

NB : la tension de saturation des AOP est  $v_s = \pm V_{cc}$  ( $V_{cc} = 12\text{ V}$  : tension d'alimentation).

**A24-1- Régulation de température "Tout-ou-Rien" (suite exercice A21-3)**

La température du congélateur est maintenue entre  $-23^\circ\text{C}$  et  $-18^\circ\text{C}$ .

Le comparateur à hystérésis délivre une tension  $V_s$  égale à  $-12\text{V}$  (refroidissement suffisant  $\Rightarrow$  compresseur à l'arrêt) ou  $+12\text{V}$  (refroidissement insuffisant  $\Rightarrow$  compresseur en marche)

Le compresseur est actionné par l'intermédiaire de l'unité de puissance qui ne sera pas étudiée ici.

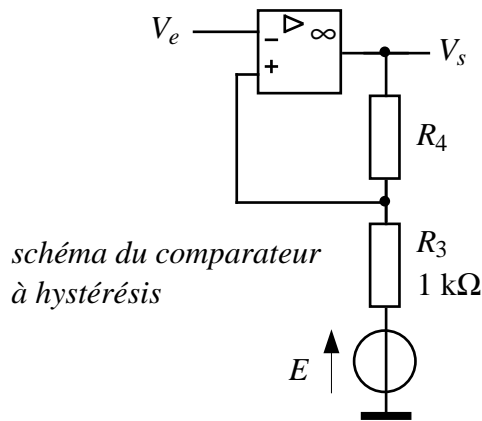
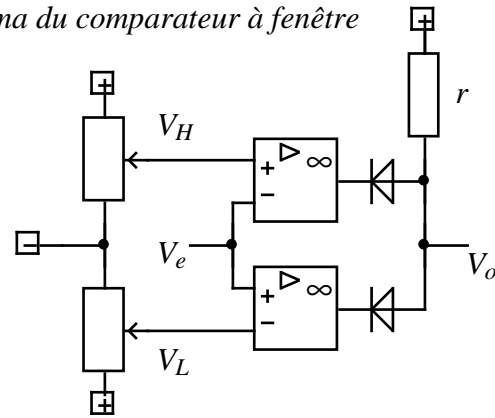


schéma du comparateur à fenêtre



1a) Établir le tracé de la caractéristique  $V_s(V_e)$  du comparateur à hystérésis. On notera  $V_b$  et  $V_h$  les deux seuils de basculement du comparateur. A.N. : calculer  $V_b$  et  $V_h$ .

1b) Calculer la valeur numérique des composants utilisés.

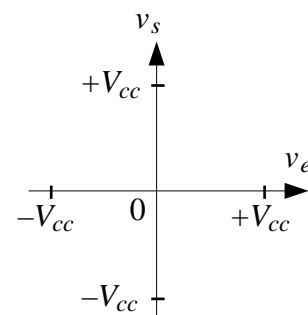
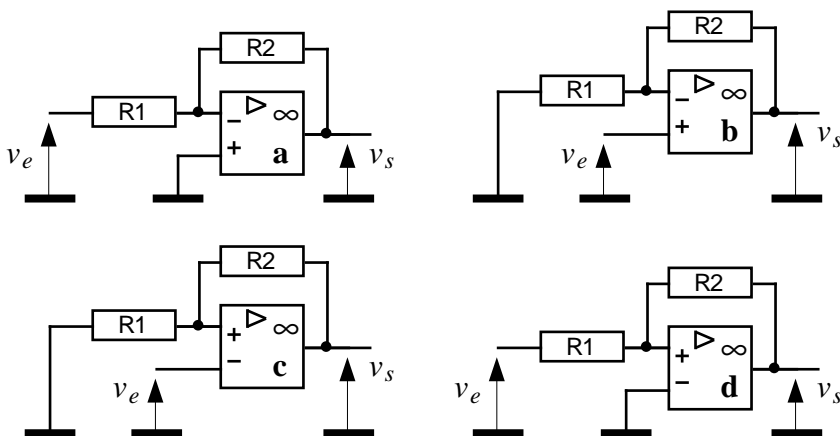
Une alarme est déclenchée si la température est inférieure à  $-25^\circ\text{C}$  ou supérieure à  $-5^\circ\text{C}$  par l'intermédiaire d'un comparateur à fenêtre.

2a) Indiquer l'allure des caractéristiques d'entrée-sortie des deux AOP. En déduire le tracé de la caractéristique  $V_o(V_e)$  du comparateur à fenêtre. On notera  $V_L$  et  $V_H$  les deux seuils de basculement du comparateur. A.N. : calculer  $V_L$  et  $V_H$ .

2b) La sonde de température AD592 est assimilable à un système du 1er ordre dont la constante de temps vaut 60 secondes. Si la température augmente instantanément de  $-20^\circ\text{C}$  vers  $0^\circ\text{C}$  (par ouverture de la porte par exemple), au bout de combien de temps l'alarme sera-t-elle déclenchée ?

**A24-2-**

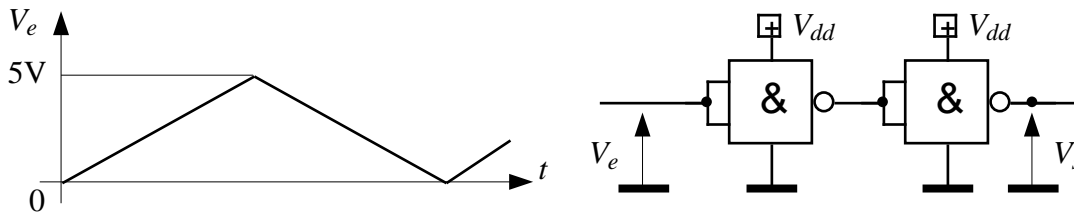
Pour  $v_e$  variant de  $-V_{cc}$  à  $+V_{cc}$ , établir et tracer les caractéristiques de transfert  $v_s(v_e)$  des circuits a, b, c, d. On donne :  $R_1 = 11\text{ k}\Omega$  ;  $R_2 = 22\text{ k}\Omega$ ,  $V_{cc} = 12\text{ V}$ . Echelle : 0,5 cm pour 1 V.



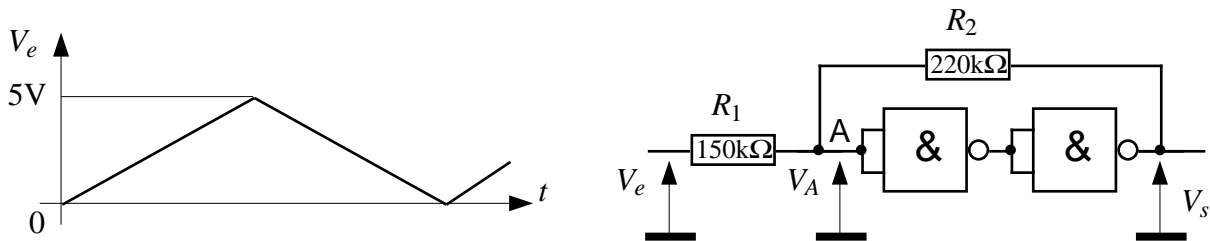
**A24-3-**

1) Les portes logiques ET-NON ci-contre sont alimentées sous une tension  $V_{dd}$  égale à 5 V ; leur tension de sortie  $V_s$  peut prendre les valeurs 0 ou 5 V ; le seuil de basculement des circuits est  $V_b = 2,5$  V. La tension d'entrée  $V_e$  est une tension analogique comprise entre 0 et 5 V.

Compléter le graphe de  $V_e(t)$  par celui de  $V_s(t)$  sur deux périodes du signal. En déduire la caractéristique de transfert  $V_s(V_e)$  du montage.



Le montage ci-dessous utilise deux portes identiques, en technologie CMOS ( $\Leftrightarrow$  courants d'entrée  $\approx 0$ ). A  $t = 0$ , on suppose que les trois tensions  $V_e, V_A, V_s$  sont nulles.



2) Soit  $V_s = 0$  V.

a) Exprimer  $V_A$  en fonction de  $V_e$ .

b) Pour quelle valeur  $V_H$  de  $V_e$  le système change-t-il d'état ? Quelle est alors la valeur de  $V_A$  ?

3) Soit  $V_s = 5$  V.

a) Exprimer  $V_A$  en fonction de  $V_e$ .

b) Pour quelle valeur  $V_B$  de  $V_e$  le système change-t-il d'état ?

4) Compléter le graphe de  $V_e(t)$  par celui de  $V_s(t)$  sur deux périodes du signal. En déduire la caractéristique de transfert  $V_s(V_e)$  du montage. Quelle fonction réalise-t-on ?

5) Compléter les deux graphes précédents par celui de  $V_A(t)$ .

## REPONSES

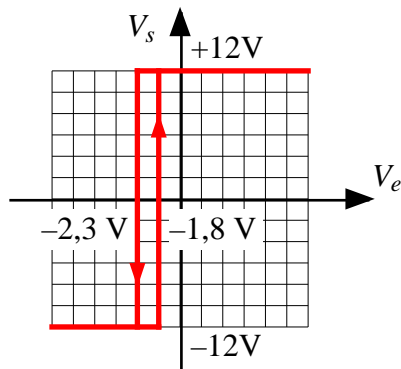
## A24-1- 1)

Calcul des seuils de basculement : soit  $k = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$ ,  $1 - k = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$ . D'après Millman :

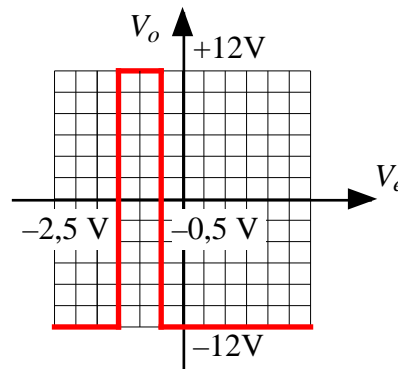
$$\frac{R_3 V_s + R_4 E}{R_3 + R_4} = V_+ \text{ avec } V_s = \pm V_{cc} \Rightarrow \begin{cases} V_b = -k V_{cc} + (1-k)E \\ V_h = +k V_{cc} + (1-k)E \end{cases}$$

$$\text{A.N. : } \begin{cases} \theta = -23^\circ\text{C} \Rightarrow V_b = -2,3\text{V} \\ \theta = -18^\circ\text{C} \Rightarrow V_h = -1,8\text{V} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -2,3 = -k12 + (1-k)E \\ -1,8 = +k12 + (1-k)E \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k = 0,021 \Rightarrow R_4 = 47\text{k}\Omega \\ E = -2,09\text{V} \end{cases}$$

(1) Comparateur à hystérésis :



(2) Comparateur à fenêtre :



$$2a) \begin{cases} \theta = -25^\circ\text{C} \Rightarrow V_L = -2,5\text{V} \\ \theta = -5^\circ\text{C} \Rightarrow V_H = -0,5\text{V} \end{cases}$$

2b) Système du 1er ordre  $\Rightarrow$  réponse exponentielle à un échelon (ici, de température).

D'après l'équation générale d'un arc d'exponentielle  $y(t) = (y_0 - y_\infty) e^{-\frac{t}{\tau}} + y_\infty$ , il vient :

avec :  $y_0 = y_{t=0}$  et  $y_\infty = y_{t \rightarrow \infty}$

$$\theta = (-20 - 0) e^{-\frac{t}{\tau}} + 0 = -20e^{-\frac{t}{\tau}}$$

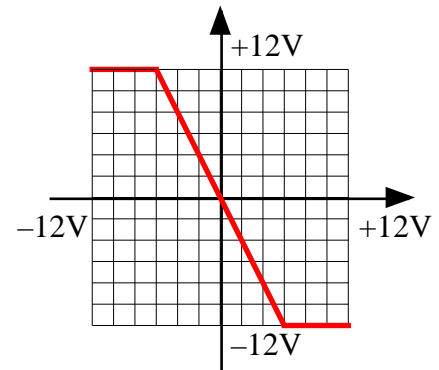
L'alarme est déclenchée lorsque  $\theta = -5^\circ\text{C} \Rightarrow -5 = -20e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow t = \tau \ln 4 = 83\text{ s}$

**A24-2-**

a) ampli inverseur :

$$\text{gain : } G = -\frac{R_2}{R_1} = -2 ;$$

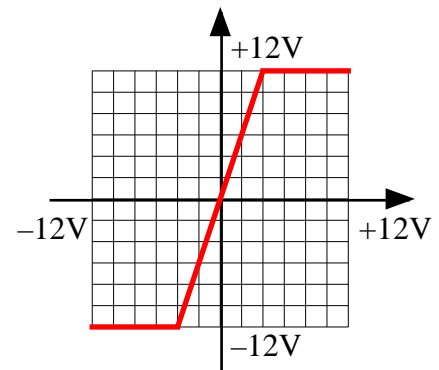
le régime de fonctionnement est linéaire pour  $-\frac{V_{cc}}{2} < v_e < \frac{V_{cc}}{2}$ , mais l'AOP est saturé en dehors de cet intervalle.



b) ampli non inverseur :

$$\text{gain : } G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = +3 ;$$

le régime de fonctionnement est linéaire pour  $-\frac{V_{cc}}{3} < v_e < \frac{V_{cc}}{3}$ , mais l'AOP est saturé en dehors de cet intervalle.

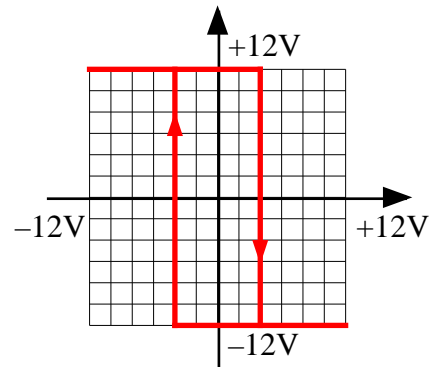


c) trigger inverseur :

seuils :

$$V_b = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc} = -4 \text{ V}$$

$$\text{et } V_h = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc} = 4 \text{ V}$$

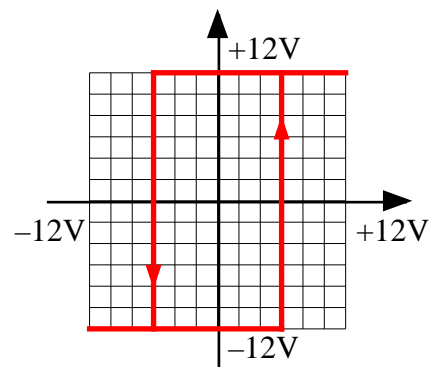


d) trigger non inverseur :

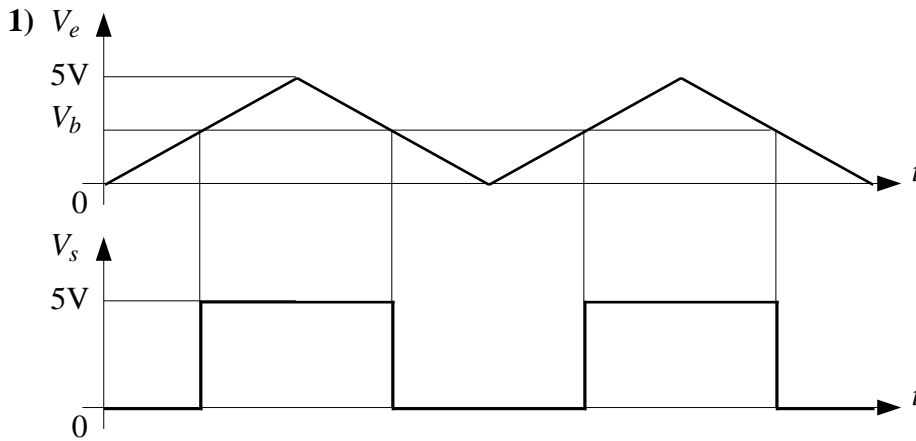
calcul des seuils :

le basculement a lieu lorsque  $V_+ = V_-$ , donc quand :

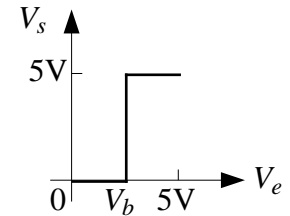
$$\frac{R_1 V_s + R_2 V_e}{R_1 + R_2} = 0 \Rightarrow R_1 (\pm V_{cc}) + R_2 V_e = 0 \Rightarrow \begin{cases} V_b = -\frac{R_1}{R_2} V_{cc} \\ V_h = \frac{R_1}{R_2} V_{cc} \end{cases}$$

soit  $\pm 6 \text{ V}$ 

**A24-3-**



fonction OUI :

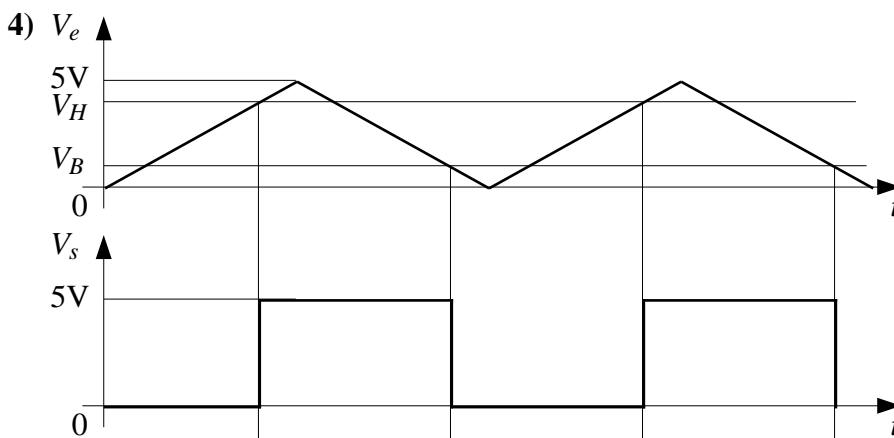


2)  $V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_e$  (pont diviseur de tension)

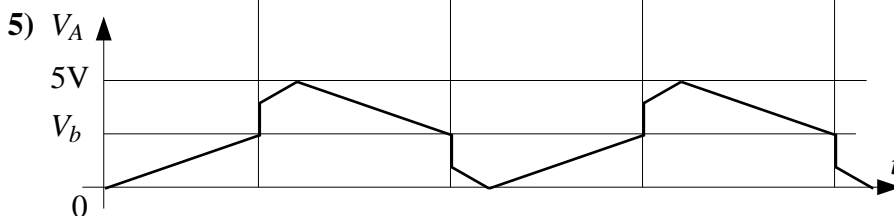
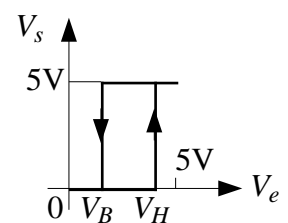
Le système change d'état si  $V_A = V_b$ , soit  $V_e = V_H = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_b \approx 4,2 \text{ V}$

3) En appliquant le théorème de Millman, il vient :  $V_A = \frac{5.R_1 + V_e.R_2}{R_1 + R_2}$

Le système change d'état si  $V_A = V_b$ , soit  $V_e = V_B = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_b - 5 \frac{R_1}{R_2} \approx 0,8 \text{ V}$



fonction comparateur à hystérésis non inverseur :



a) Pour un front montant de  $V_s$ , la tension  $V_A$  évolue instantanément :

de  $V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_e = V_b = 2,5 \text{ V}$  à :  $V_A = \frac{5.R_1 + V_e.R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5.R_1 + V_H.R_2}{R_1 + R_2} \approx 4,5 \text{ V}$

b) Pour un front descendant de  $V_s$ , la tension  $V_A$  évolue instantanément :

de  $V_A = \frac{5.R_1 + V_e.R_2}{R_1 + R_2} = V_b = 2,5 \text{ V}$  à :  $V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_B \approx 0,5 \text{ V}$