

Travaux dirigés d'Electronique
Licence Physique et Applications 2^{eme} année, semestre 4
année 2006-2007

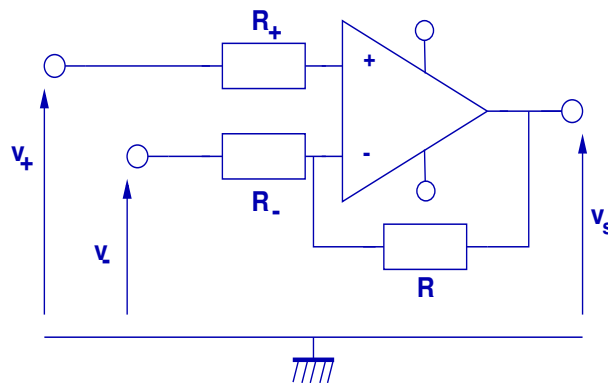
Jérôme Baudot

Amplificateurs Opérationnels

1 Montages indépendants de la fréquence

Exercice 1.1 Equilibrage d'un amplificateur de différence

i) Calculer la caractéristique du montage $v_s^{ideal} = f(v_+, v_-)$ dans l'hypothèse d'un AO idéal en régime linéaire.

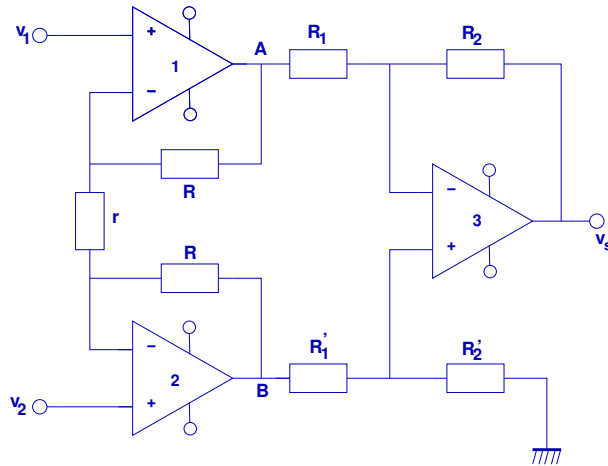


ii) On complète le modèle de l'AO avec deux courants i_+, i_- non nuls circulants dans les entrées + et -. Recalculer v_s et en déduire l'écart au cas idéal $\Delta v_s = v_s - v_s^{ideal}$ en fonction du courant de polarisation $I_p = \frac{i_+ + i_-}{2}$ et du courant de décalage $I_d = i_+ - i_-$.

iii) Montrer qu'il est possible d'annuler l'écart lié à I_p par un choix judicieux de la résistance R_+ .

Exercice 1.2 Amplificateur d'instrumentation

On étudie avec ce montage une possibilité pour limiter les problèmes liés aux variations des valeurs de résistance.



i) Que valent les résistances d'entrée du montage ?

ii) Calculez v_s en fonction de v_1 et v_2 dans le cas où $R = R'$, $R_1 = R'_1$ et $R_2 = R'_2$. On pourra commencer par calculer v_A et v_B . Quelle est la fonction réalisée ? Déterminez dans le plan (v_1, v_2) le domaine de linéarité de l'amplificateur.

iii) Quels sont les rôles respectifs des AO 1, 2 et 3 ?

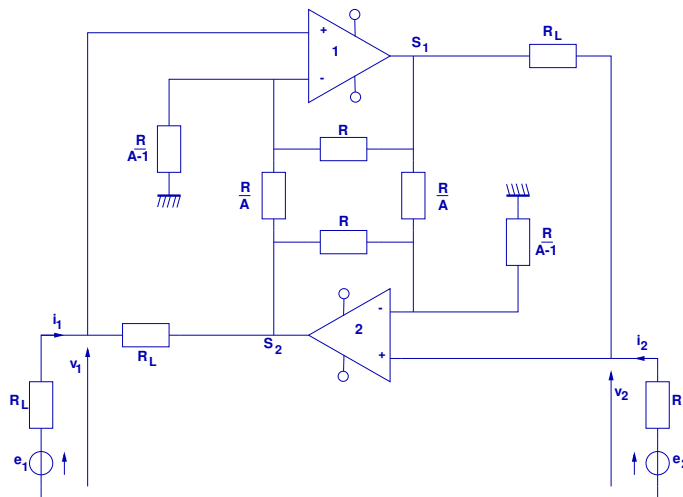
iv) La fonction est-elle toujours la même si $R' \neq R$?

v) On considère maintenant un cas réel où :

$$\begin{aligned} R/r &= b, & R'/r &= b' = b(1 + \delta'), \\ R_2/R_1 &= a, & R'_2/R'_1 &= a' = a(1 + \delta), \end{aligned}$$

avec $\delta, \delta' \ll 1$. Calculez alors v_s en faisant apparaître $v_2 - v_1$ et $v_2 + v_1$. Estimez le gain différentiel et le gain de mode commun et enfin le rapport de rejetion du mode commun.

Exercice 1.3 Amplificateur bidirectionnel



i) Ecrire la loi des noeuds en v_1, v_2, e_1^- et e_2^- .

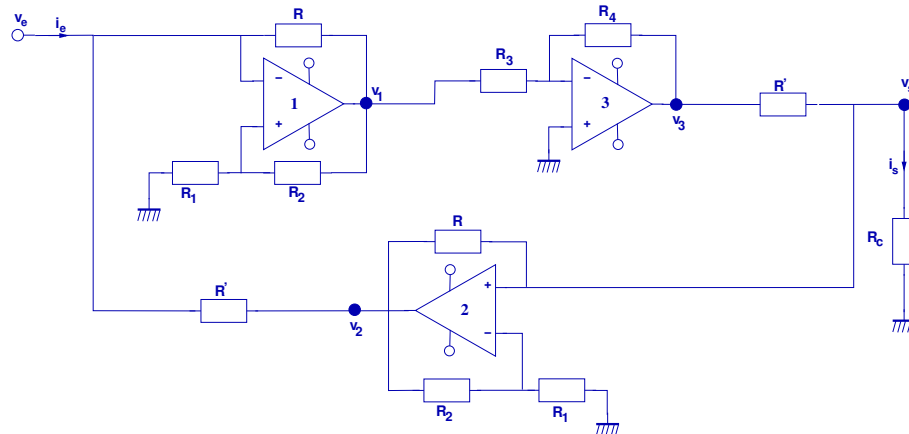
ii) Ecrire l'équation des deux sources. En déduire une relation matricielle du type :

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = M \times \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \end{pmatrix}$$

iii) Donner les caractéristiques du montage pour $e_1 = 0$ d'une part et $e_2 = 0$ d'autre part.

Exercice 1.4 Gyrateur d'impédance

Le circuit suivant a objectif de réaliser la caractéristique suivante $\frac{v_s}{v_e} = \alpha \frac{1}{R_c}$. Le circuit sera étudié en premier lieu par morceau, en effet les montages des amplificateurs 1 et 2 correspondent au mme bloc fonctionnelle et l'amplificateur 3 à un autre. Les résistances R' sont en dehors de ces blocs, elles les relient entre eux dans le montage final. On donne $R_1 = k \times R_2$, $R_4 = l \times R_3$ et $R' = R$. Les amplificateur opérationnelles sont considérés comme idéaux.



i) Bloc 1 (AOP 1 et 2) Démontrer qu'en régime linéaire, $\frac{v}{i} = -k \times R$. Exprimez la tension de sortie v_1 en fonction de v et k . Quelle est la condition pour que l'amplificateur opérationnelle ne sature pas ? Que devient la caractéristique v/i en saturation ?

ii) Bloc 1 (AOP 3) Quelle est la fonction réalisée par ce circuit en régime linéaire? Quelle est la condition sur v_1 pour que le régime linéaire reste valide?

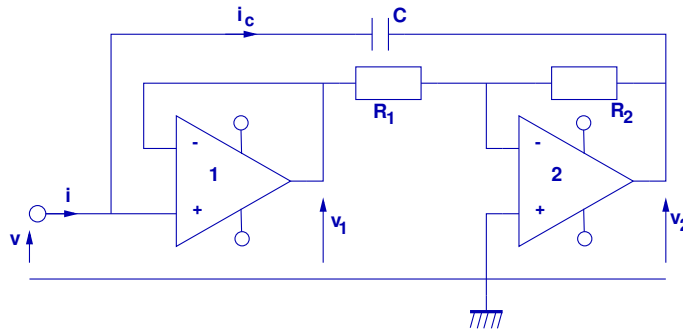
iii) Montage global Redessinez le montage en remplaçant les amplificateur opérationnelles par un circuit équivalent suivant les résultats des deux questions précédentes. Exprimez alors :

- v_1 en fonction de v_e et v_2 en fonction de v_s ,
- v_2 en fonction de v_e et i_e ,
- v_3 en fonction de v_1 ,
- v_s en fonction de v_3 .

A partir des cinq équations obtenues, déterminer les cinq tensions inconnues en supposant i_e donnée. Calculez alors v_e en fonction de i_e et vérifiez que le circuit réalise la fonction voulue. Que vaut α ?

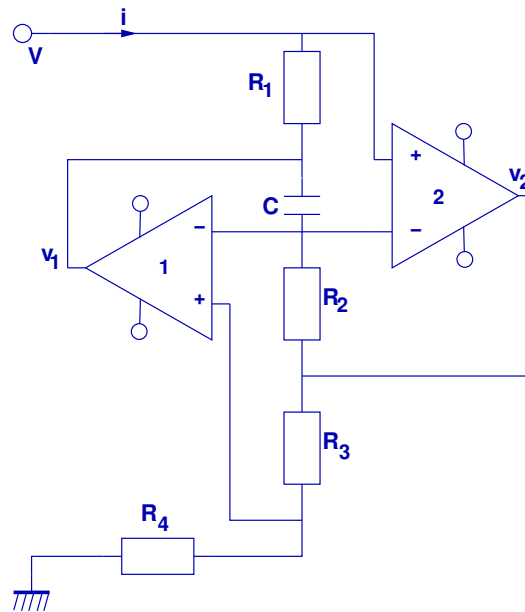
2 Montages dépendants de la fréquence

Exercice 2.1 Simulation d'une capacité



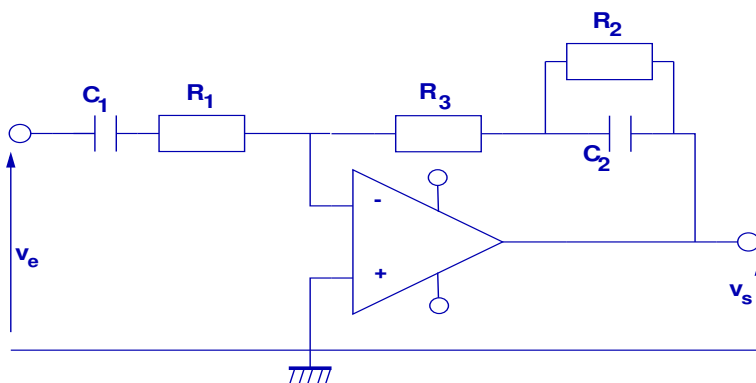
- i) Démontrer que $\frac{v}{i} = \frac{1}{j\omega C_{eq}}$, calculer C_{eq} .
- ii) Quel est le rôle respectif des AO 1 et 2 ?

Exercice 2.2 Simulation d'une inductance



Démontrer que $\frac{v}{i}$, correspond à l'impédance d'une inductance dont vous préciserez la valeur.

Exercice 2.3 Filtre 1

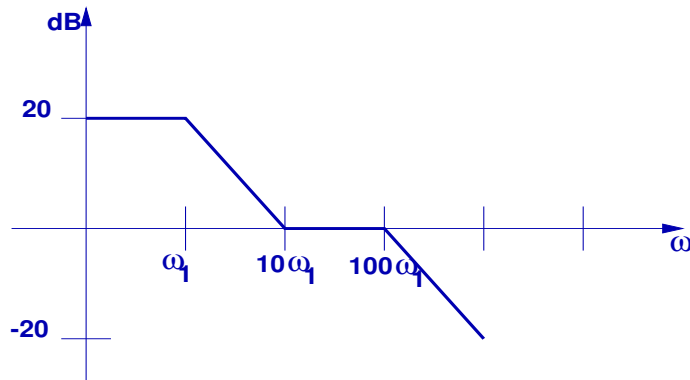


i) Déterminer la réponse harmonique du filtre.

ii) Dans le cas $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 90\text{ k}\Omega$, $R_3 = 10\text{ k}\Omega$, $C_1 = 1,6\text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = 1,8\text{ nF}$ représenter le diagramme de Bode.

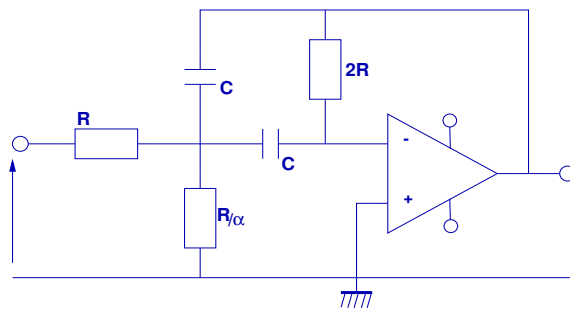
iii) Dans le cas $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 90\text{ k}\Omega$, $R_3 = 10\text{ k}\Omega$, $C_1 = 16\text{ nF}$, $C_2 = 18\text{ nF}$ représenter le diagramme de Bode.

Exercice 2.4 Filtre 2



Proposer un montage à un AO qui correspondent à ce diagramme de Bode.

Exercice 2.5 Filtre 3



Déterminer la réponse harmonique du filtre. De quel type de filtre s'agit-il ?

Exercice 2.6 Filtre 4

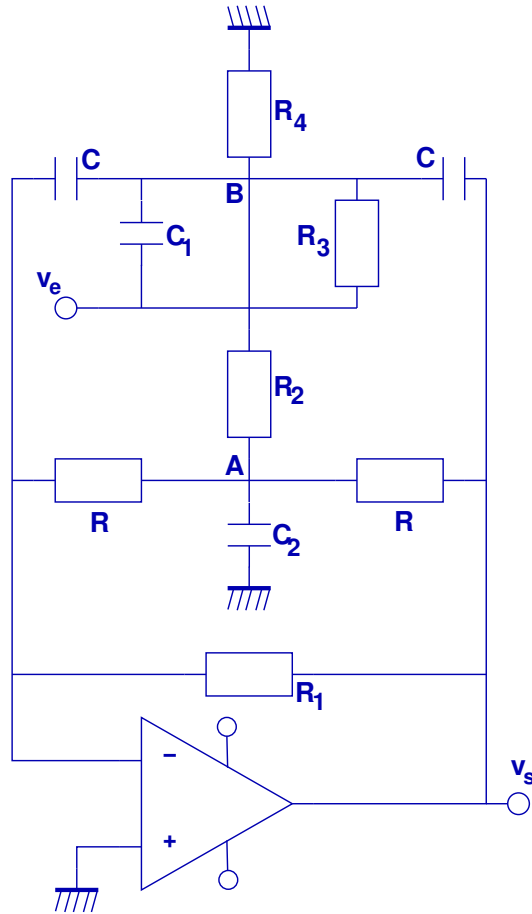
On donne $R_1 = \frac{R}{\alpha}$, $R_2 = \frac{R}{\beta + \delta - 2}$, $R_3 = \frac{R}{\delta}$, $R_4 = \frac{R}{\beta}$, $C_1 = \gamma C$ et $C_2 = (\gamma + 2)C$, où $\alpha, \beta, \gamma, \delta > 0$ et $\beta + \delta > 2$.

i) Déterminer la réponse harmonique du filtre. De quel type de filtre s'agit-il ?

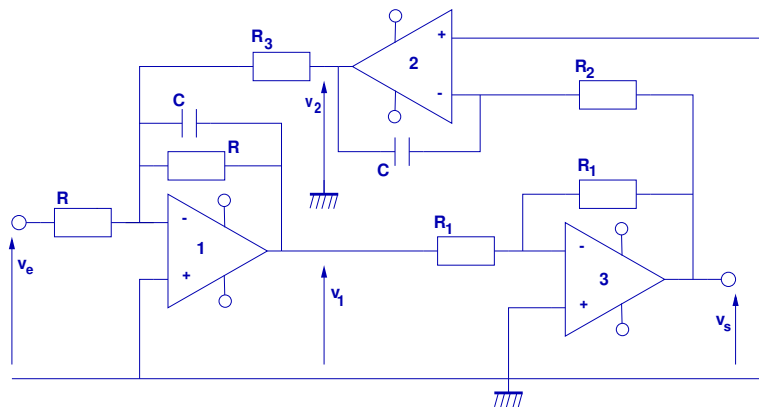
ii) On cherche à obtenir le filtre de réponse suivante :

$$H(j\omega) = -\frac{1 + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + \frac{j\omega}{Q\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

avec $\omega_0 = 6660\text{ s}^{-1}$ et $Q=10$. Déterminez les valeurs de $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ et de RC .



Exercice 2.7 Filtre 5



- i) Les trois amplificateurs opérationnels (AO) sont supposés idéaux et en régime linéaire dans tous le problème. Que peut-on dire de l'état des trois entrées inverseuses (tension, courant) ?
- ii) Trouver pour chaque AO, une relation entre les tensions d'entrées et de sorties : relation (1) entre v_e , v_1 et v_2 , relation (2) entre v_s et v_2 et relation (3) entre v_1 et v_s .
Donner le type de montage utilisé pour chaque AO (pour l'AO 1, on pourra considérer, juste pour répondre à cette question, $v_2 = 0$).
- iii) En utilisant les relations (1), (2) et (3), obtenir la fonction de transfert harmonique du montage complet :
$$H(j\omega) = \frac{v_s}{v_e}$$

Montrer que H peut se mettre sous la forme :

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + jQ(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)}$$

donner l'expression de Q et de ω_0 .

iv) Calculer la pulsation ω_M pour laquelle le gain $G(\omega) = 20 \log H$ est maximum. On cherche ensuite à calculer les pulsations de coupures telles que $G(\omega) = -3\text{dB}$. Montrer que cette condition conduit à deux équations du second degré pour lesquelles seule une solution de chacune est physique. On notera ces deux solutions ω_1, ω_2 et on définira $\Delta_\omega = \omega_2 - \omega_1$. Que vaut Δ_ω ?

v) **Première application numérique :** $R = 18\text{k}\Omega, R_2 = 3,3\text{k}\Omega, R_3 = 1\text{k}\Omega, C = 10\text{nF}$. Calculer ω_M et $\frac{\omega_M}{\Delta_\omega}$.

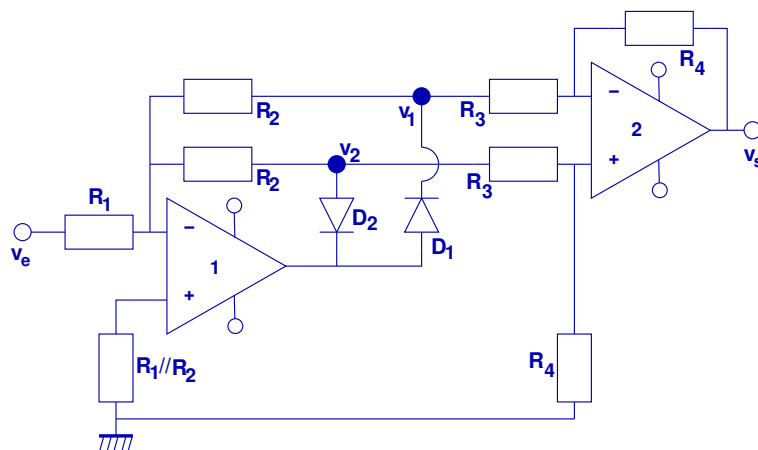
Tracer les asymptotes du diagramme de Bode pour ce filtre et représenter grossièrement la position de la courbe du gain sur le diagramme. Quelle est la fonction de ce filtre ?

vi) **Deuxième application numérique :** $R = 1,8\text{k}\Omega, R_2 = 3,3\text{k}\Omega, R_3 = 1\text{k}\Omega, C = 100\text{nF}$. Calculer ω_M et $\frac{\omega_M}{\Delta_\omega}$. Tracer les asymptotes du diagramme de Bode pour ce filtre et représenter grossièrement la position de la courbe du gain sur le diagramme. Comparer les performances de ce second circuit par rapport à celui de la question précédente. Comment peut-on appeler le facteur Q ?

3 Redresseurs

Exercice 3.1 Redresseur double alternance

Les diodes D_1 et D_2 sont considérées comme idéales avec une tension seuil $v_\gamma = 0,7\text{ V}$. Les amplificateur opérationnelles sont idéaux.

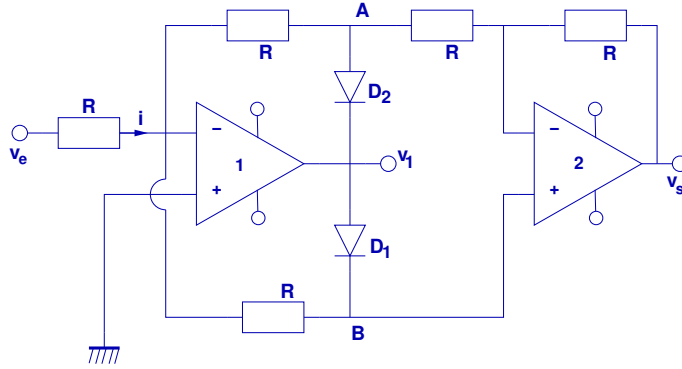


i) Analysez le montage en deux montages séparés autour des amplificateur opérationnelles 1 et 2. Pour l'amplificateur 1, vous pourrez considérer qu'une seule diode est passante.

ii) Est-il possible que les deux diodes soit simultanément passantes ? Donnez alors, v_s pour chaque alternance (positive et négative) de v_e . Quelle est la fonction réalisée ?

Exercice 3.2 Redresseur double alternance, deuxième version

Les diodes D_1 et D_2 sont considérées comme idéales avec une tension seuil $v_\gamma = 0,7\text{ V}$. Les amplificateur opérationnelles sont idéaux.

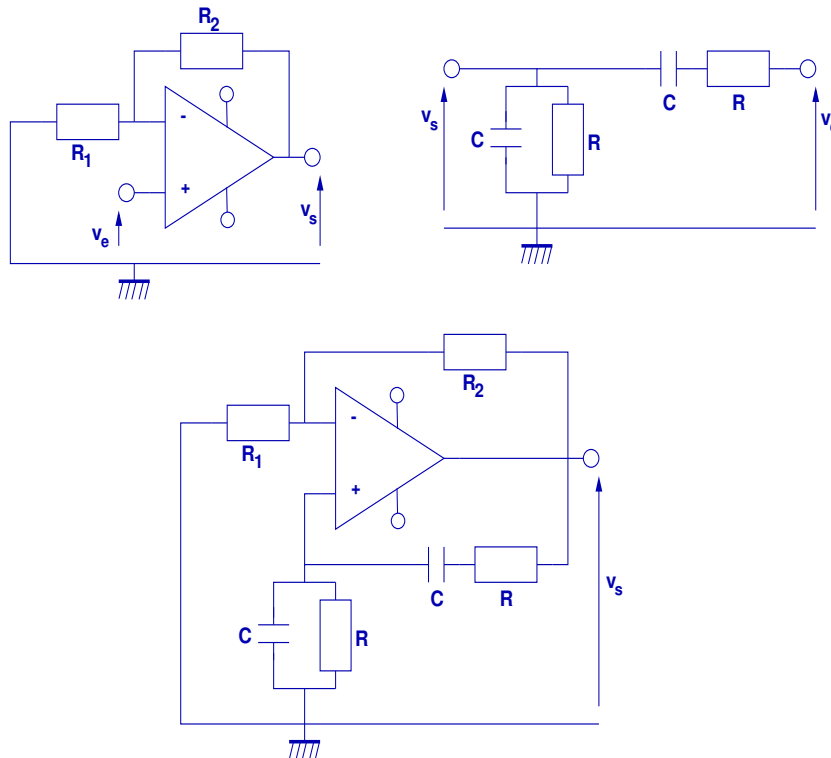


- i) Dans l'hypothèse où D_1 est passante et D_2 est bloquée, exprimez v_s en fonction de v_e . Vous pourrez utilement calculer dans un premier temps, v_1 , v_A et v_B . Précisez le sens du courant dans le circuit. Enfin, quelle est la condition sur v_e pour que l'hypothèse soit correcte.
- ii) Reprenez les mêmes questions que précédemment dans l'hypothèse où D_1 est bloquée et D_2 est passante.
- iii) Concluez sur l'utilité du circuit par un diagramme de v_s et v_e (sinusoïdale) en fonction du temps.

4 Oscillateurs

Exercice 4.1 Oscillateur à relaxation

Exercice 4.2 Oscillateur à pont de Wien



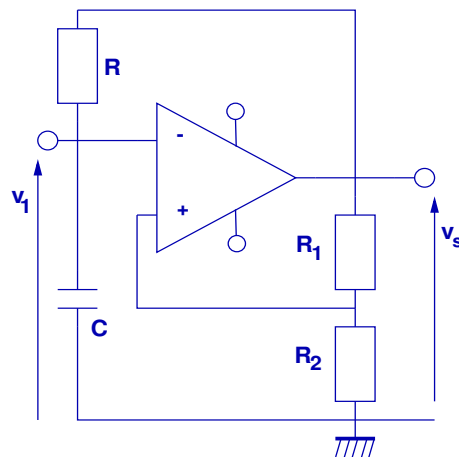
- i) Déterminer les fonctions de transfert des deux montages seuls, amplificateur à AO et pont de Wien. En déduire la fonction de transfert du montage globale et donner les conditions d'oscillation.
- ii) Retrouver les mêmes conditions en faisant une analyse temporelle (équation différentielle) du montage.
- iii) Pour stabiliser l'oscillateur, la résistance R_1 est remplacée par une résistance variable en fonction de la valeur efficace de la tension de sortie du pont de Wien. Déterminer le sens de variation (croissant ou décroissant) et expliquer comment l'oscillateur fonctionne.

5 Montages non-linéaires

Exercice 5.1 Bascules bi-stables

Déterminer la caractéristique v_s en fonction de v_e (faire un graphique) pour les bascules non-inverseuse et inverseuse données en cours.

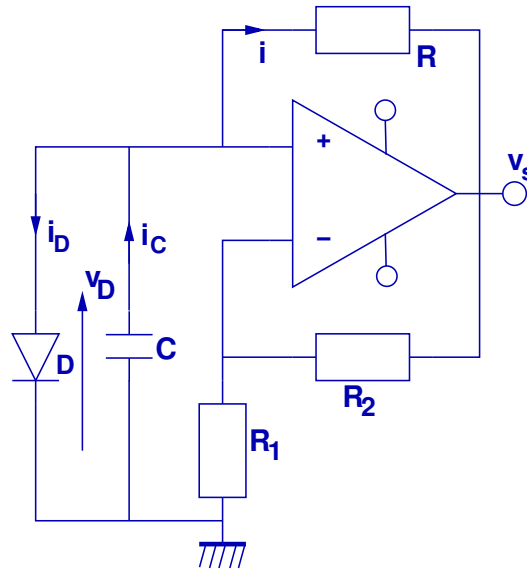
Exercice 5.2 Bascule astable



- i) Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $v_1(t)$ en fonction de v_s , R et C .
- ii) On suppose qu'à $t = 0$, $v_1 = 0$ et $v_s = +V_{cc}$ (l'AO est saturé positivement). Donner l'évolution de $v_1(t)$. Calculer le temps $t = t_0$ et la tension $v_1 = v_1^-$ pour laquelle il y a basculement vers $v_s = -V_{cc}$.
- iii) A partir du basculement vers $-V_{cc}$ (saturation négative) donner l'évolution de $v_1(t)$. Quelle est la période T des oscillations entre $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$? Faire un graphique représentant simultanément l'évolution de v_1 et de v_s .

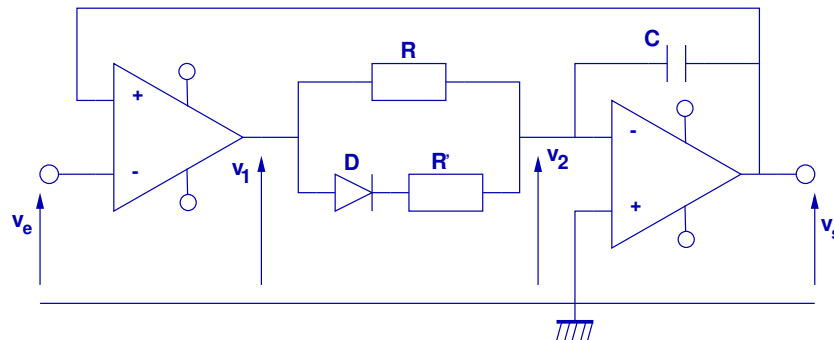
Exercice 5.3 Bascules mono-stables

On considère que la diode D est idéale avec une tension de seuil nulle. L'amplificateur opérationnelle est également idéal.



- i) On se place dans les conditions de saturation positive de l'amplificateur opérationnelle à $t = 0$. Déterminez l'état de la diode. Que vaut v_D en fonction du temps ? L'état est-il stable ?
- ii) On se place maintenant dans les conditions de saturation négative de l'amplificateur opérationnelle à $t = 0$. Déterminez l'état de la diode. Que vaut v_D en fonction du temps ? L'état est-il stable ?
- iii) A $t = 0$, la saturation est positive. A $t = t_1$, une impulsion négative sur l'entrée non-inverseuse de l'amplificateur opérationnelle est réalisée. Que se passe-t-il pour la sortie v_s . Dessinez l'évolution de v_s et v_D en fonction du temps. Quelle est la fonction réalisée ?

Exercice 5.4 Bascule



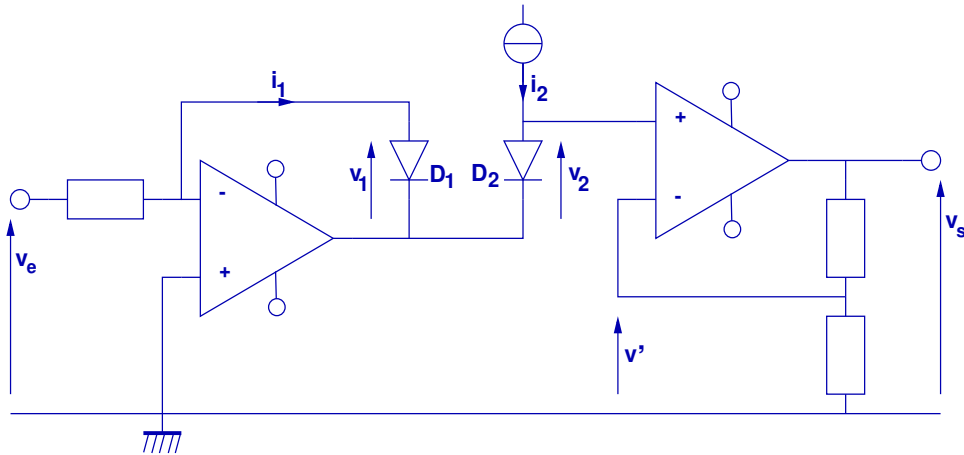
- i) Les deux amplificateurs opérationnels (AO) sont supposés idéaux dans tous le problème. Quel type de montage est associé à chacun des AO ? Dans quel régime fonctionne-t'il ?
- ii) Donner la valeur de v_1 dans différentes configurations ($v_e < v_s$, $v_e > v_s$). La tension d'alimentation des AO est $\pm V_{cc}$. Quand y-a-t'il basculement d'une valeur vers l'autre ?
- iii) Pour les deux cas diode D passante et bloquée, établir l'équation différentielle entre $v_s(t)$ et v_1 .
- iv) On suppose que $v_e = -V < 0$. A $t = 0$ $v_s = +V$, donner l'évolution de $v_s(t)$ (V est une contante positive). Expliquer à quelle condition on pourra considérer que $v_s = -V$ est une valeur de sortie stable (atteinte au temps $t = t_-$).
- v) On suppose maintenant que $v_e = +V > 0$. A $t = t_-$ $v_s = -V$, donner l'évolution de $v_s(t)$. Définir un temps caractéristique t_+ .
A quoi correspond la condition de la question précédente par rapport à t_- et t_+ ?

vi) Tracer la réponse en tension v_s du circuit à un signal créneau v_e de période T variant entre $\pm V$, suivant deux cas : $t_- \approx t_+ \ll T$ et $t_- = t_+ \gg T$.

Quelle est la fonction réalisée par ce circuit ?

vii) Jusqu'alors les niveaux maximum de v_e et v_s sont égaux. On souhaite que v_s évolue entre $\pm V_0$, avec $V_0 \neq V$. Pour se faire on remplace l'étage d'entrée du montage par un amplificateur non-inverseur (utilisant deux résistances R_1 et R_2) avec un amplificateur opérationnelle. Quelle doit être la relation entre R_1, R_2, V et V_0 ? Comment sont modifié les temps t_- et t_+ ?

Exercice 5.5 Amplificateur logarithmique



i) En supposant les deux AO en régime linéaire, déterminer si les diodes D_1 et D_2 sont passantes ou bloquées. Donner alors l'expression du courant qui les traverse respectivement i_1 et i_2 .

ii) A partir des formules des courants exprimer v_s en fonction de v_e . Quelle différence observe-t'on pour cet amplificateur par rapport à celui plus simple vu en cours ? Comment réduire l'influence de la variation de v_T avec la température ?