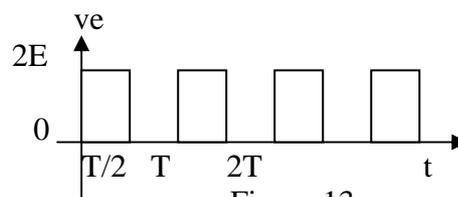


Figure 13.c

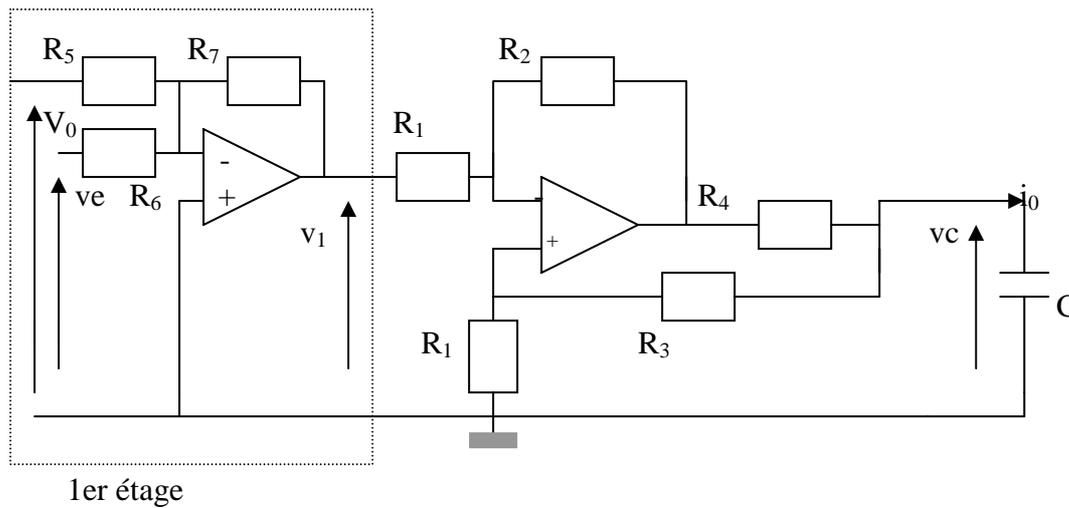


Figure 13.d

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.

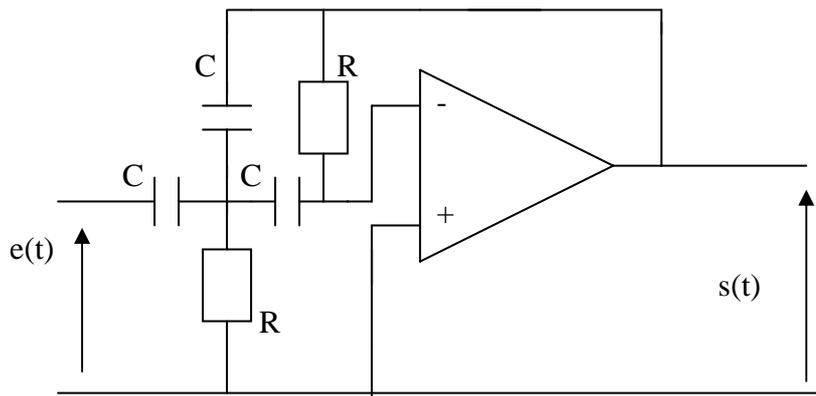


Figure 14

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 2b). On suppose que $R_1=R_2=R_3=R_5=R_6=R_7=R$.

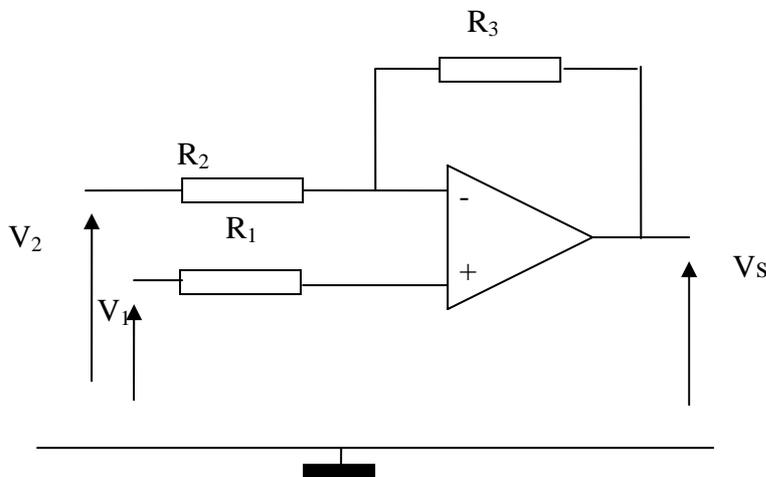


Figure 15.1.

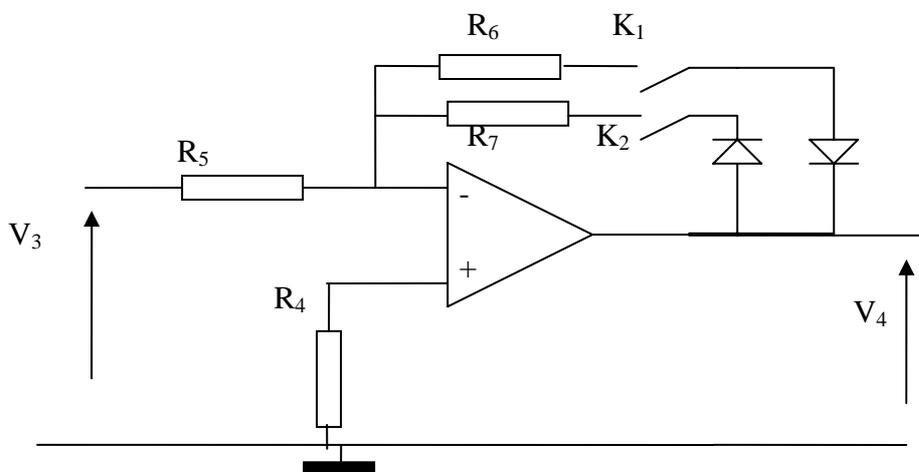


Figure 15.2

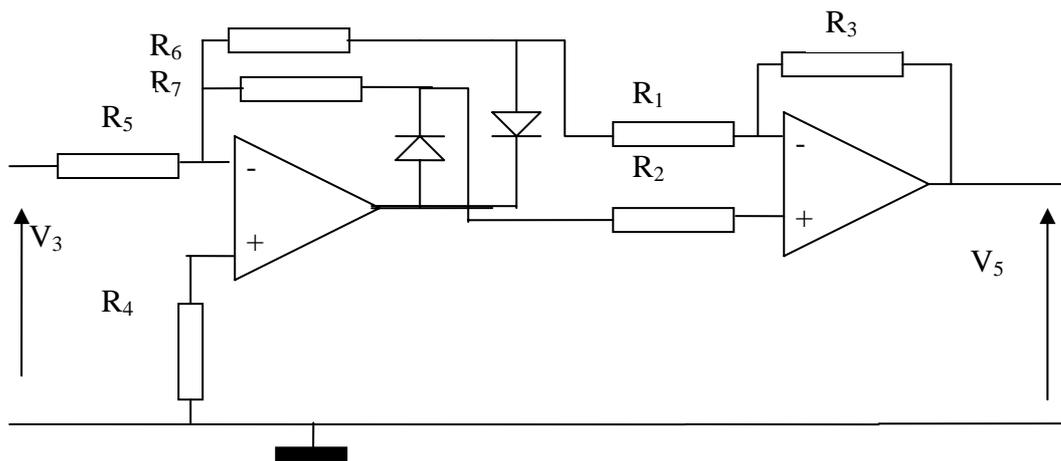


Figure 15.3

Exercice n°16

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

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

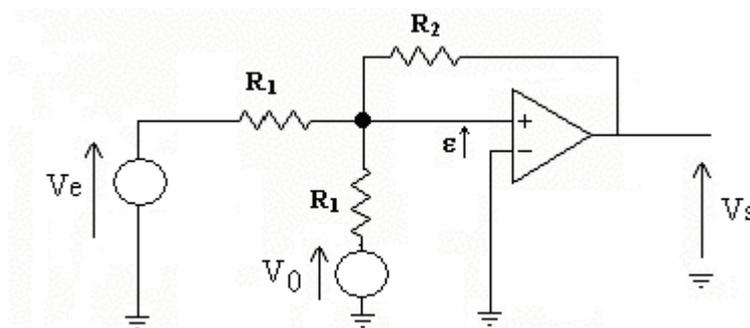


Figure 16.1

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 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 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} .

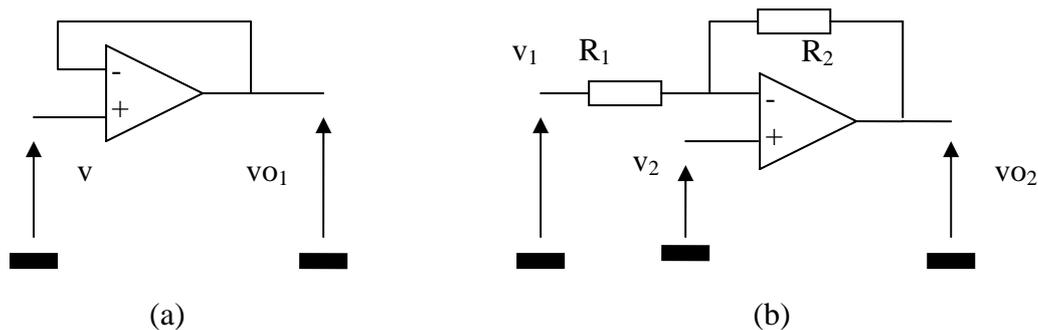


Figure 17.1



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 αR_4 est la fraction de R_4 donnant v_2 ; α étant un réel positif inférieur à 1.

2- Exprimez v_2 en fonction de E , R_3 , R_4 et α .

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 , α et des diverses résistances.

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

4-3- Déterminez α 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°C corresponde à 10mV .

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

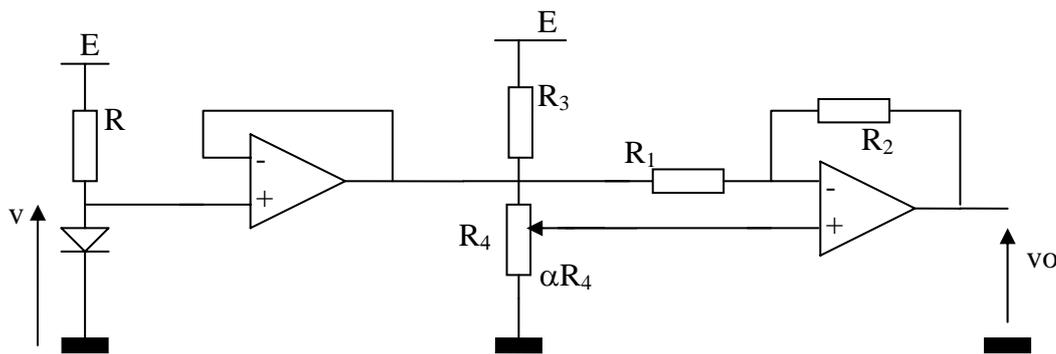


Figure 17.4

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 Ω).

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 $R_1=1K\Omega$, 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, $R_1=1K\Omega$ et on désire obtenir à la sortie une tension sinusoïdale d'amplitude 10 V. Calculer la valeur de R_2 sachant que $R'=1K\Omega$

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

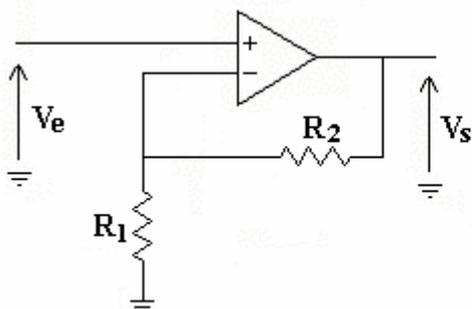


Figure 18.1

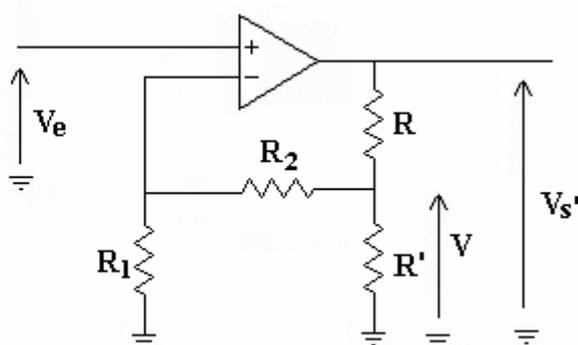


Figure 18.2

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

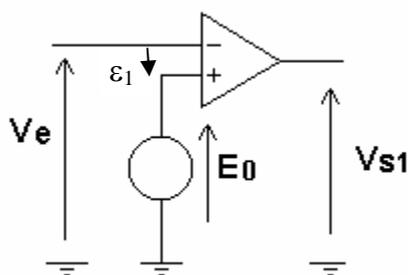


Figure 19.1

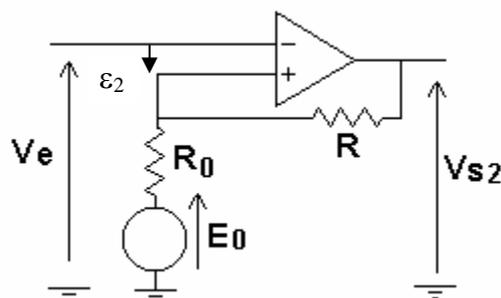


Figure 19.2

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°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; $\frac{A_0}{1 + \left(R + \frac{1}{jC\omega} \right) \left(\frac{1}{R} + jC\omega \right)} = 1$

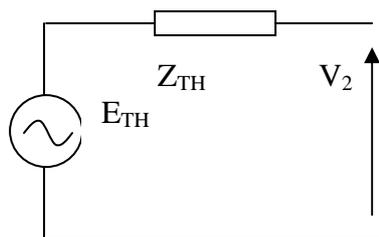
$\rightarrow A_0 = 3 ; \omega_0 = \frac{1}{RC} ; k = 2$.

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.

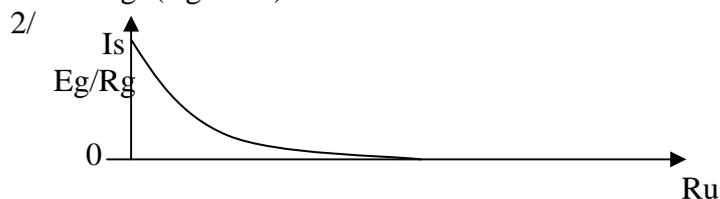
$$5.1/ \frac{V_2}{V_1} = \frac{-rZc'}{2RZc' + R^2} = - \frac{1}{1 + j\frac{RC'}{2}\omega}$$

$T_2 \text{ dB} = -10 \log[1 + (\omega/\omega_0)^2]$; $\omega_0 = 2/RC$ 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/ $Z_e = R.$

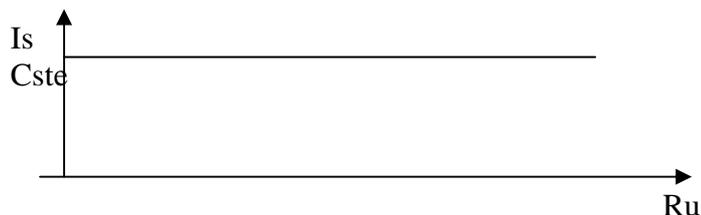
4/ $I_e = \frac{E_g}{R_g + R} = V_{AB} / R$

5/

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

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

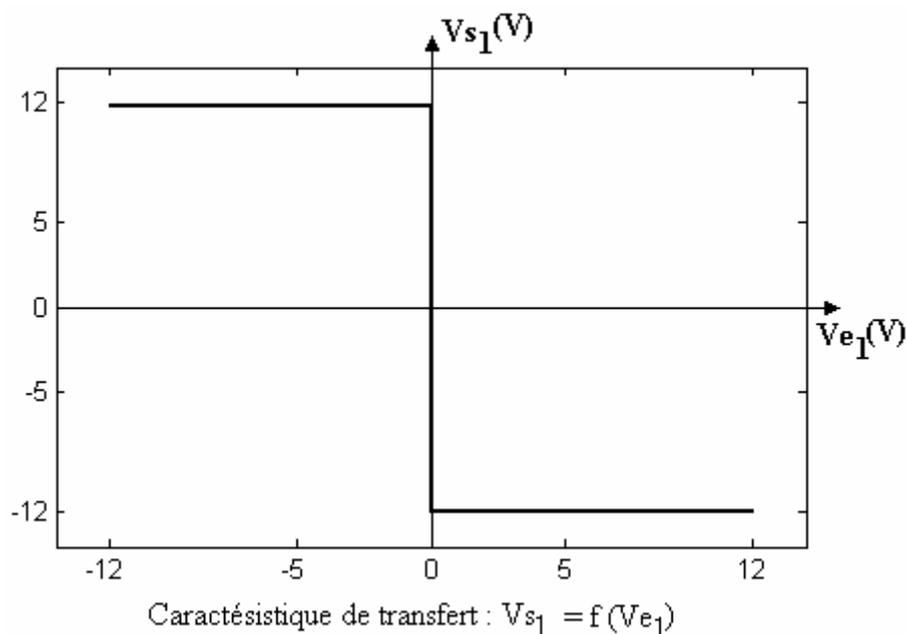
$$A_i = \frac{I_s}{I_e} = 1 + \frac{R_1}{R_2}, \quad I_s \text{ est indépendant de la charge } R_u \quad I_s = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \frac{E_g}{R_g + R}$$



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 $+V_{sat}$:

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

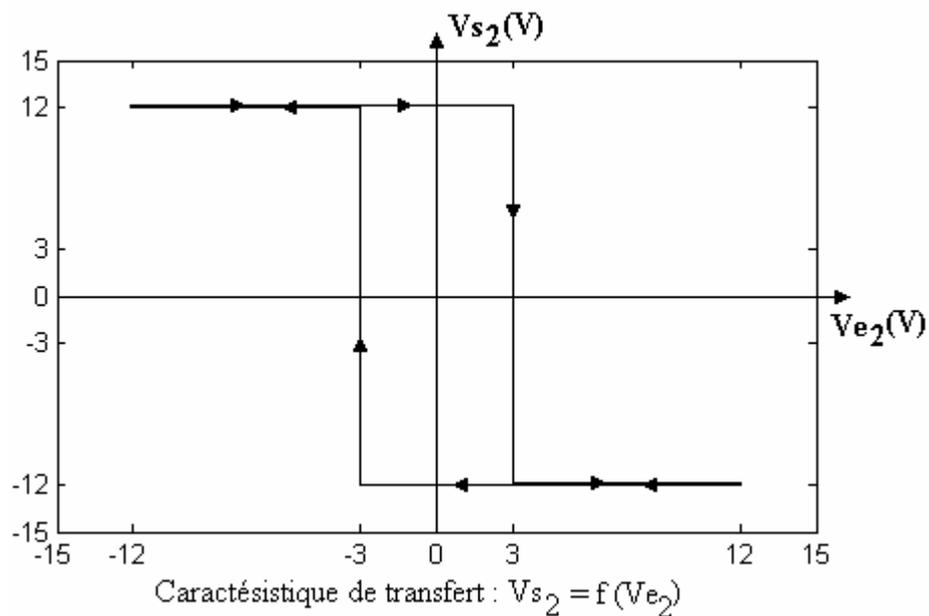
A.N. : $V_{HB} = 0,25 \cdot 12 \text{ V} = 3 \text{ V}$

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



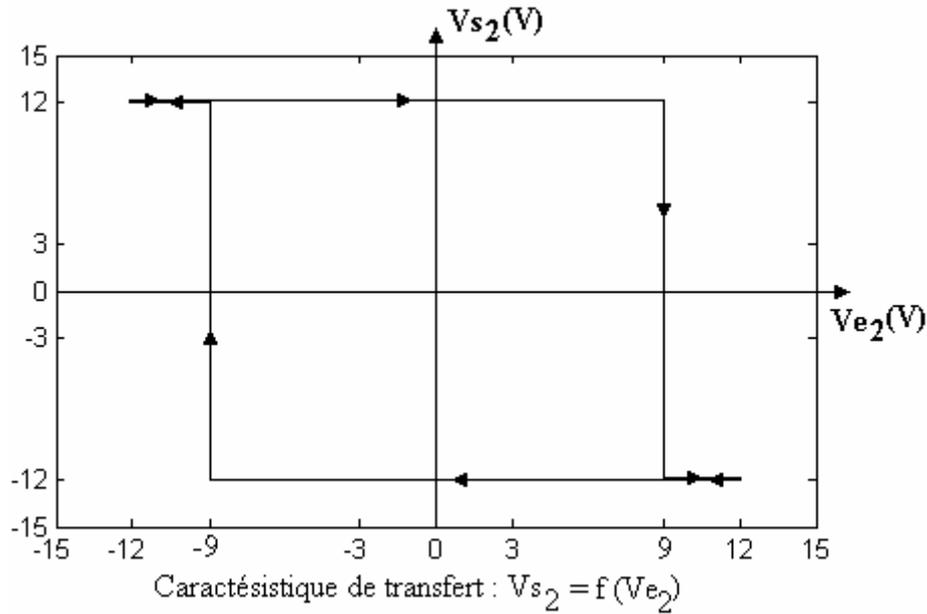
2.5 La largeur du cycle d'Hystérésis : $L = V_{HB} - V_{BH} = 3 + 3 = 6\text{V}$.

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^{ème} 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^{ème} ordre de fréquence de coupure $f_c = \omega_0/2\pi$.

Exercice n°16

1.

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

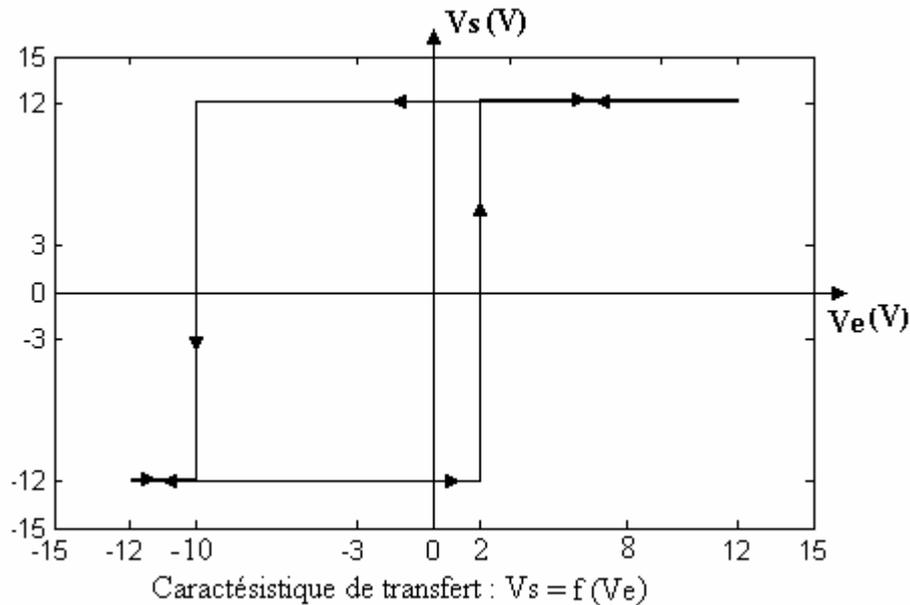
$$1.2 \quad V_e = V_{BH} = 2V$$

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

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

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

1.4

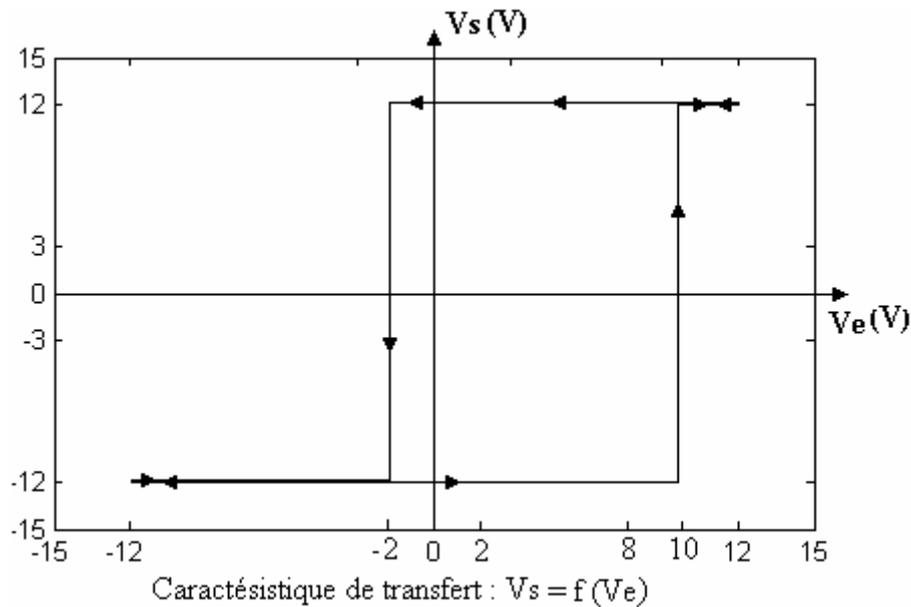


$$1.5 \quad \text{La largeur du cycle d'Hystérésis : } L = V_{BH} - V_{HB} = 2 + 10 = 12V.$$

2.

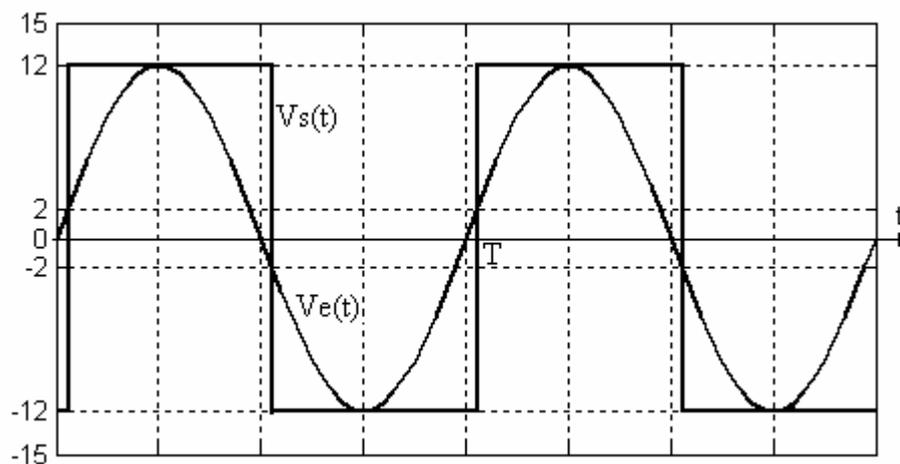
$$2.1 \quad V_{BH} = \frac{R_1}{R_2} V_{sat} - V_0 = 6 + 4 = 10 \text{ V}$$

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



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

3.1



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

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: $v = s T + Cste = a T + b$.

$a = s$; $b = v_0 - sT_0$. 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/ α 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

$$e^+ = V_e$$

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

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 :

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

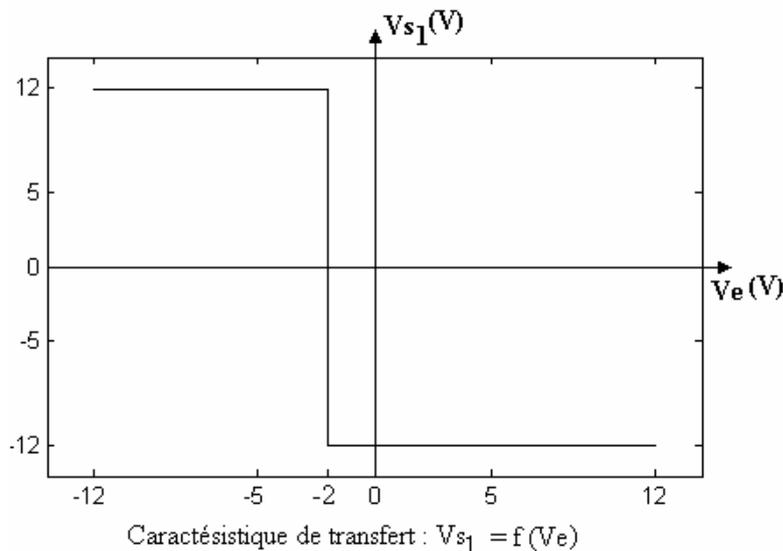
$$R_2 = \frac{G'_V - \left(1 + \frac{R}{R'} + \frac{R}{R_1}\right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{R}{R_1 R'}} \approx 18 \text{ K}\Omega$$

$R_2 = 18 \text{ K}\Omega \ll 50 \text{ K}\Omega \Rightarrow$ 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.

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

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

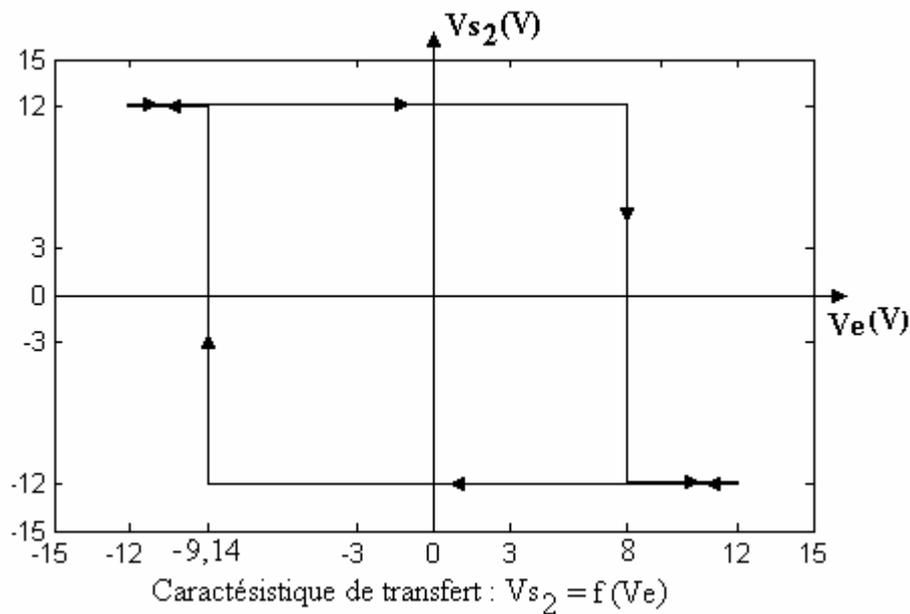
Basculement de V_s de de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$ pour :

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

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

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

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" 2nd Edition Wiley 2002.
- 17- P. Mayé, « Composants électroniques », Dunod , 3^{ème} edition, 2005.

