

AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS

I.AOP - APPLICATIONS LINEAIRES DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL \Rightarrow

1- INIC

(Extrait de l'examen de Janvier 1995)

La Figure I-1 donne le schéma électrique d'un « Convertisseur d'Impédance Négative » (NIC), **application linéaire** de l'amplificateur opérationnel. On se propose de calculer la résistance d'entrée du montage dans le cas où l'amplificateur opérationnel possède une **résistance d'entrée infinie** et un **gain en tension A** fini.

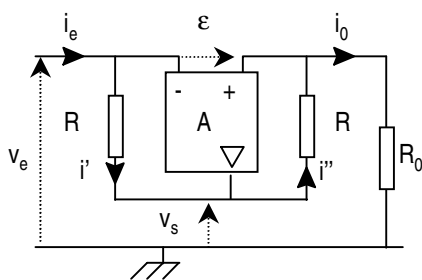


Figure I-1

- 1) Que valent i' et i'' en fonction de i_e et i_o ?
- 2) Ecrire v_s en fonction uniquement de R , R_0 et i_o . De là, donner l'expression de ε en fonction de i_o , R , R_0 et A .
- 3) En suivant deux mailles différentes, donner deux expressions de v_e en fonction de i_e , ε , i_o et des résistances, puis remplacer ε par son expression déjà trouvée.
- 4) En éliminant i_o dans le système précédent, donner la résistance d'entrée R_e du NIC.
- 5) Vers quelle valeur tend-elle lorsque le gain A tend vers l'infini ? \otimes

2- Amplificateur de courant à AOp

(Extrait du contrôle du 10 Novembre 1995)

Les AOp utilisés seront supposés idéaux ($R_e = \infty$, $A = \infty$).

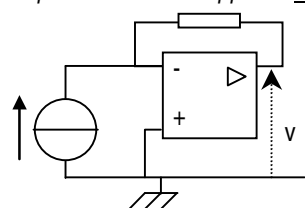


Figure I-2

2a) Circuit 1

On considère le montage représenté sur la Figure I-2 (circuit 1), attaqué par un générateur de courant i parfait.

- 1) Ecrire v en fonction de i .
- 2) Quelle est la fonction réalisée ?

2b) Circuit 2

On construit le montage de la Figure I-3 (circuit 2).

On s'intéresse au courant de sortie i_u récupéré dans la résistance de charge R_u .

- 1) Quelle relation simple lie i_1 et i_2 ?
- 2) Donner les expressions de i_e et i_o en fonction de i_1 , i_2 et i_u .
- 3) Trouver une expression de i_e qui fait apparaître v et une expression de i_o qui fait apparaître V_0 .
- 4) A l'aide des relations exprimées au II.2b et II.2c, écrire i_u en fonction de v , V_0 et des résistances du montage. Comment R' intervient-elle ?
- 5) Quelle est l'influence de R sur le courant de sortie i_u ? Comment se comporte donc la sortie du montage ?

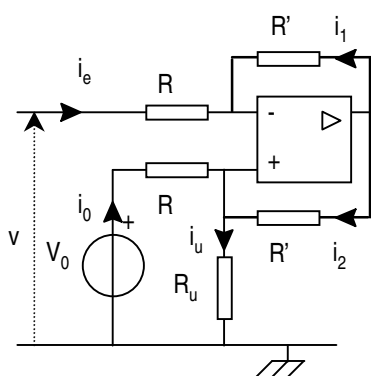


Figure I-3

2c) Circuits cascades

Dans le circuit de la Figure I-3, on fait en sorte que $V_0 = 0$.

- 1) Ecrire i_u en fonction de v .
- 2) On fait suivre le circuit 1 par le circuit 2 en prenant $R_0 = kR$ ($k > 1$). Qu'avons-nous réalisé ? \otimes

3- Etude d'un filtre actif

(Extrait du contrôle du 8 Juin 1994)

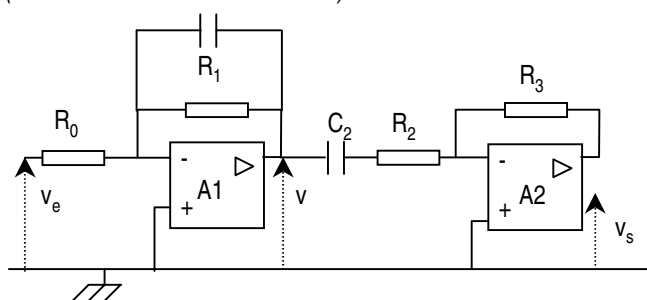


Figure I-4

On construit un filtre actif représenté sur la Figure I-4.

- 1) Donner la fonction de transfert du filtre construit autour de l'amplificateur opérationnel idéal A1. En déduire l'allure du diagramme de Bode correspondant.
- 2) Mêmes questions concernant le filtre construit autour de l'amplificateur opérationnel idéal A2.
- 3) Donner la fonction de transfert du filtre global.
- 4) Donner l'allure du diagramme de Bode (gain et phase avec les valeurs caractéristiques) lorsque la pulsation de coupure du premier filtre est 10 fois supérieure à celle du second.
- 5) Même question que la précédente si le rapport des pulsations de coupure est inversé. \otimes

II.AOP - GENERATEUR DE SIGNAUX TRIANGULAIRES ⇒

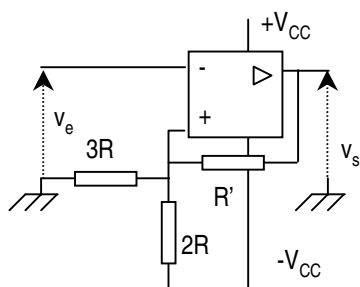


Figure II-1

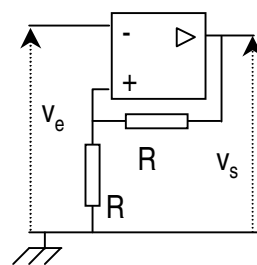


Figure II-2

1- Comparateur à hystérésis non symétrique

On propose le montage de la Figure II-1 où l' amplificateur opérationnel est supposé idéal, avec $V_{sat+} = +V_{cc}$ et $V_{sat-} = -V_{cc}$

- 1) De quel type d' application de l' AOP s' agit
 - 2) Simplifier le schéma électrique sur l' entrée +.
 - 3) Exprimer la tension V_+ sur l' entrée +.en fonction de V_e et V_s .
 - 4) Calculer les deux valeurs possibles de cette tension (V_{T+} et V_{T-}).
 - 5) Calculer la largeur du cycle d' hystérésis $\Delta V = V_{T+} - V_{T-}$.
- Quelle valeur doit-on donner à R' pour que $\Delta V = 2/5 V_{cc}$?
- 6) Dans ce cas, calculer les seuils. Dessiner le cycle d' hystérésis en donnant le sens de parcours. Quel est le centre du cycle? Ⓡ

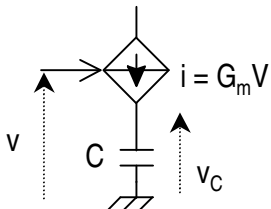


Figure II-3

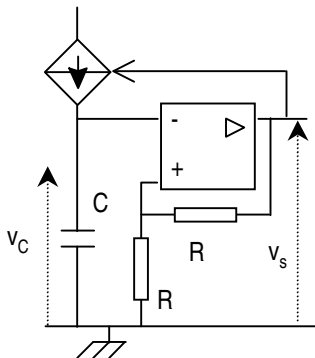


Figure II-4

2- Comparateur à hystérésis

Soit le comparateur à hystérésis simple de la Figure II-2. $V_{cc} = V_{SAT} = 15 V$

- 1) Donner les caractéristiques du cycle d' hystérésis (seuils, centre, largeur) et le dessiner.
- 2) Dessiner la tension de sortie lorsque le comparateur est attaqué par une tension triangulaire à valeur moyenne nulle, d' amplitude $10V$ et de période T .

3- Générateur de rampe

On crée un générateur de rampe à pente variable en chargeant un condensateur par un courant commandé en tension (cf schéma de la Figure II-3). A.N. : $G_m = 1/15 mS$; $C = 1 \mu F$

- 1) A partir de l'équation différentielle générale du circuit, exprimer $v_c(t)$ en fonction de $v(t)$.
- 2) Dans le cas où $v(t) = 0$ pour $t < 0$ et $v(t) = V_0 = c$ constante pour $t > 0$, préciser $v_c(t)$.

4- Oscillateur triangulaire

On assemble les montages du II.2- et II.3- selon le schéma de la Figure II-4.

- 1) Quelles sont les deux valeurs possibles du courant i ?
- 2) Expliquer qualitativement le fonctionnement du montage.
- 3) Quel est l' instant t de basculement de la sortie en supposant les conditions initiales suivantes : $v_c(0^+) = -V_{cc}/2$, $v_s(0^+) = V_{cc}$, $i(0^+) = I_0$.
- 4) AN : Dessiner v_s et v_c sur au moins une période ($2t_0$). Ⓡ

III.AOP – REPONSES D'UN FILTRE A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

(Extrait de l'examen de Juin 1993)

1- Etude temporelle

Dans la Figure III-1, l' amplificateur est idéal. Ses tensions de saturation sont $+15V$ et $-15 V$.

On donne : $R = 1 k\Omega$ et $C = 1 \mu F$.

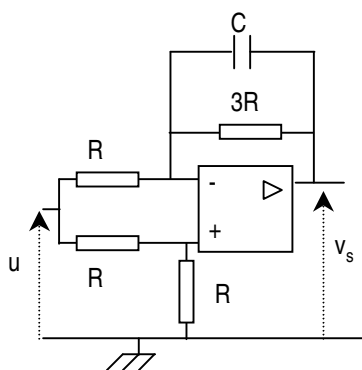



Figure III-1

- 1) La tension u est nulle et un régime permanent est atteint. Quelle est la valeur de v_s ?
- 2) A l' instant $t = 0$, u passe brusquement de 0 à $10 V$. Que devient instantanément v_s ?
- 3) u restant à $10 V$, quelle sera la valeur finale de $v_s(\infty)$ et quelle est la constante de temps de l' évolution ?
- 4) Représenter la forme $v_s(t)$.

2- Etude fréquentielle

On considère le même schéma que précédemment mais la tension u est maintenant sinusoïdale de pulsation ω .

- 1) Déterminer la fonction de transfert complexe $G = v_s/u$.
- 2) Représenter le diagramme de Bode de G . On se limitera à la représentation asymptotique du module, mais on précisera la valeur de l' argument ϕ en très hautes et très basses fréquences.
- 3) Expliquer comment ces résultats complètent ceux du I. 

IV.AOP - AMPLIFICATEUR TRANSCONDUCTANCE A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL 

(Contrôle de Novembre 1996)

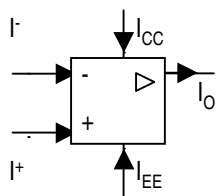


Figure IV-1

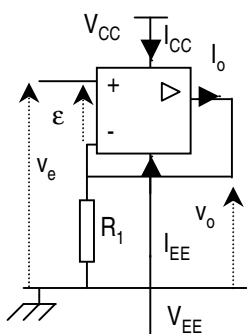


Figure IV-2

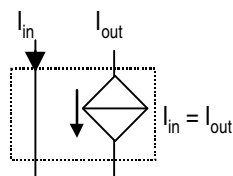


Figure IV-3

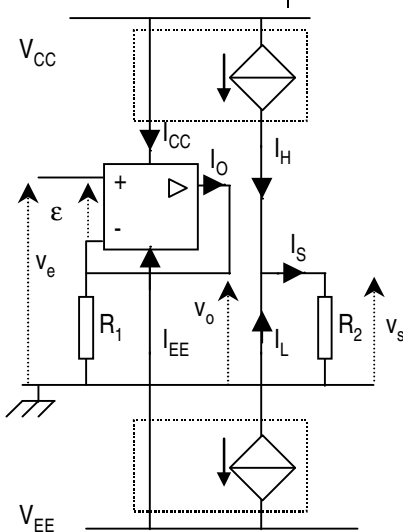


Figure IV-4

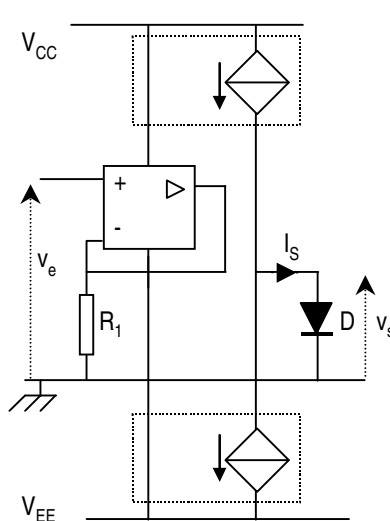


Figure IV-5

1- Préliminaire

Une fois n'est pas coutume, on s'intéresse aux courants d'alimentation d'un amplificateur opérationnel en fonctionnement linéaire, qu'on appellera i_{cc} et i_{EE} (Figure IV-1).

On appelle I_+ et I_- les courants qui circulent dans les entrées de l'amplificateur opérationnel, et I_o son courant de sortie.

- 1) Ecrire la relation qui lie i_o à i_{cc} , i_{EE} , I_+ , et I_- .
- 2) On possède un amplificateur opérationnel pour lequel on peut considérer sa **résistance d'entrée infinie**. Qu'impose cette condition et comment la relation précédente se simplifie-t-elle ?

2- Amplificateur opérationnel


L'amplificateur opérationnel précédent (avec une résistance d'entrée infinie), possède un gain en tension **non infini** $A = V_o/\epsilon$. Il est utilisé dans le circuit de sur la Figure IV-2.

- 1) Ecrire V_o en fonction de V_e . Quel est ce type de montage ?
- 2) En déduire l'expression de i_o en fonction de V_e et R_1 .
- 3) En combinant cette expression à la relation trouvée au IV.1-, écrire la relation qui lie V_e à i_{cc} et i_{EE} .
- 4) Que deviennent les expressions précédentes lorsque $A \rightarrow \infty$?

3- Miroirs de courants

On dispose en outre de quadripôles qui se comportent comme un court-circuit en entrée et comme un générateur de courant parfait en sortie dont la valeur est celle du courant d'entrée. Un tel «miroir de courant» est représenté sur la Figure IV-3.

Les entrées de deux miroirs de courant sont insérées entre les lignes d'alimentation V_{CC} et V_{EE} et les broches d'alimentation de l'amplificateur opérationnel du montage précédent, ainsi que le représente la Figure IV-4. Les sorties des miroirs sont connectées à une résistance R_2 qui va à la masse.


- 1) Que valent I_1 et I_2 ?
- 2) Ecrire I_s en fonction de i_{cc} et i_{EE} , puis de V_e en utilisant la relation du IV.2-.
- 3) En déduire l'expression de V_s/V_e .
- 4) Que devient cette expression lorsque A tend vers l'infini? 

4- Bande passante

On supposera que les miroirs de courants ont une fréquence de coupure suffisamment élevée pour ne pas en tenir compte. Seul le gain de l'amplificateur opérationnel sera considéré comme dépendant de la fréquence selon

$$l'expression A(j\omega) = \frac{A_0}{1 + j\omega\tau_0}$$

- 1) A partir de la relation trouvée au IV.3-, écrire V_s/V_e de la forme : $\frac{V_s}{V_e}(j\omega) = \frac{K}{1 + j\omega\tau_c}$
- 2) Donner l'expression de la fréquence de coupure à -3 dB.
- 3) On calcule le produit gain bande $PGB = K f_c$. Quel résultat inhabituel obtient-on ?

- 4) Illustrer ce résultat en traçant le diagramme de Bode avec les valeurs numériques : $A_0 = 10^5$, $\tau_0 = 200$ msec, $R_1 = 1$ k Ω , $R_2 = 10$ k Ω puis 100 k Ω . 

5- Compresseur

On remplace dans le montage précédent la résistance R_2 par une diode D câblée comme sur la Figure IV-5.

On se placera dans le cas idéal où $I_s = V_e/R_1$.

- 1) Rappeler pour une diode la relation de Shockley approchée qui donne la caractéristique $I_{AK}(V_{AK})$ lorsque la diode est passante ($V_{AK} > 100 \text{ mV}$). On appellera I_{Dsat} le courant de saturation de la diode.
- 2) En supposant I_s toujours strictement positif, déduire de la relation précédente l' expression de V_s en fonction de I_s .
- 3) Ecrire V_s en fonction de V_e ($V_e > 0$). Quel type de compresseur venons-nous de construire ?
- 4) Dessiner la caractéristique $V_s(V_e)$ pour V_e compris entre $+100 \text{ mV}$ et $+10 \text{ V}$. (on prendra $I_{Dsat} = 10^{-15} \text{ A}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $U_T \approx 25 \text{ mV}$)

6- Compresseur 2 quadrants

- 1) Quelle (légère) modification proposer pour obtenir, à partir du compresseur précédent, un circuit qui fonctionne pour V_e positif et V_e négatif (excepté autour de $V_e = 0$) ?
- 2) Comment obtient-on sa caractéristique à partir de la précédente ?

V.AOP - ETUDE D' UN AMPLIFICATEUR A CONTRE-REACTION ⇒
Exemple de problème sur l' amplificateur opérationnel vu comme un quadripôle

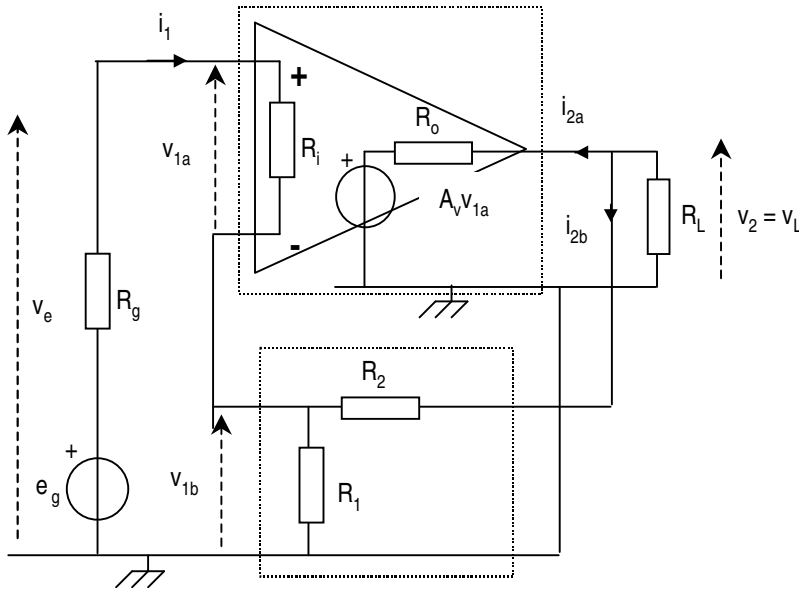


Figure V-1

On considère un amplificateur opérationnel à contre réaction (Figure V-1). La tension d' entrée attaque l' entrée noninverseuse. La tension de réaction attaque l' entrée inverseuse. Le gain en tension en boucle ouverte A_v de cet amplificateur, sa résistance d' entrée R_i et sa résistance de sortie R_o sont considérées comme finis. On travaille dans la bande passante de l' amplificateur.

- 1) Déterminer les paramètres pour les deux quadripôles (action et réaction) qui lient la tension d' entrée et le courant de sortie en fonction du courant d' entrée et de la tension de sortie (matrice Hybride).
- 2) En déduire les paramètres du quadripôle équivalent aux deux quadripôles utilisés dans ce type de contre-réaction.

- 3) En posant $v_e = e_g - R_g i_1$ et $v_L = -R_L i_L$, déterminer en fonction des paramètres h du quadripôle équivalent les expressions du gain en tension composite ($A_{vg} = v_L/e_g$), de la résistance d' entrée ($R = v_e/i_1$), de l' admittance de sortie vue par R ($1/R_s = i_s/v_s$ pour $e_g = 0$)
- 4) Exprimer ces grandeurs en fonction des éléments du montage
- 5) Que deviennent ces expressions si on prend en compte les approximations suivantes ?

$$R_i \gg \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} ; A_v \frac{R_i}{R_o} \gg \frac{R_1}{R_1 + R_2} ; \frac{1}{R_o} \gg \frac{1}{R_L} ; \frac{1}{R_o} \gg \frac{1}{R_1 + R_2}$$

- 6) Applications numériques pour : $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 99 \text{ k}\Omega$, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $R_i = 100 \text{ k}\Omega$, $R_o = 100 \Omega$, $A_v = 10^5$, $R_g = 20 \text{ k}\Omega$.

VI.AOP - FILTRE REJECTEUR DE BANDE ⇒

(Contrôle de Mai 1997)

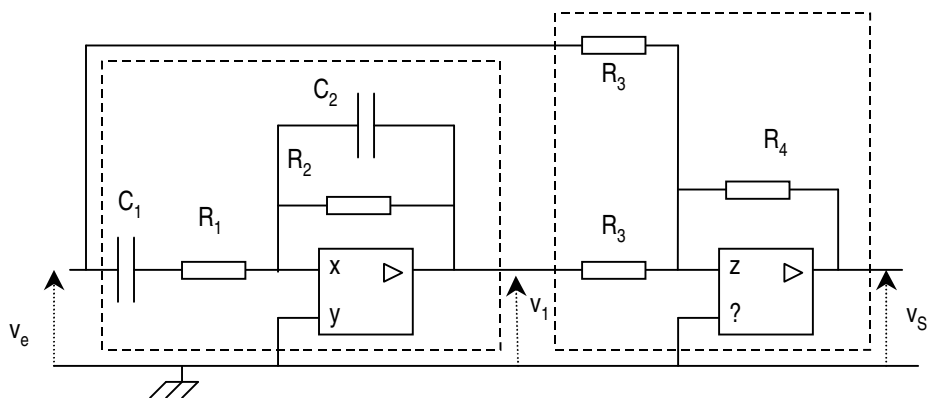


Figure VI-1

1- Introduction

Parmi tous les types de filtres, les filtres réjecteurs, ou coupe-bande (qui atténuent une certaine bande de fréquences), sont les plus pénibles à synthétiser (dans certains cas, c'est même impossible). On peut parfois contourner la difficulté en créant un filtre passe-bande simple et soustrayant le signal de sortie au signal d'entrée. C'est sur ce principe que le filtre à amplificateurs opérationnel de la Figure VI-1 est construit. Les amplificateurs opérationnels possèdent des caractéristiques supposées idéales.

- 1) Remplacer les signes x,y,z,? sur le schéma par les + et - correspondant aux entrées des amplificateurs opérationnels, sachant que l'on souhaite réaliser une application linéaire.
- 2) Identifier la fonction des sous-circuits matérialisés par les cadres en pointillés.

2- Filtre passe-bande

1) Ecrire la fonction de transfert complexe V_1/V_e sous la forme :

$$H_{BP} = K \frac{j\omega\tau_1}{1 + j\omega\tau_1} \frac{1}{1 + j\omega\tau_2}$$

3- Additionneur

- 1) Ecrire V_s en fonction de V_e et V_1 , puis en fonction de V_e uniquement.
- 2) Ordonner la fonction de transfert V_s/V_e sous la forme :

$$H_{BR} = A \frac{1 + j\omega\tau_A - \omega^2\tau_1\tau_2}{(1 + j\omega\tau_1)(1 + j\omega\tau_2)}$$

3) Vérifier que $|H_{BR}|$ est le même aux extrémités de bande ($\omega \rightarrow 0$ et $\omega \rightarrow \infty$)

4- Coupe-bande

- 1) Quelle relation doit-t-il exister entre K , τ_1 et τ_2 pour annuler le terme en $j\omega$?
- 2) Dans ce cas précis, il existe une pulsation ω_0 pour laquelle l'atténuation est infinie (autrement dit $H_{BR}(\omega_0) = 0$). Donner son expression en fonction de τ_1 et τ_2 .

5- Diagramme de Bode

- 1) Calculer la valeur de K qui répond à la condition du VI.4- pour $\tau_2 = 100\tau_1$ et $\tau_2 = \tau_1$.
 - 2) Tracer le diagramme de Bode du passe-bande (H_{BP}), amplitude et phase, dans les deux cas précédents, et marquer la position de ω_0 . Que remarque-t-on ?
- On prendra par exemple le couple (τ_1, τ_2) à (0.1 sec, 10 sec), puis (1 sec, 1 sec)

6- Exemple de coupe-bande

On se place dans le cas où $\tau_1 = \tau_2$, où K vérifie la condition VI.4- , et on prend $R_4 = R_3$.

- 1) Réécrire alors H_{BR} sous la forme : $H_{BR} = - \frac{1-x^2}{(1+jx)^2}$, en identifiant la variable réduite x .
- 2) Dans ce cas, donner le module de H_{BR} , et le tracer sur la même feuille qu'au VI.5-. On se contentera des points à $x = 0.1$, $x = 0.2$, $x = 0.5$, $x = 1$ (attention au piège), $x = 2$, $x = 5$, $x = 10$.
- 3) Relever graphiquement la bande coupée à -3 dB.

VII.AOP - REDRESSEUR PARFAIT

(extrait du contrôle de Janvier 1997 post-corrigé par M Jérôme ROUSSEL, IUP1 1999-2000)

Dans tout le problème, les amplificateurs seront supposés idéaux ($A \rightarrow \infty$, $R_e \rightarrow \infty$, $R_s = 0 \Omega$, $|V_{SAT}| = |V_{CC}|$). Les diodes D seront modélisées par un générateur de tension équivalent au seuil et une résistance série ($R_D \approx 50 \Omega$) dans leur zone passante, et comme un circuit ouvert lorsqu'elle sont bloquées.

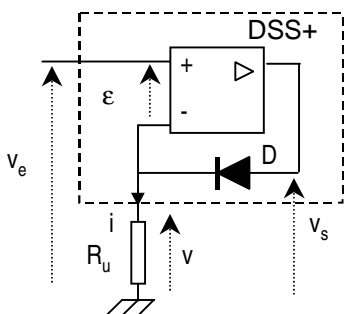


Figure VII-1

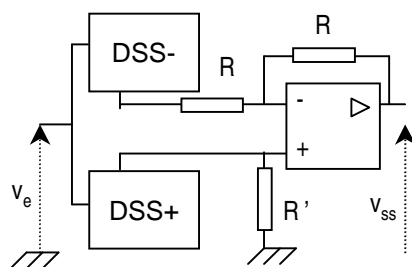


Figure VII-2

1- « Diode sans seuil »

Une « diode sans seuil » (DSS+) peut être simulée par le circuit simple de la Figure VII-1.

- 1) La diode D est une diode au silicium. Quelle est approximativement sa tension de seuil ?
- 2) Montrer que le signe de v_e détermine à la fois la zone de fonctionnement de la diode (bloquée ou passante), et le mode fonctionnement de l'amplificateur opérationnel (linéaire ou en saturation).
- 3) Dessiner le circuit équivalent selon que v_e est positif ou négatif. Calculer v et v_s en régime linéaire de l'AOp. ainsi que i et v_s lorsque l'AOp. est saturé.
- 4) Représenter v et v_s lorsque $v_e = V_e \sin(\omega t)$, avec $V_e = 10 V$. (On prendra $\pm V_{CC} = \pm 15 V$)
- 5) Commenter la forme de v . Comment réaliser une « diode sans seuil » (DSS-) qui redresserait l'autre alternance de v_e ?

2- Redresseur parfait

On câble une « DSS+ » et une « DSS- » comme l'indique la Figure VII-2. L'amplificateur opérationnel supplémentaire fonctionne toujours en régime linéaire.

- 1) Dessiner le schéma correspondant au cas $v_e > 0$ et calculer v_{ss} .
- 2) Dessiner le schéma correspondant au cas $v_e < 0$ et calculer v_{ss} .
- 3) Quelle est la fonction mathématique réalisée par ce circuit.
- 3) Tracer la caractéristique de transfert statique ainsi que v_{ss} lorsque $v_e = V_e \sin(\omega t)$