Ampli' op' et diodes à seuil.

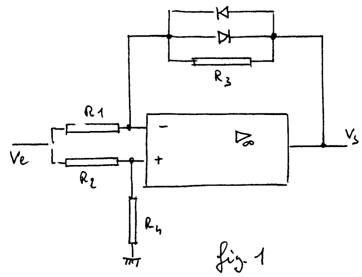


fig 1

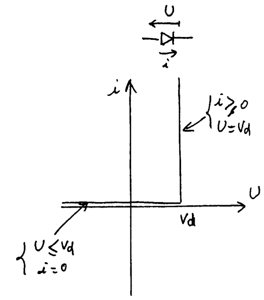


fig.2

On réalise le montage de la figure 1 à gauche, où l'amplificateur opérationnel, parfait, fonctionne en régime linéaire et où les diodes sont idéales avec une tension de seuil $V_d = 0,6$ V (on en rappelle la caractéristique sur la figure 2 à droite). Les résistances valent $R_1 = R_2 = 30\,k\Omega$, $R_3 = 20\,k\Omega$ et $R_4 = 10\,k\Omega$.

Question 1 :
Est-il possible que les diodes soient toutes deux passantes ?

Si la diode du haut est passante, $V_- - V_s = V_d$ et si celle de gauche l'est aussi, $V_s - V_- = V_d$ donc $V_d = -V_d$ et $V_d = 0$, ce qui est contredit par le modèle adopté.

Question 2 :
On suppose les diodes toutes deux bloquées. Calculer V_s en fonction de V_e (et des autres données du problème). A quelle condition sur V_e les deux diodes sont-elles effectivement bloquées ?

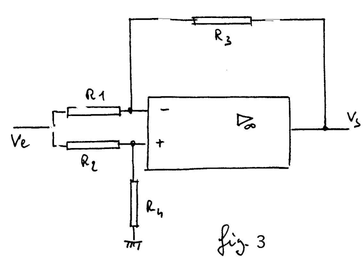


fig 3

On a redessiné le circuit en supprimant les branches où le courant est nul (diodes bloquées). Le théorème de MILLMANN appliqué à la borne inverseuse donne :

$$V_- = \frac{\frac{V_e}{R_1} + \frac{V_s}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_3\,V_e + R_1\,V_s}{R_3 + R_1}$$

et appliqué à la borne non-inverseuse, il donne :

$$V_+ = \frac{\frac{V_e}{R_2} + \frac{0}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R_4\,V_e}{R_4 + R_2}$$

Si l'AO ne sature pas, alors $V_+ = V_-$, d'où

$$\frac{R_3\,V_e + R_1\,V_s}{R_3 + R_1} = \frac{R_4\,V_e}{R_4 + R_2}$$

d'où l'on tire sans difficulté :

$$V_s = \left(\frac{R_4\,(R_3 + R_1)}{R_1\,(R_4 + R_2)} - \frac{R_3}{R_1} \right) V_e$$

L'A.N. donne $V_s/V_e = -1/4$

Il reste à vérifier que les diodes sont effectivement toutes deux bloquées ; pour cela il faut $V_- - V_s < V_d$ et $V_s - V_- < V_d$, soit $|V_s - V_-| < V_d$ et l'on allège les calculs en remplaçant V_- par V_+, soit

$$V_s - V_- = V_s - V_+ = \left(\frac{R_4\,(R_3 + R_1)}{R_1\,(R_4 + R_2)} - \frac{R_3}{R_1} - \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right) V_e = \left(\frac{-R_3\,R_2}{R_1\,(R_4 + R_2)} \right) V_e$$

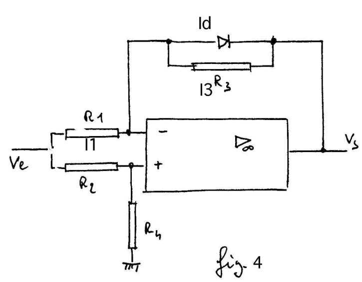
d'où la condition

$$|V_e| < V_{e,lim} = \left(\frac{R_1\,(R_4 + R_2)}{R_3\,R_2} \right) V_d$$

L'A.N. donne $V_{e,lim} = 1,2\,\mathrm{V}$ et pour $V_e = \pm V_{e,lim}$, on a $V_s = \mp 0,3\,\mathrm{V}$, ce qui prouve que, dans ce cas, l'A.O. ne sature pas et ce qui valide donc nos calculs.

Question 3 :

On suppose V_e suffisamment positif pour qu'une des diodes soit passante. Laquelle ? Calculer V_s en fonction de V_e, V_d, R_1 et R_4. A quelle condition sur V_e la diode est-elle effectivement passante ?
Traiter* rapidement *le cas où c'est la seconde diode qui est passante.
Tracer la caractéristique (graphe du lien entre V_e et V_s) de ce montage.



C'est bien évidemment la diode du bas qui est passante puisque V_e est «fortement» positif. Le théorème de Millmann ne s'applique plus à la borne inverseuse à cause de la non-linéarité de la diode. Par contre, on peut dire $V_- V_s = V_d$ d'où $V_- = V_s + V_d$. Par contre on a toujours :

$$V_+ = \frac{R_4\,V_e}{R_4 + R_2}$$

Si l'AO ne sature pas, alors $V_+ = V_-$, d'où

$$V_s = \frac{R_4}{R_4 + R_2}\,V_e - V_d$$

(A.N. $V_s = V_e/4 - 0,6$)

Reste à vérifier que la diode est bien passante soit que $I_d > 0$, où l'on calcule I_d par la loi des nœuds $I_d = I_1 - I_3$ (courants comptés positivement de gauche à droite).

$$I_d = I_1 - I_3 = \frac{V_e - V_-}{R_1} - \frac{V_- - V_s}{R_3} = \frac{V_e - V_+}{R_1} - \frac{V_d}{R_3}$$

On reporte $V_+ = \dfrac{R_4\, V_e}{R_4 + R_2}$ donc :

$$I_d = \frac{R_2}{R_1\,(R_4 + R_2)}\, V_e - \frac{1}{R_3}\, V_d$$

La condition $I_d > 0$ conduit à :

$$V_e > V_{e,lim} = \left(\frac{R_1\,(R_4 + R_2)}{R_3\, R_2} \right) V_d$$

Et l'on retrouve la même valeur limite. On doit aussi vérifier que pour cette valeur, on retrouve aussi la même valeur pour V_s, nous ne faisons pas figurer ici ce calcul de simple routine.

Lorsque c'est l'autre diode qui est passante, on obtient bien sûr la courbe symétrique.

D'où la caractéristique :