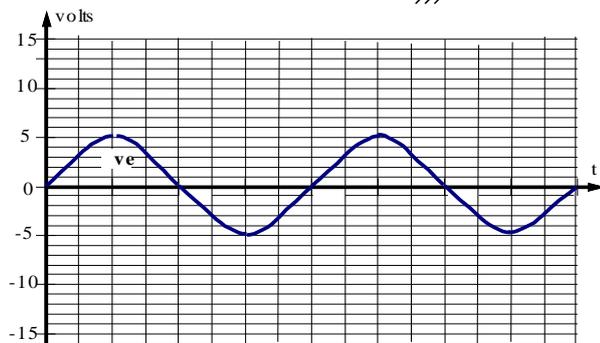
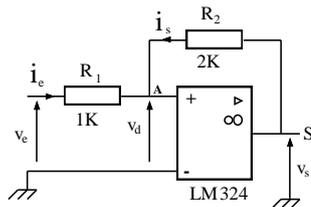


# LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÉGRÉS ( A. L. I ). EXERCICES

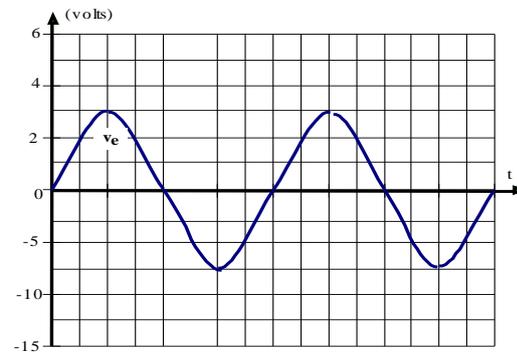
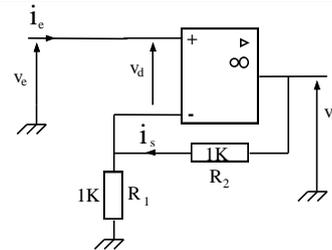
## Exercice N°1

Pour les différents montages ci-dessous donner l'expression de la sortie  $v_s$  en fonction de  $v_e$ , la fonction réalisée puis représenter la courbe  $v_s(t)$  ( L'ALI est supposé parfait ).

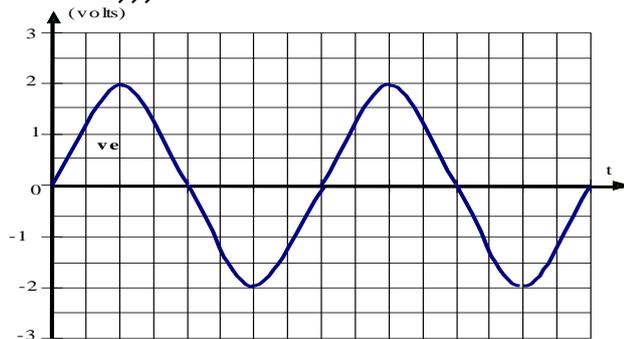
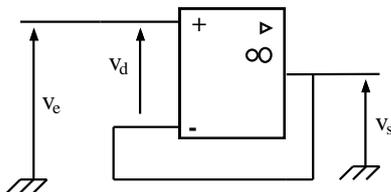
1 - Montage 1



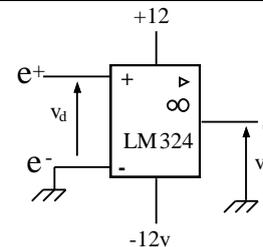
2 - Montage 2



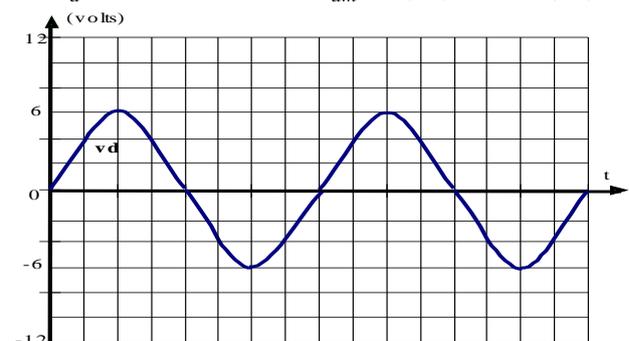
3 - Montage 3



4 - Montage 4

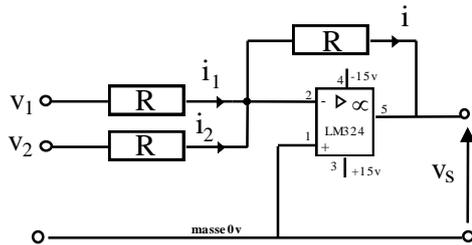


$$v_d = e^+ - e^- = e^+ = V_{dm} \sin(\omega t) = 6 \sin(\omega t)$$



## Exercice N°2

A - On donne le montage suivant :

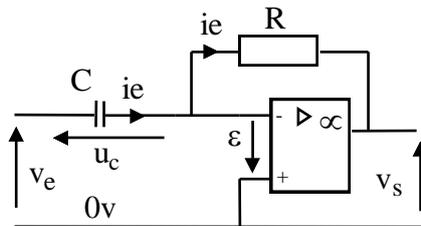


1 - Donner l'expression de  $v_s(t)$  en fonction de  $v_1(t)$  et  $v_2(t)$ , en déduire la fonction réalisée par ce montage

2 - On donne  $v_1(t) = 0,1 \sin(100\pi t)$  et  $v_2(t) = 0,2 \sin(100\pi t)$ . Donner l'expression instantanée de  $v_s(t)$ . Tracer ( sur une même échelle) les courbes  $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$  et  $v_s(t)$ .

## Exercice N°3 : Dérivateur :

Soit le montage suivant :



1 - Quelles sont les hypothèses utilisables pour l'étude de ce montage ?

2 - Rappels sur le condensateur :

On rappelle que pour le courant :  $i_e = \frac{dq}{dt}$  avec q quantité d'électricité qui traverse le conducteur.

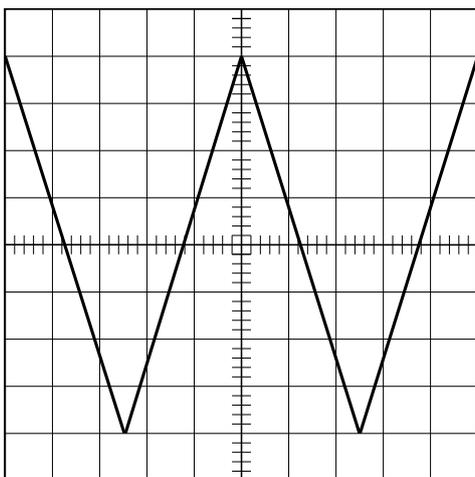
L'intensité du courant représente donc la quantité d'électricité par unité de temps. On rappelle que pour le condensateur :  $q = C \cdot u_c$ , avec q charge portée par une armature, C capacité du condensateur et  $u_c$  tension aux bornes du condensateur. Donner l'expression de  $i_e$  en fonction de C et  $u_c$ .

3- Donner la relation entre  $V_e$  et  $u_c$ .

4- Donner l'expression de  $i_e$  en fonction de  $V_s$  et R

5 - Donner l'expression de  $V_s$  en fonction de  $V_e$ , R et C.

6 – Soit l'oscillogramme de la tension d'entrée  $v_e$ , Calculer pour  $0 \leq t \leq T/2$  la variation  $\frac{\Delta v_e}{\Delta t}$



Base de temps : 1 ms / Cm

Sensibilité : 0,5v /Cm

7- Application numérique. Pour le dérivateur étudié, on donne :  $R = 10 \text{ k}\Omega$  et  $C = 100 \text{ nF}$ . Calculer le produit RC.

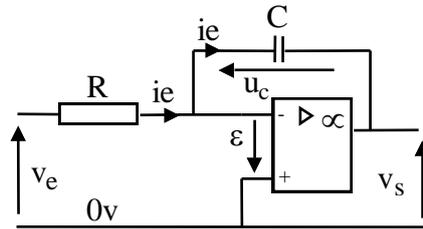
8 - Donner la valeur de la tension de sortie  $V_s$  pour  $0 \leq t \leq T/2$ .

9- Calcul de variation. Calculer pour  $T/2 \leq t \leq 0$  la variation  $\Delta V_e / \Delta t$ .

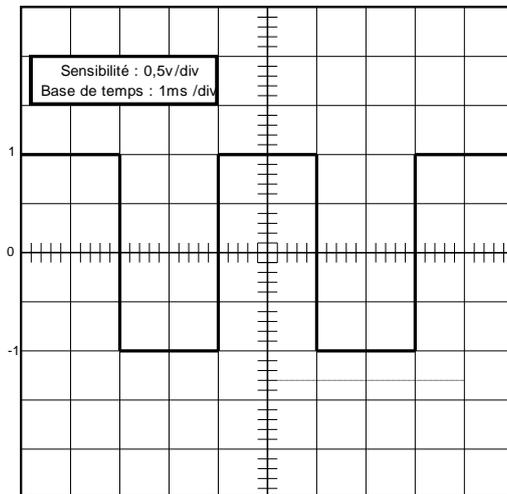
10- Tension de sortie pour  $T/2 \leq t \leq 0$ . Recommencer le calcul et donner la valeur de la tension de sortie  $V_s$  pour  $T/2 \leq t \leq T$ .

11- Dessiner sur la même courbe la tension  $v_s$ .

### Exercice N°4 : Intégrateur :



- 1 - Quelles sont les hypothèses utilisables pour l'étude de ce montage ?
- 2 - Donner l'expression de  $i_c$  en fonction de  $C$  et  $u_c$ .
- 3 - Donner la relation entre  $v_s$  et  $u_c$ .
- 4 - Donner l'expression de  $i_e$  en fonction de  $v_e$  et  $R$
- 5 - Donner l'expression de  $i_e$  en fonction de  $v_s$  et  $C$ .
- 6 - Donner l'expression de  $v_e$  en fonction de  $v_s$ ,  $R$  et  $C$ .
- 7 - On donne l'oscillogramme de  $v_e$  :



Donner la valeur de la demi-période du signal d'entrée  $T/2$  et la valeur de l'amplitude de la tension  $v_e$ .

8 - On donne  $R = 10 \text{ k}\Omega$  et  $C = 10 \text{ nF}$ . Donner la valeur du produit  $RC$ .

9 - Donner la caractéristique et la valeur de  $i_c$  pendant la première demi-période.

10-Sachant que le courant est constant, quelle est l'allure de  $u_c(t)$ . On définit la variation de la tension aux bornes du condensateur :  $\Delta u_c = u_c(t) - u_{c0}$  qui correspond à la variation de temps

$\Delta t = t - 0 = t$ . On rappelle que  $i_c = C \frac{du_c}{dt}$  ce qui donne pour des variations finies  $i_c = C(\Delta u_c / \Delta t)$ .

Donner l'expression de  $u_c(t)$  en fonction de  $I_e$ ,  $t$ ,  $C$  et  $u_{c0}$ .

**11- Application numérique :** On admet que en  $t = 0 \text{ ms}$ ,  $u_c(0) = u_{c0} = -10 \text{ V}$ . Pour  $0 < t < T/2$  donner l'expression numérique de  $u_c(t)$ .

12-Donner la valeur de  $u_c(T/2)$ . On rappelle que  $T/2 = 2 \text{ ms}$ .

13-Pendant la 2<sup>ème</sup> période, donner les caractéristiques de  $i_e$ . Quelle est sa valeur ?

14 - Expression de  $u_c$  pour  $T/2 \leq t \leq T$ . Sachant que le courant est constant, quelle est l'allure de  $u_c(t)$

15 -Pour simplifier les calculs on fait un changement d'origine des temps. On fixe l'origine des temps à  $T/2$ . On note la nouvelle variable de temps  $t'$ . Donc  $t' = t - T/2$ . Grâce à cette méthode on obtient comme précédemment avec la nouvelle variable :

$$u_c(t') = \frac{I_e}{C} t' + u_{c0}$$

Application numérique : On admet que en  $t' = 0 \text{ ms}$   $u_c(0) = u_{c0} = +10 \text{ V}$ .

Pour  $0 < t' < T/2$  donner l'expression numérique de  $u_c(t')$

Attention : pour alléger la notation,  $u_c(t')$  sera noté simplement  $u_c'$  dans l'expression.

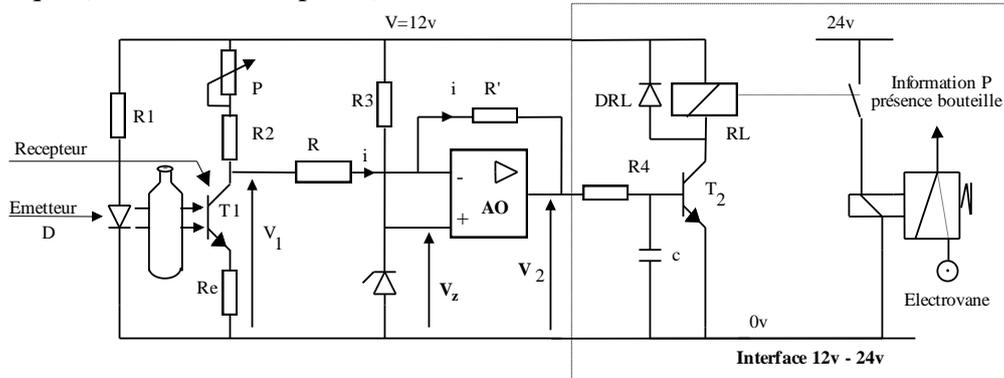
16-On rappelle que en  $t' = T/2$ ,  $t = T$ .

Donner la valeur de  $u_c$  en  $t' = T/2$ . On rappelle que  $T/2 = 2 \text{ ms}$ .

**17- signal de sortie :** On rappelle que  $V_s = -u_c$  et que l'étude réalisée jusqu'ici porte sur  $u_c$ . donner l'expression de  $v_s(t)$  en fonction de  $R$ ,  $C$  et  $v_e(t)$  et tracer cette courbe .

### Exercice N°5

Dans un système automatisé l'arrivée des bouteilles est détectée par un capteur " P " photoélectrique ( émetteur + récepteur ) . Le schéma structurel est le suivant :



- 1 - Exprimer la tension  $V_2$  en fonction de  $V_z$  et  $V_1$  si  $R = R'$
- 2 - Déduire alors la fonction remplie par l 'AO .
- 3 - Quelle condition doit-on avoir entre  $V_1$  et  $V_z$  pour que le transistor  $T_2$  soit bloqué en absence de bouteille ? .
- 4 - Déduire le rôle de l'ajustable P branché en série avec le collecteur de  $T_1$  .

### Exercice N°6 : Comparateur simple

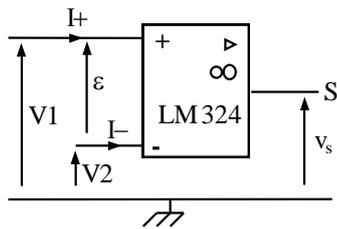
**Rappel :** Lors du fonctionnement linéaire , l'entrées inverseuse de l'A.L.I doit nécessairement être reliée à la sortie.

Si aucune entrée n'est reliée à la sortie , le fonctionnement est en saturation .

Si l'entrée inverseuse n'est pas reliée à la sortie , le fonctionnement est en saturation .

Si l'entrée non inverseuse seule est reliée à la sortie , le fonctionnement est en saturation

Soit le montage comparateur simple suivant :



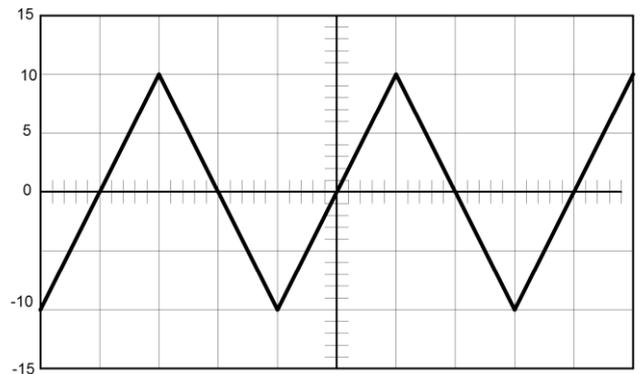
1 – Type de fonctionnement : Cocher les réponses corrects :

- Fonctionnement linéaire .       Fonctionnement à saturation  
  $\epsilon = 0$         $\epsilon \neq 0$         $V_s = 0v$         $V_s = \pm V_{sat}$

2 – Application numérique :

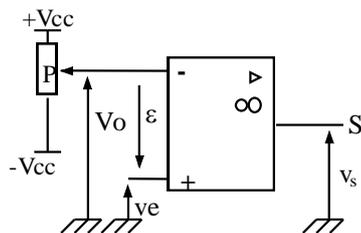
♦ On donne  $V_{sat} = 14v$  ,  $V_1 = 4v$  et  $V_2 = -1v$  , Donner la valeur de  $V_s$  .

♦ On donne  $V_{sat} = 14v$  ,  $V_2 = 0$  et l'oscillogramme de  $V_1$  . Tracer sur la même courbe l'oscillogramme de la tension de sortie  $V_s$



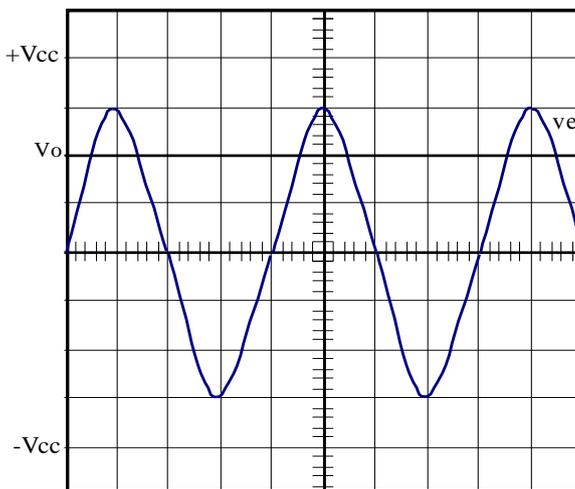
### Exercice N°7 : Comparateur à un seuil

Soit le montage suivant :



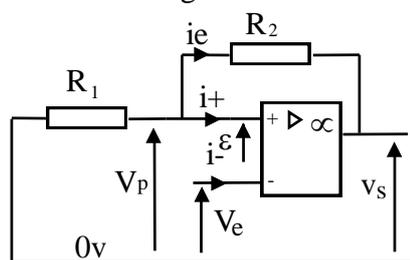
1 – L'ALI est supposé parfait ( en particulier  $i_+ = i_- = 0$  ).  
Expliquer sommairement le fonctionnement de ce montage

2 – Compléter les chronogrammes issus de la comparaison de tensions :



### Exercice N°8 : Comparateur à deux seuils ( à hystérésis ou trigger de schmitt )

Soit le montage suivant :



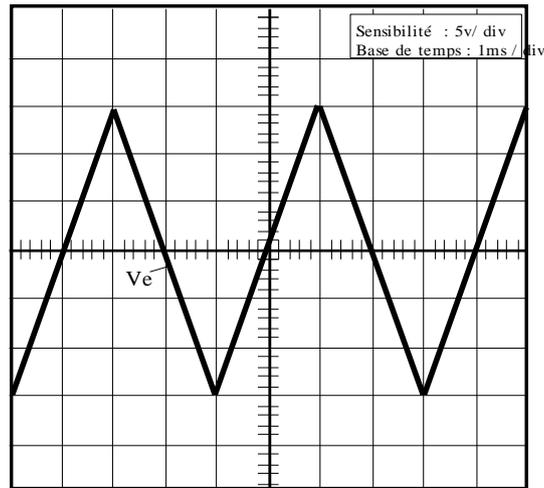
**A – Type de fonctionnement :** Cocher les réponses corrects :  
 Fonctionnement linéaire .     Fonctionnement à saturation  
  $\epsilon = 0$       $\epsilon \neq 0$       $V_s = 0v$       $V_s = \pm V_{sat}$

**B – Expression de  $V_p$  :** en utilisant la formule du pont diviseur , donner l'expression de  $V_p$  en fonction de  $V_s$  ,  $R_1$  et  $R_2$  .

**C- Comparaison de  $V_e$  ( tension d'entrée ) avec  $V_p$  :**

- 1 - On suppose  $V_s = +V_{sat} = 15V$ ,  $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ . Quelle est la valeur de  $V_p$  ?
- 2 - Comment doit-être la valeur de  $V_e$  pour que  $V_s$  reste à  $+V_{sat}$  ?
- 3- Comment doit-être la valeur de  $V_e$  pour que  $V_s$  passe de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$  ?
- 4-Quelle est la valeur de  $\epsilon$  au moment du basculement ?
- 5-On suppose  $V_s = -V_{sat} = -15V$ ,  $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ . Quelle est la valeur de  $V_p$  ?

- 6 - Comment doit-être la valeur de  $V_e$  pour que  $V_s$  reste à  $-V_{sat}$  ?  
 7 - Comment doit-être la valeur de  $V_e$  pour que  $V_s$  passe de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$  ?  
 8 - Quelle est la valeur de  $\varepsilon$  au moment du basculement ?  
 9 - On donne la tension d'entrée  $V_e$  :

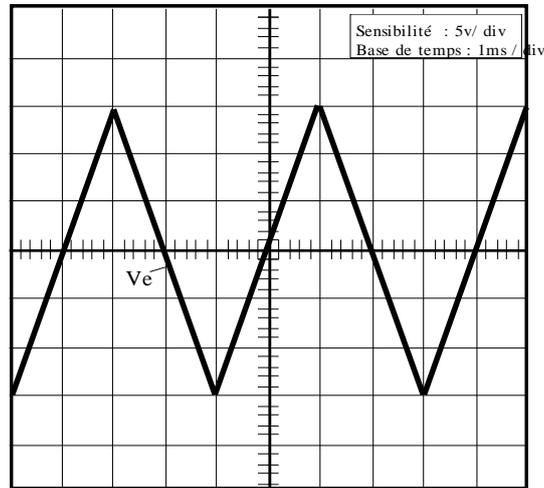


Donner la fréquence de  $V_e$

- 10 - On suppose que  $V_s = +V_{sat}$ , quelle est la valeur de  $\varepsilon$  pour  $t = 0$  ms ?  
 11 - On part de  $V_s = +V_{sat}$ ,  $V_e$  augmente et atteint  $-10$  V. Quelle est la valeur de  $\varepsilon$  ?  
 12 - Que se passe-t-il à ce moment précis ? ( $V_s$  passe de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$ ,  $V_s = 0V$  ou  $V_s$  reste à  $+V_{sat}$ )  
 13 - On part de  $V_s = +V_{sat}$ ,  $V_e$  augmente et atteint  $10$  V. Quelle est la valeur de  $\varepsilon$  ?  
 14 - On part de  $V_s = +V_{sat}$ ,  $V_e$  augmente et dépasse  $10$  V. Comment est la valeur de  $\varepsilon$  ?  
 15 - On part de  $V_s = +V_{sat}$ ,  $V_e$  augmente et dépasse  $10$  V. Que se passe-t-il pour  $V_s$  ?  
 16 - Lorsque  $V_s$  vaut  $-V_{sat}$  quelle est la valeur de  $V_p$  ?  
 17 - On part de  $V_s = -V_{sat}$ ,  $V_e$  diminue et atteint  $10$  V. Quelle est la valeur de  $\varepsilon$  ?  
 18 - Que se passe-t-il à ce moment précis ? ( $V_s$  passe de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$ ,  $V_s = 0V$  ou  $V_s$  reste à  $-V_{sat}$ )  
 19 - On part de  $V_s = -V_{sat}$ ,  $V_e$  diminue et atteint  $-10$  V. Quelle est la valeur de  $\varepsilon$  ?  
 20 - On part de  $V_s = -V_{sat}$ ,  $V_e$  diminue et devient inférieur  $-10$  V. Comment est la valeur de  $\varepsilon$  ?  
 21 - On part de  $V_s = -V_{sat}$ ,  $V_e$  diminue et devient inférieur  $-10$  V. Que se passe-t-il pour  $V_s$  ?

**D – Etude de la tension de sortie :**

On donne la tension d'entrée  $V_e$ ,  $V_p$  peut prendre les valeurs  $+10v$  ou  $-10v$  suivant la valeur de  $V_s = \pm V_{sat}$ . Tracer la courbe  $V_s$ .



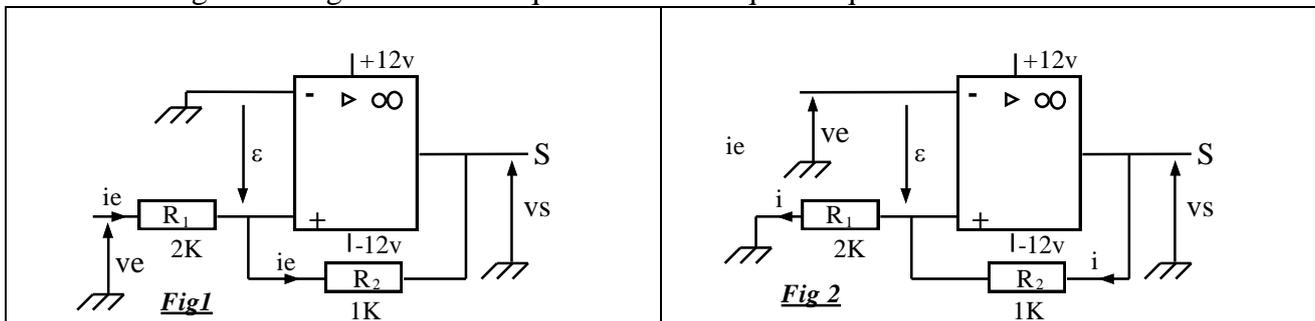
### E – Etude de la caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$ :

- 1 - On suppose que  $V_s = +V_{sat} = 15V$  et que  $V_e$  varie de  $-15V$  à  $+10V$ . Tracer pour cet intervalle  $V_s$ .
- 2 - On suppose que  $V_s = +V_{sat} = 15V$  au départ et que  $V_e$  varie de  $-15V$  à  $+15V$ . Tracer pour cet intervalle  $V_s$ .
- 3 - On suppose que  $V_s = +V_{sat} = 15V$  au départ et que  $V_e$  varie de  $-15V$  à  $+15V$  puis de  $+15V$  à  $-15V$ , tracer alors la courbe de la tension d'entrée :

### Exercice N°9 : Comparateur à deux seuils

#### A – Structure sans inversion ( trigger non inverseur )

Soit le montage de la Fig1 où  $v_e$  « attaque » la borne + qui marque la non inversion



- 1 – Donner l'expression de  $\epsilon$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $v_s$  et  $v_e$ .
- 2 – Ecrire la condition de basculement marquée par  $\epsilon = 0$ .
- 3 – Quelles sont les deux valeurs des tensions seuils ?
- 4 – Tracer la caractéristique de transfert  $v_s = f(v_e)$ .

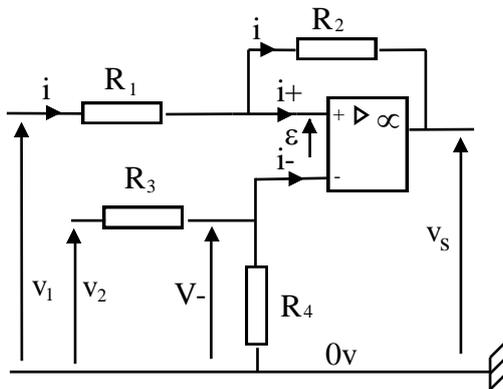
#### B - Structure avec inversion ( trigger non inverseur )

Soit le montage de la Fig2 où  $v_e$  « attaque » la borne – qui marque l'inversion.

- 1 – Donner l'expression de  $\epsilon$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $v_s$  et  $v_e$ .
- 2 – Ecrire la condition de basculement marquée par  $\epsilon = 0$ .
- 3 – Quelles sont les deux valeurs des tensions seuils ?
- 4 – Tracer la caractéristique de transfert  $v_s = f(v_e)$ .

### Exercice N°10 : Amplificateur de différence ou différentiel

Soit le montage suivant où l'amplificateur opérationnel est supposé parfait et fonctionnant en régime linéaire ( $i_+ = i_- = 0$  ;  $\varepsilon = v_+ - v_- = 0 \Rightarrow v_+ = v_-$ )



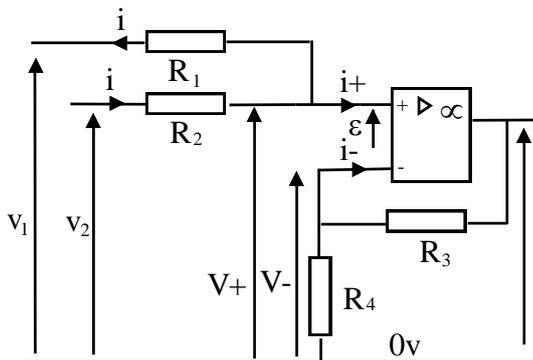
- 1 – Donner l'expression de  $i$  en fonction de  $v_1$ ,  $v_+$  et  $R_1$ .
- 2 – Donner une nouvelle expression de  $i$  en fonction de  $v_+$ ,  $v_s$  et  $R_2$ .
- 3 – Dédire des deux questions précédentes l'expression de  $v_+$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $v_1$  et  $v_s$ .
- 4 – En utilisant le diviseur de tensions, donner l'expression de  $v_-$  en fonction de  $R_4$ ,  $R_3$  et  $v_2$ .
- 5 – Trouver alors l'expression de  $v_s$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $v_1$  et  $v_2$ .

6 – Si  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ , donner la nouvelle expression de  $v_s$  en fonction de  $v_1$  et  $v_2$ .

7 – Application numérique : on  $v_1 = 0,5 \sin(\omega t)$  et  $v_2 = 0,2 \sin(\omega t)$ , tracer sur le même échelle les courbes  $v_1$ ,  $v_2$  et  $v$ .

### Exercice N°11 : Montage sommateur non inverseur

Soit le montage suivant où l'amplificateur opérationnel est supposé parfait et fonctionnant en régime linéaire ( $i_+ = i_- = 0$  ;  $\varepsilon = v_+ - v_- = 0 \Rightarrow v_+ = v_-$ )



- 1 – Donner l'expression de  $i$  en fonction de  $v_1$ ,  $v_+$  et  $R_1$ .
- 2 – Donner une nouvelle expression de  $i$  en fonction de  $v_+$ ,  $v_2$  et  $R_2$ .
- 3 – Dédire des deux questions précédentes l'expression de  $v_+$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $v_1$  et  $v_s$ .
- 4 – En utilisant le diviseur de tensions, donner l'expression de  $v_-$  en fonction de  $R_4$ ,  $R_3$  et  $v_s$ .
- 5 – Trouver alors l'expression de  $v_s$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $v_1$  et  $v_2$ .

6 – Si  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ , donner la nouvelle expression de  $v_s$  en fonction de  $v_1$  et  $v_2$ .

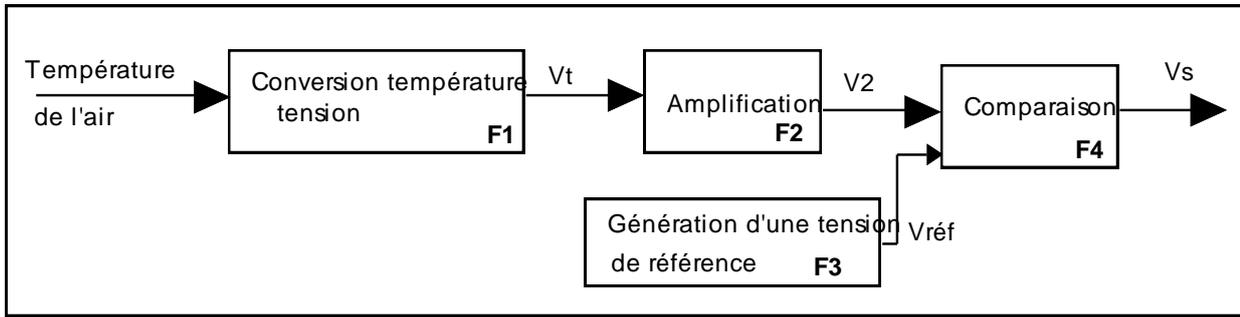
7 – Application numérique : on  $v_1 = 0,3 \sin(\omega t)$  et  $v_2 = 0,2 \sin(\omega t)$ , tracer sur le même échelle les courbes  $v_1$ ,  $v_2$  et  $v$ .

### Exercice N°12 : Thermostat électrique

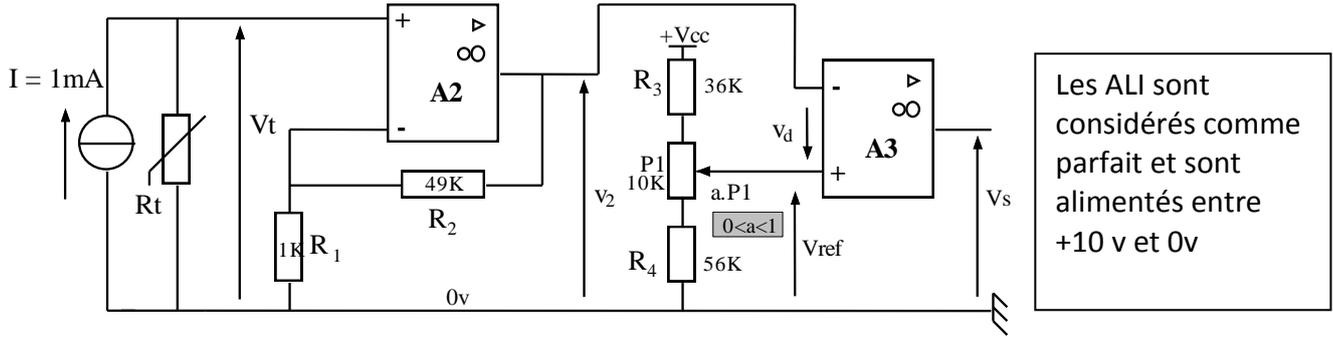
Le montage suivant réalise un thermostat électronique. Il est utilisé pour réaliser la commande d'un chauffage. La température de consigne, à partir de laquelle le chauffage est activé, est réglable par un potentiomètre (P1).

La mesure de la température est réalisée par une sonde dont la résistance varie proportionnellement à la température.

**Schéma fonctionnel :**



**Schéma structurel :**



Les ALI sont considérés comme parfait et sont alimentés entre +10 v et 0v

La sonde de température est une résistance dont la valeur  $R_t$  est régie par la formule :  $R_t = R_0 (1 + a \cdot T)$   
 $R_0$  désigne la valeur de la résistance pour une température de  $0^\circ\text{C}$ ;  $R_0 = 100 \Omega$ .  
 $a$  est le coefficient de température du capteur ;  $a = 0,01 / ^\circ\text{C}$ .  $T$  désigne la température exprimée en  $^\circ\text{C}$ .

**A – Analyse fonctionnelle :**

1 - Encadrer sur le schéma structurel les différentes fonctions principales.

**B – Conversion température / tension ( Fonction F1 )**

- 1 - Calculer la valeur de la résistance du capteur  $R_t$  pour les températures  $0^\circ\text{C}$  et  $100^\circ\text{C}$  :
- 2 - Représenter l'allure de  $R_t = f(T^\circ)$  pour une température comprise entre 0 et  $100^\circ\text{C}$ .
- 3 - Etablir l'expression littérale de  $V_t$  en fonction de  $R_t$  et de  $I$  :
- 4 - Calculer  $V_t$  pour les températures 0 et  $100^\circ\text{C}$  .
- 5 - Représenter l'allure de  $V_t = f(T^\circ)$  pour une température comprise entre 0 et  $100^\circ\text{C}$  .

**C - Amplification ( Fonction F2 )**

- 1 - Indiquer le régime de fonctionnement de l'ALI repéré A2 (justifier votre réponse). Donner le nom du montage réalisé .
- 2 - Etablir l'expression littérale de  $V_2$  en fonction de  $V_t$  et des résistances .
- 3 - Calculer l'amplification  $A = V_2 / V_t$  :
- 4 - Calculer  $V_2$  à  $0^\circ\text{C}$  et à  $100^\circ\text{C}$ .
- 5 - Représenter  $V_2 = f(T^\circ)$  pour une température comprise entre 0 et  $100^\circ\text{C}$  .

**D – Génération d'une tension de référence ( Fonction F3 )**

- 1 - Etablir l'expression littérale de  $V_{ref}$  en fonction de  $V_{cc}$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $P1$  et  $a$  .
- 2 - Calculer les valeurs min. et max. de  $V_{ref}$  pour les positions extrêmes du curseur de  $P1$  .

**E – Comparaison ( Fonction F4 )**

- 1 - Donner le nom du montage réalisé par l'ALI repéré A3 .
- 2 – Que vaudra la tension  $V_s$  si :  $T_{mesurée} > T_{consigne}$  ; -  $T_{mesurée} < T_{consigne}$
- 3 - Pour quelle valeur de  $V_s$  le chauffage devra-t-il être activé
- 4 – Dédire des résultats précédents ( graphiquement et par calcul ) les températures de consigne qu'il est possible de régler .

**F – Modification du montage**

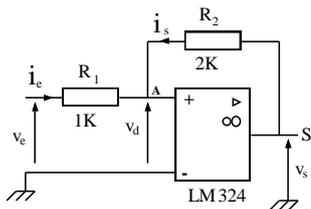
1 - Indiquer quel est le principal défaut de ce thermostat

2 - Proposer une modification du montage permettant de remédier à ce défaut

# LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÉGRÉS ( A. L. I ) : CORRIGES

## Exercice N°1 : Rappels

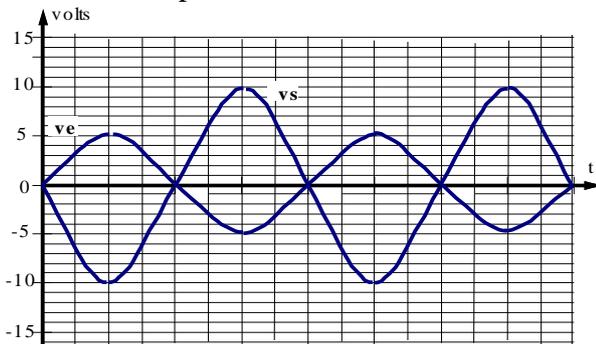
1 - Montage 1



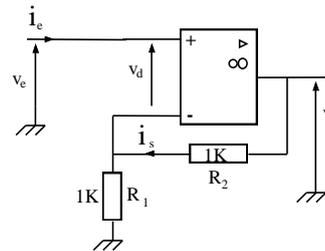
Il s'agit d'un amplificateur inverseur, la tension de sortie s'écrit :

$$v_s = -\frac{R_2}{R_1} v_e = -\frac{2}{1} v_e = -2v_e$$

Le signe " - " se traduit par une opposition de phase entre  $v_s$  et  $v_e$ .

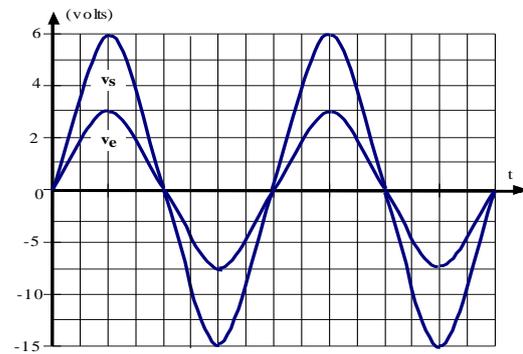


2 - Montage 2

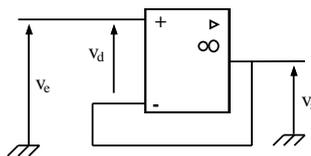


Il s'agit d'un amplificateur non inverseur, la tension de sortie s'écrit :

$$v_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_e = \left(1 + \frac{2}{1}\right) v_e = 3v_e$$

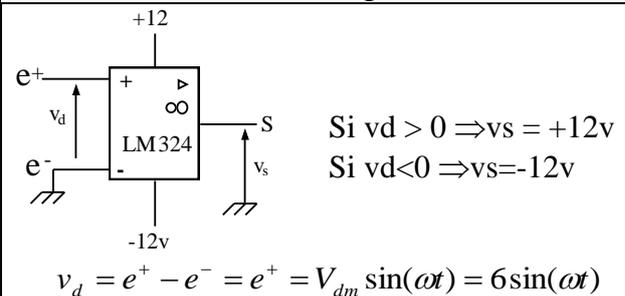


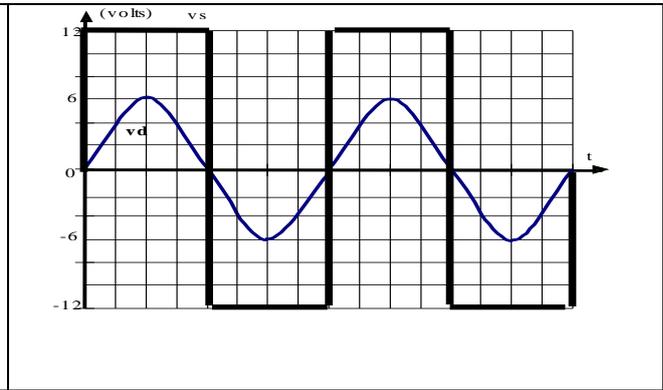
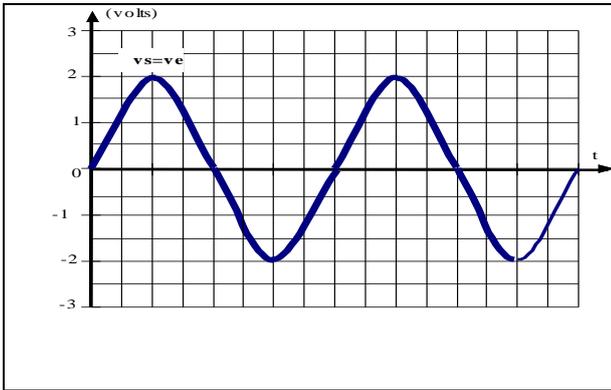
3 - Montage 3



La tension de sortie suit les variations de la tension d'entrée  $v_s = v_e$ . Le montage constitue un suiveur de tension

4 - Montage 4





### Exercice N°2 : Sommateur inverseur

1 – Expression de  $v_s$  :

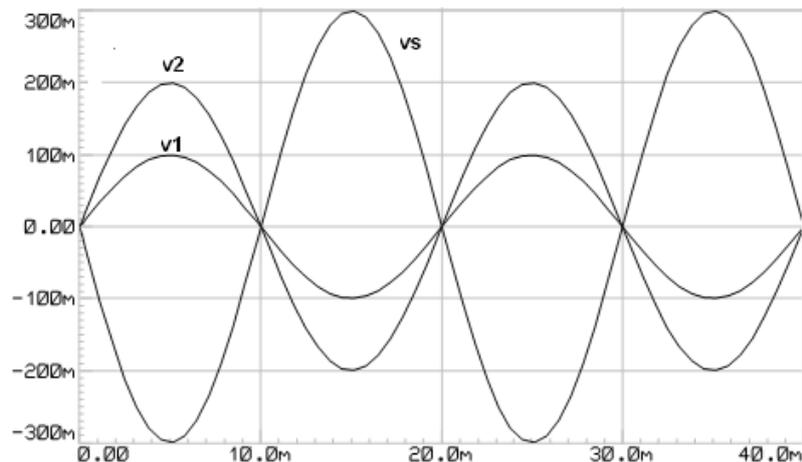
$$v_1 = R \cdot i_1 \Rightarrow i_1 = \frac{v_1}{R} \quad \text{et} \quad v_2 = R \cdot i_2 \Rightarrow i_2 = \frac{v_2}{R}$$

$$v_s = -R(i_1 + i_2) = -R \left( \frac{v_1}{R} + \frac{v_2}{R} \right) = -(v_1 + v_2)$$

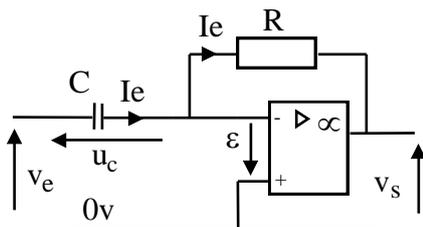
$v_s = -(v_1 + v_2)$  : Le montage constitue un sommateur inverseur .

2 - Application numérique :

$$v_s(t) = -(0,1 \sin 100\pi t + 0,2 \sin 100\pi t) = -0,3 \sin 100\pi t$$



### Exercice N°3 : Dérivateur :



1 – Les hypothèses utilisables pour l'étude de ce montage sont : ♦ fonctionnement en régime linéaire ;

♦  $\varepsilon = 0$

♦  $I^- = I^+ = 0 \text{ mA}$

2 - Rappels sur le condensateur :

On rappelle que pour le courant :  $i_e = \frac{dq}{dt}$  avec q quantité d'électricité qui traverse le conducteur.

L'intensité du courant représente donc la quantité d'électricité par unité de temps. On rappelle que

pour le condensateur :  $q = C.u_c$  , avec  $q$  charge portée par une armature,  $C$  capacité du condensateur et  $u_c$  tension aux bornes du condensateur.

• Expression de  $i_e$  en fonction de  $C$  et  $u_c$  :  $i_e = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu_c)}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$  .

3- Relation entre  $V_e$  et  $u_c$  :  $v_e = u_c$

4- Expression de  $i_e$  en fonction de  $V_s$  et  $R$  :  $v_s = -Ri_e \Rightarrow i_e = -\frac{v_s}{R}$

5 - Expression de  $V_s$  en fonction de  $V_e$ ,  $R$  et  $C$  :  $v_s = -RC \frac{du_c}{dt} = -RC \frac{dv_e}{dt}$

6 - Pour  $0 \leq t \leq T/2$  la variation :  $\frac{\Delta v_e}{\Delta t} = \frac{-2-2}{2,5 \cdot 10^{-3} - 0} = -\frac{1600v}{s} = -1,6v/ms$

7 - Calcul du produit  $RC$  :  $RC = 10^4 \cdot 10^2 \cdot 10^{-9} = 10^{-3}$

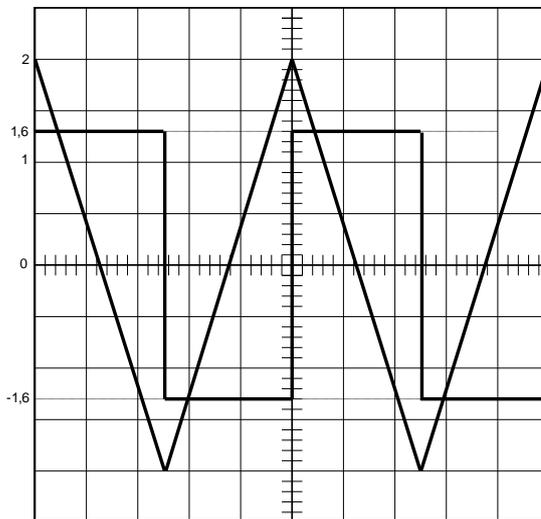
8 - Valeur de  $v_s$  :  $v_s = -RC \frac{dv_e}{dt} = -10^{-3} \frac{d(-1600t)}{dt} = +1,6v$

9- Pour  $T/2 \leq t \leq T$  , la variation :  $\frac{\Delta v_e}{\Delta t} = \frac{2-(-2)}{T-T/2} = \frac{4}{T/2} = \frac{8}{T} = \frac{8}{5 \cdot 10^{-3}} = 1600v/s$

soit  $\frac{\Delta v_e}{\Delta t} = +1,6v/ms$

10 - La tension de sortie :  $v_s = -1,6v$

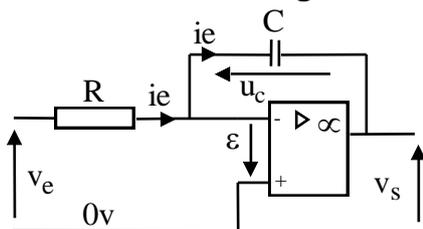
11- Tension de sortie  $v_s$  : c'est un signal carré d'amplitude 1,6v en opposition de phase avec  $v_e$  :



Base de temps : 1 ms / Cm

Sensibilité : 0,5v / Cm

### Exercice N°4 : Intégrateur



1- Hypothèses :

- ♦ fonctionnement en régime linéaire ;
- ♦  $\varepsilon = 0$
- ♦  $I = I^+ = 0$  mA

2 - Expression de  $i_e$  en fonction de  $C$  et  $u_c$  :  $i_e = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$

3 - Relation entre  $v_s$  et  $u_c$  :  $v_s = -u_c$

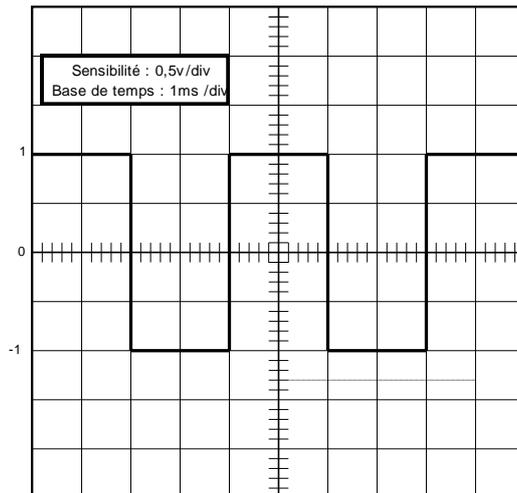
4 - Expression de  $i_e$  en fonction de  $v_e$  et  $R$  :  $i_e = \frac{v_e}{R}$

5 - Expression de  $i_e$  en fonction de  $v_s$  et  $C$  :  $i_e = C \frac{u_c}{dt} = -C \frac{dv_s}{dt}$

6 - Expression de  $v_e$  en fonction de  $v_s$ ,  $R$  et  $C$  :  $i_e = \frac{v_e}{R} = -C \frac{dv_s}{dt} \Rightarrow v_e = -RC \frac{dv_s}{dt}$

7 - On donne l'oscillogramme de  $v_e$  :

$T/2 = 2\text{ms}$  et  $V_{\text{max}} = 1\text{v}$ .



8 - Produit  $RC$  :  $RC = 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{-9} = 10^{-4}$

9- Caractéristique de  $i_e$  : Pour cette  $\frac{1}{2}$  période la valeur du courant est constante puisque  $v_e$  est

constante, sa valeur est  $i_e = \frac{v_e}{R} = \frac{1}{10^{-4}} = 0,1\text{mA}$

10-  $u_c(t)$  est une droite d'équation :  $u_c(t) = a \cdot t + b$ .

$$\Delta u_c = u_c(t) - u_{c0} = u_c - u_{c0} = \frac{i_e}{C} (t - 0)$$

ce qui donne

$$u_c = \frac{i_e}{C} t + u_{c0}$$

11 - Application numérique :  $u_c(t) = u_c = \frac{10^{-4}}{10^{-8}} t - 10 = 10^4 t - 10$ .

12-  $u_c\left(\frac{T}{2}\right) = 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} - 10 = 10\text{v}$

13- Pour le 2<sup>ème</sup> demi période ( $T/2 \leq t \leq T$ , le courant  $i_e$  est négatif et c'est une fonction linéaire du temps  $i_e = a \cdot t$ ), sa valeur est :  $i_e = \frac{v_e}{R} = \frac{-1}{10^4} = -10^{-4}\text{A} = -0,1\text{mA}$

14 - Pour  $T/2 \leq t \leq T$ , l'allure de  $u_c(t)$  est :  $u_c(t)$  est une fonction linéaire du temps  $u_c(t) = a \cdot t + b$  avec  $a < 0$

15 - Pour  $T/2 \leq t' < T$ , l'expression de  $u_c(t) = u'_c$  :

$$u'_c = \frac{i_e}{C} t' + u_{c0} = \frac{-10^{-4}}{10^{-8}} t' + 10 = -10^{-4} t' + 10$$

16- La valeur de  $u'_c$  en  $t' = T/2 = 2\text{ms}$  :  $u'_c = -10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} + 10 = -10\text{v}$

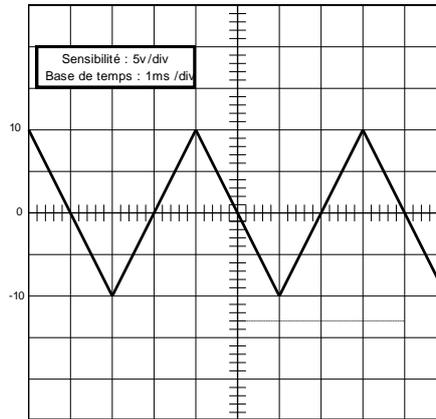
17- signal de sortie : Expression de  $v_s(t)$  : les études précédentes nous amène à découvrir que :

$$v_s = -\frac{1}{RC} \int v_e(t) dt$$

AN :  $R = 10\text{K}$  et  $C = 10\text{nF}$

Pour  $0 \leq t \leq T/2 \Rightarrow v_e(t) = 1\text{v}$  et  $v_s = -u_c = -10\text{v}$

Pour  $T/2 \leq t \leq T \Rightarrow v_e(t) = -1\text{v}$  et  $v_s = -u_c = +10\text{v}$ , d'où la courbe de la tension de sortie :



### Exercice N°5

1 – Expression de la tension  $V_2$  :

On écrit l'égalité des courants qui traversent R et R' : ( $R = R'$ )

$$i = \frac{V_1 - V_z}{R} = \frac{V_z - V_2}{R} \Leftrightarrow V_2 = 2V_z - V_1$$

2 – fonction remplie :

L'AOP remplie la fonction d'un soustracteur . Il permet de comparer la tension  $V_1$  à  $2V_z$  .

3 – Condition de blocage de  $T_2$  :

Le transistor  $T_2$  se bloque lorsque  $V_2 = 0$  , c'est à dire  $V_1 = 2V_z$  .

4 – Rôle de P :

P règle la tension  $V_1$  à  $2V_z$  en absence de bouteille .

### Exercice N°6 : Comparateur simple

1 – Type de fonctionnement

Fonctionnement linéaire .

Fonctionnement à saturation

$\varepsilon = 0$

$\varepsilon \neq 0$

$V_s = 0v$         $V_s = \pm V_{sat}$

2 – Application numérique :

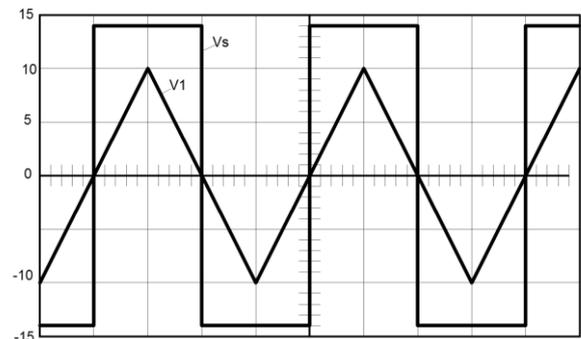
•  $\varepsilon = V_1 - V_2 = 4 - (-1) = +5v > 0$

$\Rightarrow V_s = +V_{sat} = +14V$

• Oscillogramme de  $V_s$  :  $\varepsilon = V_1 - V_2 = V_1 - 0 = V_1$

$\rightarrow \varepsilon > 0$  Si  $V_1 > 0$  ce qui donne  $V_s = +V_{sat} = +14V$

$\rightarrow \varepsilon < 0$  Si  $V_1 < 0$  ce qui donne  $V_s = -V_{sat} = -14v$



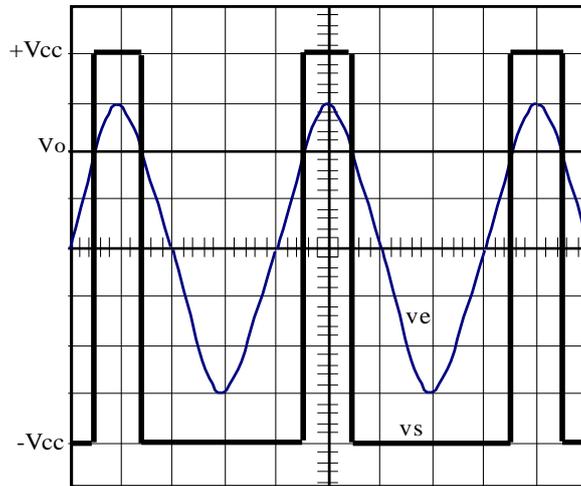
### Exercice N°7 : Comparateur à un seuil

1 – L'amplificateur est en boucle ouverte , il fonctionne en régime de saturation :  $V_s = \pm V_{sat}$  .

♦  $\varepsilon = v_e - V_o < 0$  si  $v_e < V_o$  donc  $v_s = -V_{sat}$

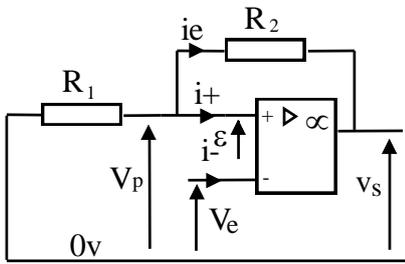
♦  $\varepsilon = v_e - V_o > 0$  si  $v_e > V_o$  donc  $v_s = +V_{sat}$

Suit la position de la tension d'entrée par rapport à  $V_o$  , la sortie indique le signe de la différence : c'est une fonction de comparaison .



### Exercice N°8 : Comparateur à deux seuils ( à hystérésis ou trigger de schmitt )

Soit le montage suivant :



#### A – Type de fonctionnement :

- Fonctionnement linéaire .     Fonctionnement à saturation  
  $\varepsilon = 0$       $\varepsilon \neq 0$       $V_s = 0v$       $V_s = \pm V_{sat}$

#### B – Expression de $V_p$ :

La méthode du pont diviseur de tension donne :  $V_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$

#### C- Comparaison de $V_e$ ( tension d'entrée ) avec $V_p$ :

1 - Valeur de  $V_p$  :

$$V_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = \frac{2.10^3}{2.10^3 + 10^3} 15 = 10v$$

2 - Pour que  $V_s$  reste à  $+V_{sat}$  , la tension  $V_e < 10v$

3- Pour que  $V_s$  passe de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$  ,  $V_e > 10v$

4-Au moment du basculement ,  $\varepsilon = 0$

5-Valeur de  $V_p$  :

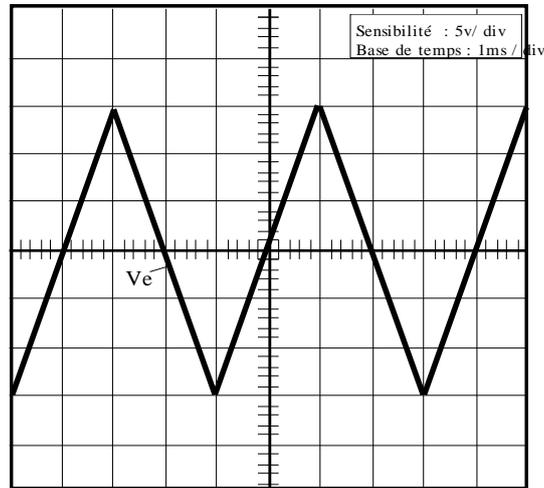
$$V_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = \frac{2.10^3}{2.10^3 + 10^3} (-15) = -10v$$

6 - Pour que  $V_s$  reste à  $-V_{sat}$  ,  $V_e > -10v$

7 - Pour que  $V_s$  passe de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$  ,  $V_e < -10v$

8 - Valeur de  $\varepsilon$  au moment du basculement :

9 – On donne la tension d'entrée  $V_e$  :  $\varepsilon = 0$



La fréquence de  $V_e$  :

Une période occupe 4 divisions , soit  $T = 4 \times 1 \text{ ms} = 4 \text{ ms} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} = 250 \text{ Hz}$

10 - On suppose que  $V_s = +V_{\text{sat}}$  , la valeur de  $\varepsilon$  pour  $t = 0 \text{ ms}$  :

A l'instant  $t = 0$  , on a  $V_e = 15 \text{ v}$  ;  $V_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{sat}} = \frac{2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3 + 10^3} (+15) = +10 \text{ v}$

$\varepsilon = V_p - V_e = 10 - (-15) = 25 \text{ v}$

11 - On part de  $V_s = +V_{\text{sat}}$ ,  $V_e$  augmente et atteint  $-10 \text{ V}$  :  $\varepsilon = V_p - V_e = 10 - (-10) = 20 \text{ v}$

12 - A ce moment précis :  $V_s$  reste à  $+V_{\text{sat}}$  )

13 - On part de  $V_s = +V_{\text{sat}}$ ,  $V_e$  augmente et atteint  $10 \text{ V}$  :  $\varepsilon = V_p - V_e = 10 - 10 = 0 \text{ v}$

14 - On part de  $V_s = +V_{\text{sat}}$ ,  $V_e$  augmente et dépasse  $10 \text{ V}$  car  $\varepsilon < 0$  .

15 - On part de  $V_s = +V_{\text{sat}}$ ,  $V_e$  augmente et dépasse  $10 \text{ V}$  alors  $V_s$  passe de  $+V_{\text{sat}}$  à  $-V_{\text{sat}}$

16 - Lorsque  $V_s$  vaut  $-V_{\text{sat}}$  la valeur de  $V_p = \varepsilon - V_e = -V_e = -10 \text{ v}$  .

17 - On part de  $V_s = -V_{\text{sat}}$ ,  $V_e$  diminue et atteint  $10 \text{ V}$  :  $\varepsilon = V_p - V_e = -10 - 10 = -20 \text{ v}$  .

18 - A ce moment précis :  $V_s$  passe de  $-V_{\text{sat}}$  à  $+V_{\text{sat}}$

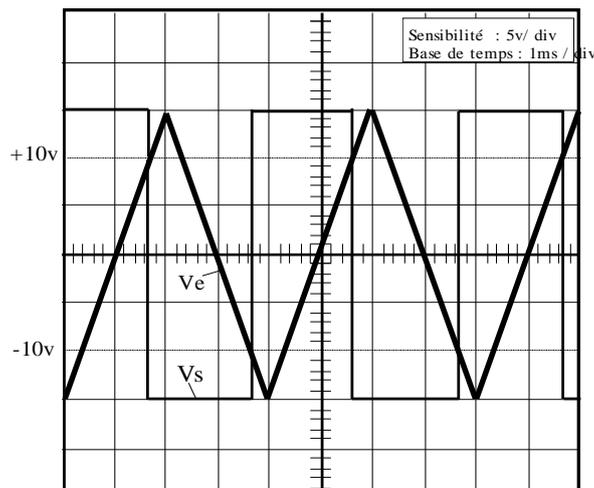
19 - On part de  $V_s = -V_{\text{sat}}$ ,  $V_e$  diminue et atteint  $-10 \text{ V}$ ,  $\varepsilon = V_p - V_e = -10 - (-10) = 0 \text{ v}$

20 - On part de  $V_s = -V_{\text{sat}}$ ,  $V_e$  diminue et devient inférieur  $-10 \text{ V}$ , alors  $\varepsilon > 0$

21 - On part de  $V_s = -V_{\text{sat}}$ ,  $V_e$  diminue et devient inférieur  $-10 \text{ V}$  , alors  $V_s$  reste à  $-V_{\text{sat}}$

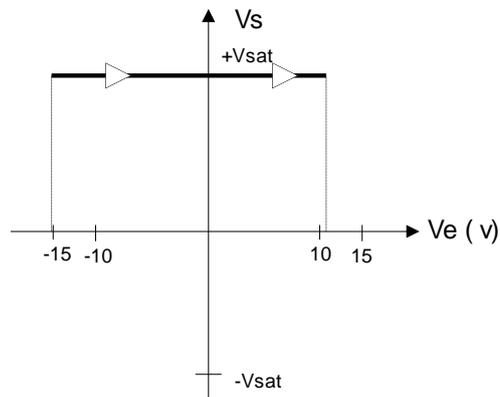
### D - Etude de la tension de sortie :

La courbe  $V_s$  .

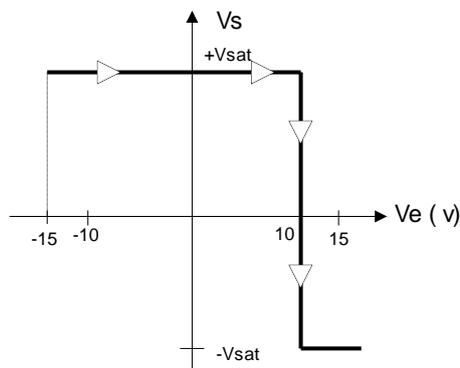


**E – Etude de la caractéristique de transfert  $V_s = f(V_e)$  :**

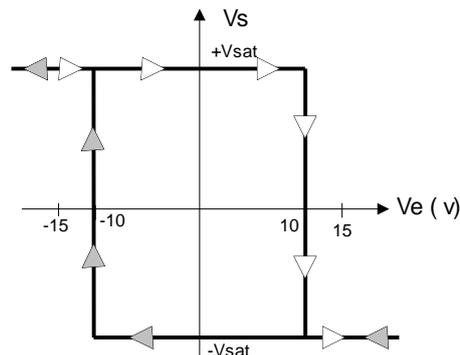
1 - On suppose que  $V_s = +V_{sat} = 15V$  et que  $V_e$  varie de  $-15V$  à  $+10V$  : allure de  $V_s$ .



2 - On suppose que  $V_s = +V_{sat} = 15V$  au départ et que  $V_e$  varie de  $-15V$  à  $+15V$  , pour cet intervalle la courbe  $V_s$  sera :



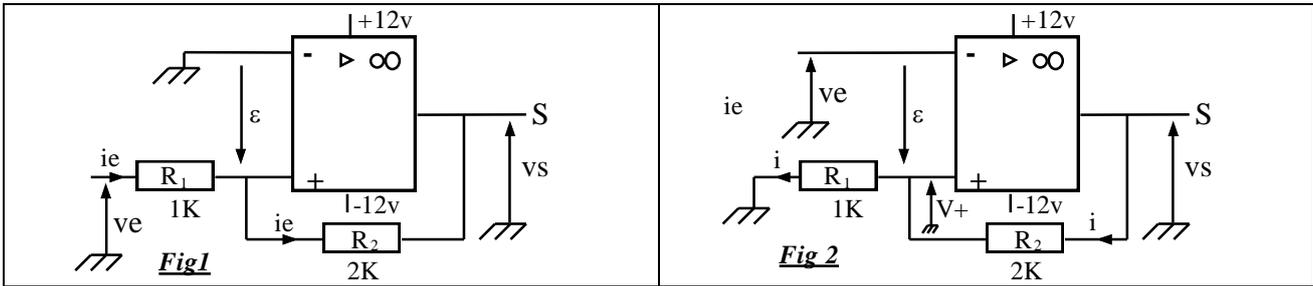
3 - On suppose que  $V_s = +V_{sat} = 15V$  au départ et que  $V_e$  varie de  $-15V$  à  $+15V$  puis de  $+15V$  à  $-15V$  , la courbe de la tension  $V_s$  :



**Exercice N°9 : Comparateur à deux seuils**

**A – Structure sans inversion ( trigger non inverseur )**

--	--



1 - Expression de  $\varepsilon$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $v_s$  et  $v_e$  :

$$V^+ = -R_1 i_e + v_e \Rightarrow i_e = \frac{v_e - V^+}{R_1} \quad (1) \quad ; \quad V^+ = R_2 i_e + v_s \Rightarrow i_e = \frac{V^+ - v_s}{R_2} \quad (2)$$

$$(1) = (2) \Leftrightarrow \frac{v_e - V^+}{R_1} = \frac{V^+ - v_s}{R_2} \Rightarrow V^+ \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) = \frac{v_e}{R_1} + \frac{v_s}{R_2} \text{ ce qui donne } V^+ = \frac{R_1 v_s + R_2 v_e}{R_1 + R_2}$$

$$\varepsilon = V^+ - V^- = V^+ = \frac{R_1 v_s + R_2 v_e}{R_1 + R_2}$$

2 - Condition de basculement :

$$\varepsilon = V^+ = \frac{R_1 v_s + R_2 v_e}{R_1 + R_2} = 0 \Rightarrow v_e = -\frac{R_1}{R_2} v_s = -\frac{1}{2} v_s$$

3 - Les deux valeurs des tensions seuils :

La tension de sortie peut avoir deux valeurs possibles  $\pm V_{sat} = \pm 12v$

Pour  $v_s = + V_{sat} = +12v$ , on a  $v_e = V_{T-} = -\frac{1}{2} V_{sat} = -\frac{1}{2} \cdot 12 = -6v$

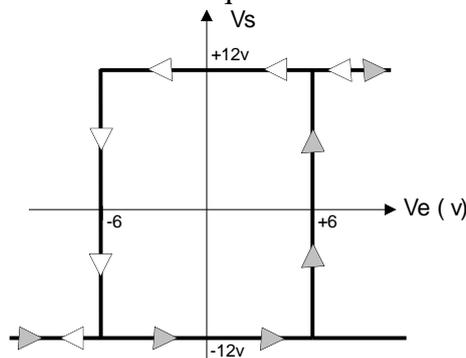
Pour  $v_s = - V_{sat} = -12v$ , on a  $v_e = V_{T+} = -\frac{1}{2} V_{sat} = -\frac{1}{2} \cdot (-12) = +6v$

4 - Caractéristique de transfert  $v_s = f(v_e)$ .

$v_s = -V_{cc} = -12v$  si  $\varepsilon < 0$ , c'est-à-dire si  $v_e < -\frac{R_1}{R_2} v_s = -\frac{R_1}{R_2} V_{sat} = -\frac{1}{2}(-12) = 6v$

$v_s = +V_{cc} = +12v$  si  $\varepsilon > 0$ , c'est-à-dire si  $v_e > -\frac{R_1}{R_2} v_s = -\frac{R_1}{R_2} V_{sat} = -\frac{1}{2}(+12) = -6v$

Ces éléments nous aident à tracer la caractéristique de transfert :



## B - Structure avec inversion ( trigger non inverseur )

1 - Expression de  $\varepsilon$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $v_s$  et  $v_e$  :

En appliquant le diviseur de tension pour le montage de la figure 2 :

$$V^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s \text{ or } \varepsilon = V^+ - v_e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s - v_e \text{ donc } \varepsilon = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s - v_e$$

2 - Condition de basculement :

$$\varepsilon = \frac{R_1}{R_1+R_2} v_s - v_e = 0 \Rightarrow v_e = \frac{R_1}{R_1+R_2} v_s = \frac{1}{1+2} v_s = \frac{1}{2} v_s$$

3 – Valeurs des tensions seuils :

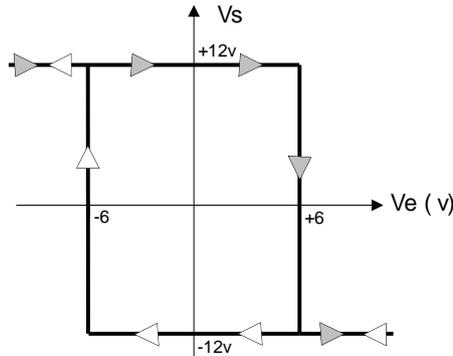
$$V_T^- = -\frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat} = -\frac{1}{1+2} 12 = -6v \quad \text{et} \quad V_T^+ = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat} = \frac{1}{1+2} 12 = 6v$$

4 – Caractéristique de transfert  $v_s = f(v_e)$  :

$$v_s = -V_{cc} = -12v \text{ si } \varepsilon < 0 \text{ c'est-à-dire } v_e > -\frac{R_1}{R_1+R_2} V_{cc} = V_T^- = -6v$$

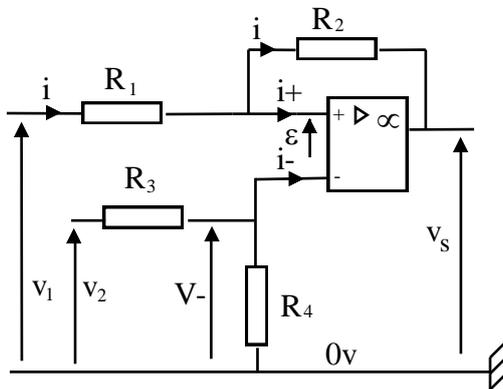
$$v_s = V_{cc} = 12v \text{ si } \varepsilon > 0 \text{ c'est-à-dire } v_e < \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{cc} = V_T^+ = 6v$$

Ces éléments nous aident à tracer la caractéristique de transfert :



### Exercice N°10 : Amplificateur de différence ou différentiel

Soit le montage suivant où l'amplificateur opérationnel est supposé parfait et fonctionnant en régime linéaire ( $i^+ = i^- = 0$  ;  $\varepsilon = v^+ - v^- = 0 \Rightarrow v^+ = v^-$ )



1 – Expression de  $i$  en fonction de  $v_1$ ,  $v^+$  et  $R_1$  :

$$v_1 = R_1 i + V^+ \Rightarrow i = \frac{v_1 - V^+}{R_1}$$

2 – Nouvelle expression de  $i$  en fonction de  $v^+$ ,  $v_s$  et  $R_2$  :

$$-v_s - R_2 i + V^+ = 0 \Rightarrow i = \frac{V^+ + v_s}{R_2}$$

3 – Expression de  $v^+$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $v_1$  et  $v_s$  :

En égalisant les deux expressions du courant  $i$  :

$$\frac{v_1 - V^+}{R_1} = \frac{V^+ + v_s}{R_2} \Rightarrow V^+ = \frac{R_2 v_1 + R_1 v_s}{R_1 + R_2}$$

4 – Expression de  $v^-$  en fonction de  $R_4$ ,  $R_3$  et  $v_2$  :

$$V^- = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2$$

5 – Expression de  $v_s$  en fonction de  $R_1, R_2, R_3, R_4, v_1$  et  $v_2$  :

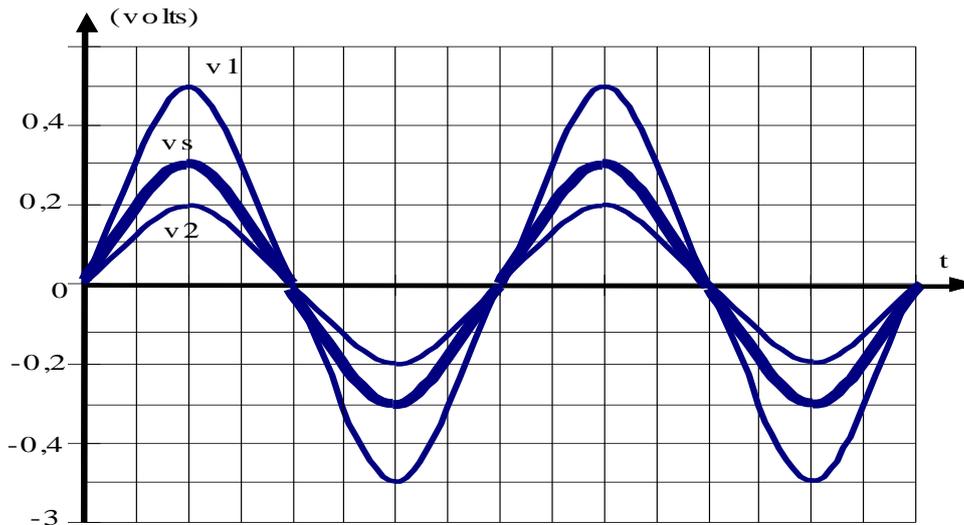
L'amplificateur étant parfait, on peut écrire

$$V^+ = V^- \Leftrightarrow \frac{R_2 v_1 + R_1 v_s}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 \text{ ce qui donne } v_s = \frac{R_1 + R_2 R_4}{R_3 + R_4 R_1} v_1 - \frac{R_2}{R_1} v_2$$

6 – Si  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ , expression de  $v_s$  en fonction de  $v_1$  et  $v_2$  :

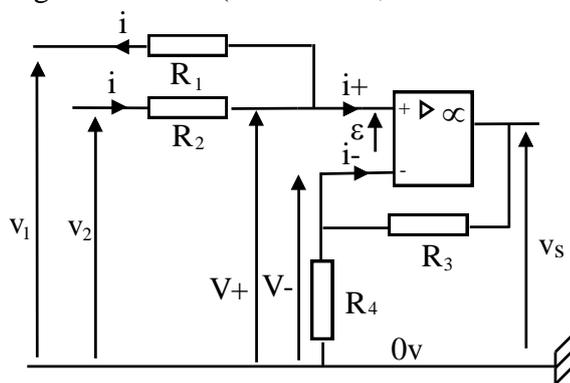
$$v_s = \frac{R + RR}{R + RR} v_1 - \frac{R}{R} v_2 = v_1 - v_2$$

7 – Courbes :



### Exercice N°11 : Montage sommateur non inverseur

Soit le montage suivant où l'amplificateur opérationnel est supposé parfait et fonctionnant en régime linéaire ( $i^+ = i^- = 0$  ;  $\varepsilon = v^+ - v^- = 0 \Rightarrow v^+ = v^-$ )



1 – Expression de  $i$  en fonction de  $v_1, v^+$  et  $R_1$ .

$$v_1 = -R_1 i + V^+ \Rightarrow i = \frac{V^+ - v_1}{R_1}$$

2 – Nouvelle expression de  $i$  en fonction de  $v^+, v_2$  et  $R_2$

$$-v_2 + R_2 i + V^+ = 0 \Rightarrow i = \frac{v_2 - V^+}{R_2}$$

3 – Expression de  $v^+$  en fonction de  $R_1, R_2, v_1$  et  $v_s$ .

En égalisant les deux expressions du courant  $i$  :

$$\frac{V^+ - v_1}{R_1} = \frac{v_2 - V^+}{R_2} \Rightarrow V^+ = \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2}$$

4 – Expression de  $v^-$  en fonction de  $R_4, R_3$  et  $v_s$ .

En appliquant le diviseur de tensions :  $V^- = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_s$

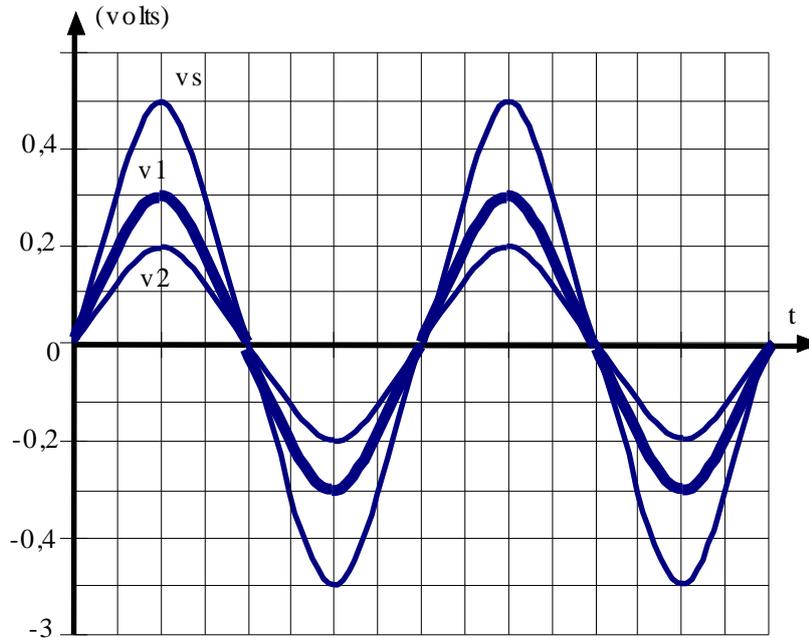
5 – Trouver alors l'expression de  $v_s$  en fonction de  $R_1, R_2, R_3, R_4, v_1$  et  $v_2$ .

L'amplificateur étant parfait, on peut écrire

$$V^+ = V^- \Leftrightarrow \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_s \text{ ce qui donne } v_s = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2}$$

6 – Si  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ , alors  $v_s = v_1 + v_2$

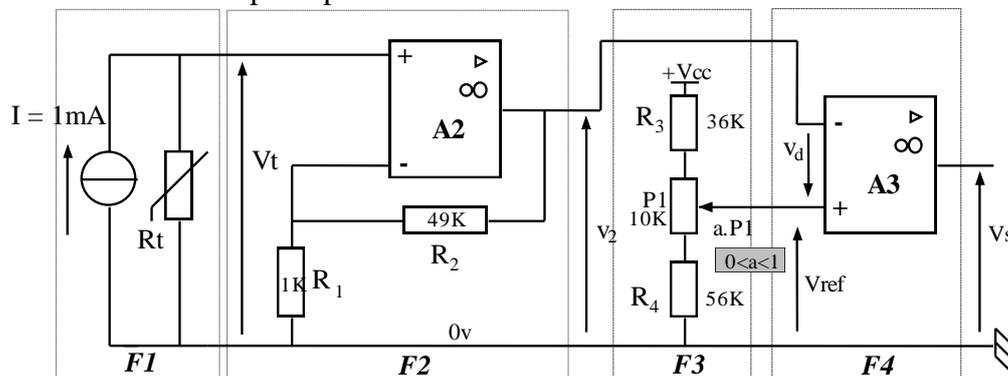
7 – Courbe de  $v_s$  :



## Exercice N°12 : Thermostat électrique

### A – Analyse fonctionnelle :

1 – Les différentes fonctions principales.

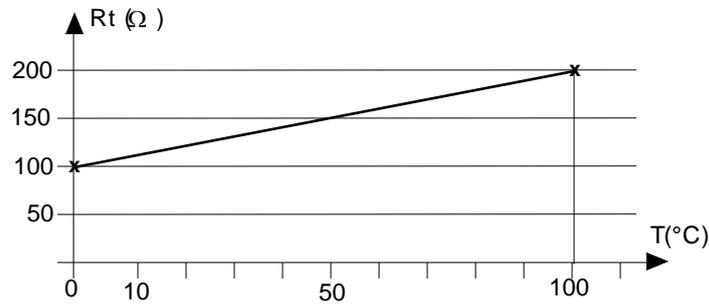


### B – Conversion température / tension ( Fonction F1 )

1 - Résistance du capteur  $R_t$  pour les températures  $0^\circ\text{C}$  et  $100^\circ\text{C}$  :

à  $0^\circ\text{C}$ ,  $R_t = R_0 = 100\Omega$  et à  $100^\circ\text{C}$ ,  $R_t = R_0(1 + a.T) = 100(1 + 0,01 \cdot 100) = 200\Omega$

2 - Allure de  $R_t = f(T^\circ)$  :

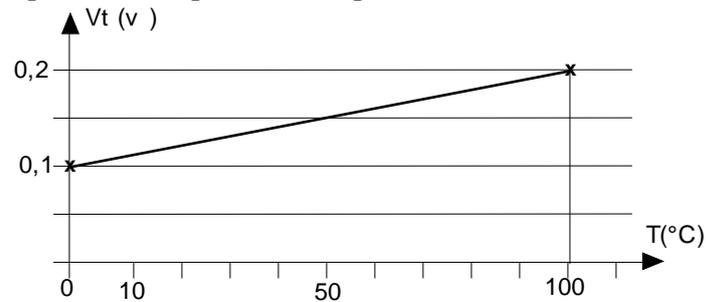


3 - Expression littérale de  $V_t$  en fonction de  $R_t$  et de  $I$  :  $V_t = R_t \cdot I$

4 -  $V_t$  pour les températures 0 et 100°C .

à 0°C ,  $V_t = R_t \cdot I = 100 \cdot 0,001 = 0,1V$  ; à 100°C ,  $V_t = 200 \cdot 0,001 = 0,2V$

5 - Allure de  $V_t = f(T^\circ)$  pour une température comprise entre 0 et 100°C .



### C - Amplification ( Fonction F2 )

1 - L'ALI fonctionne en régime linéaire car il y a une contre réaction ( réaction négative : la sortie est reliée à la borne inverseuse de A2 par l'intermédiaire de la résistance  $R_2 = 49 K\Omega$  )

2 - Expression littérale de  $V_2$  en fonction de  $V_t$  et des résistances :

fonctionnement linéaire :  $V^+ = V^-$  ; avec  $V^+ = V_t$  et  $V^- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2$

$$V^+ = V^- \Leftrightarrow V_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_t$$

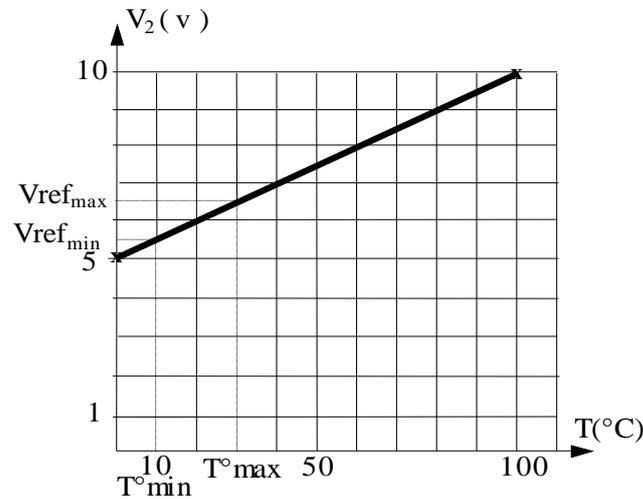
3 - Amplification  $A = V_2 / V_t$  :

$$V_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_t \Leftrightarrow A = \frac{V_2}{V_t} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{49 + 1}{1} = 50$$

4 - Valeur de  $V_2$  à 0°C et à 100°C :

à 0°C ,  $V_2 = 0,1 \cdot 50 = 5V$  ; à 100°C ,  $V_2 = 0,2 \cdot 50 = 10V$

5 -  $V_2 = f(T^\circ)$  pour une température comprise entre 0 et 100°C .



### D – Génération d’une tension de référence ( Fonction F3 )

1 - Expression littérale de Vref en fonction de Vcc, R3, R4, P1 et a .

Par le diviseur de tensions :

$$V_{ref} = \frac{V_{cc}(R_4 + a.P1)}{R_3 + R_4 + P1}$$

2 - Valeurs min. et max. de Vref pour les positions extrêmes du curseur de P1 :

♦Curseur en bas ( a = 0 et Vref est min ) :

$$V_{ref} = V_{ref_{min}} = \frac{V_{cc}(R_4)}{R_3 + R_4 + P1} = \frac{10.56}{36 + 56 + 10} = 5,49v$$

♦Curseur en haut ( a = 1 et Vref est max ) :

$$V_{ref} = V_{ref_{max}} = \frac{V_{cc}(R_4 + P1)}{R_3 + R_4 + P1} = \frac{10.(56 + 10)}{36 + 56 + 10} = 6,47v$$

### E – Comparaison ( Fonction F4 )

1 – C’est un comparateur inverseur à un seul fonctionnement en régime de saturation

2 – Valeur de Vs si :

♦ Tmesurée > Tconsigne :  $V_2 > V_{ref}$ ,  $V_- > V_+ \Rightarrow V_d < 0$  donc  $V_s = -V_{sat} = 0v$

♦ Tmesurée < Tconsigne :  $V_2 < V_{ref}$ ,  $V_- < V_+ \Rightarrow V_d > 0$  donc  $V_s = +V_{sat} = 10v$

3 – Le chauffage doit être activé lorsque Tmesurée < Tconsigne :  $V_s = +V_{sat} = +10v$

4 –Températures de consigne qu’il est possible de régler :

**Graphiquement** , en reportant les valeurs Vref min et max sur la courbe  $V_2 = f(T^\circ)$  , on obtient :  $T_{min} = 10^\circ C$  et  $T_{max} = 30^\circ C$

Par Calcul : on établit l’équation de la droite  $V_2 = f(T^\circ)$  , on exprime  $T^\circ$  en fonction de  $V_2$  puis on calcule  $T^\circ$  en remplaçant  $V_2$  par les valeurs min et max

L’équation de  $V_2 = f(T^\circ)$  est de la forme  $y = a.x + b$  :

$V_2 = a.T + b$  ; b ordonnée à l’origine , b =  $V_2$  pour  $T=0$  soit  $b = 5$

$$a \text{ coef directeur } a = \frac{\Delta V_2}{\Delta T} = \frac{10-5}{100-0} = 0,05v/^\circ$$

$$V_2 = 0,05T + 5 \Rightarrow T = 20V_2 - 100$$

Pour  $V_2 = V_{ref} = 5,49v$  on  $T = 9,8^\circ C$  et Pour  $V_2 = V_{ref} = 6,47V$  on a  $T = 29,4^\circ C$

( voir courbe )

On dispose donc d'un thermostat sur lequel on peut régler la température de mise en fonctionnement de chauffage de 10 à 30°C . Cette température correspond à la température voulue .

### **F – Modification du montage**

1 - Le fonctionnement de ce montage est instable .

lorsque le chauffage est en marche , la température augmente jusqu'à dépasser la température de consigne . Le chauffage s'arrête alors et se met en marche presque aussitôt après ( la température est redevenue inférieure à la consigne )

2 – On utilise un comparateur à hystérisis qui dispose de 2 seuils de basculement : lorsque le chauffage est en marche , la température augmente jusqu'à dépasser le seuil haut de la consigne . Le chauffage s'arrête alors et ne se remet en marche que lorsque la température est redevenue inférieure au seuil bas de la consigne .