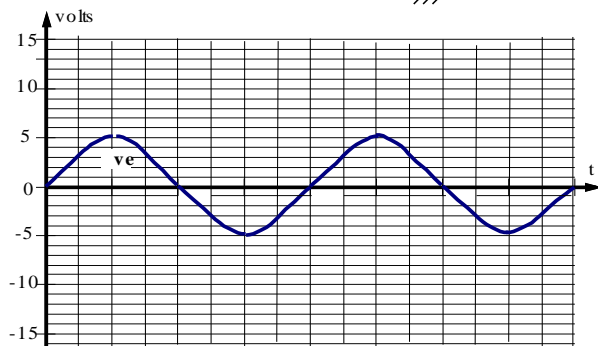
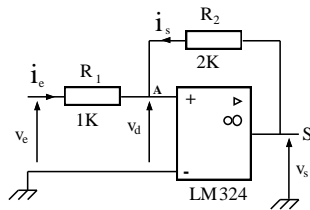


LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÉGRÉS (A. L. I). EXERCICES

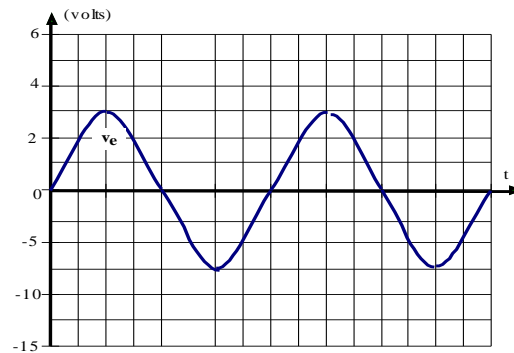
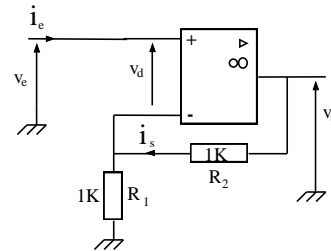
Exercice N°1

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).

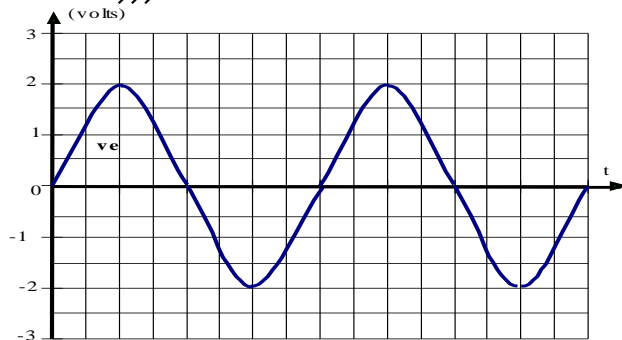
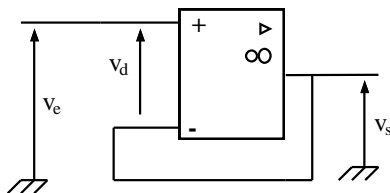
1 - Montage 1



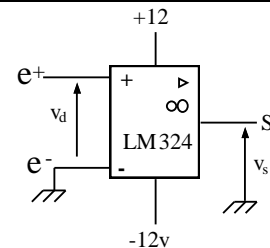
2 - Montage 2



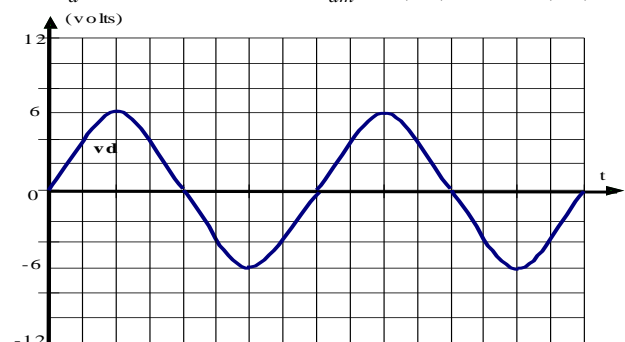
3 - Montage 3



4 - Montage 4

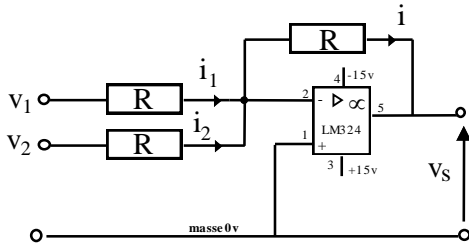


$$v_d = e^+ - e^- = e^+ = V_{dm} \sin(\omega t) = 6 \sin(\omega t)$$



Exercice N°2

A - On donne le montage suivant :

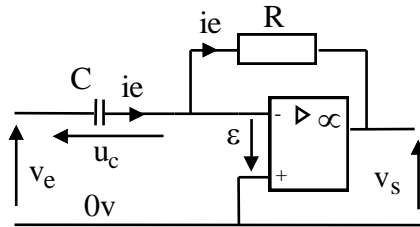


1 - Donner l'expression de $v_s(t)$ en fonction de $v_1(t)$ et $v_2(t)$, en déduire la fonction réalisée par ce montage

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.

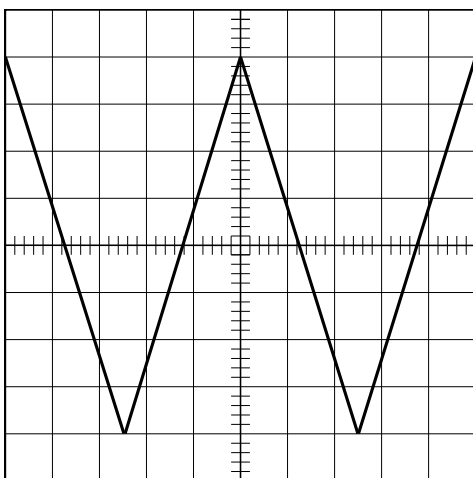
L'intensité du courant représente donc la quantité d'électricité par unité de temps. On rappelle que pour le condensateur : $q = C \cdot u_c$, avec q charge portée par une armature, C capacité du condensateur et u_c tension aux bornes du condensateur. Donner l'expression de i_e en fonction de C et u_c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

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.

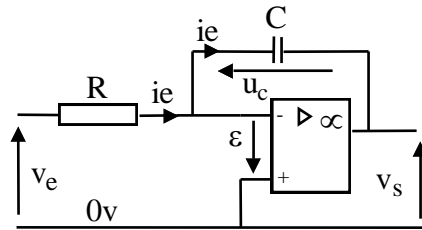
8 - Donner la valeur de la tension de sortie V_s pour $0 \leq t \leq T/2$.

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

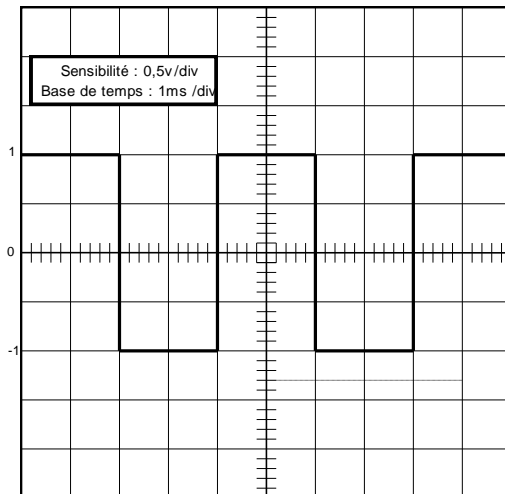
10- Tension de sortie pour $T/2 \leq t \leq 0$. Recommencer le calcul et donner la valeur de la tension de sortie V_s pour $T/2 \leq t \leq T$.

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_e 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 $i_e = C \frac{du_c}{dt}$ ce qui donne pour des variations finies $i_e = C(\Delta u_c / \Delta t)$.

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^{ème} période, donner les caractéristiques de i_e . Quelle est sa valeur ?

14 - Exression 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.

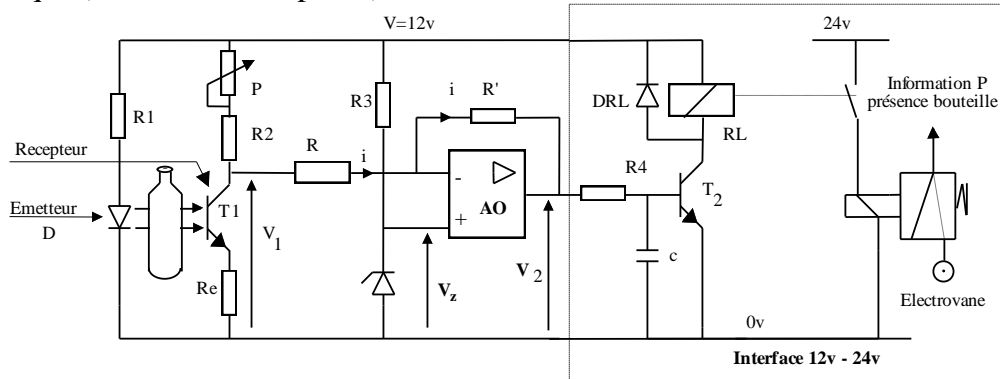
16-On rappelle que en $t' = T/2$, $t = T$.

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

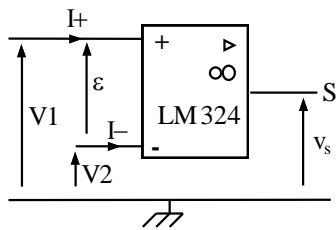
Rappel : Lors du fonctionnement linéaire , l'entrées inverseuse de l'A.L.I doit nécessairement être reliée à la sortie.

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 :



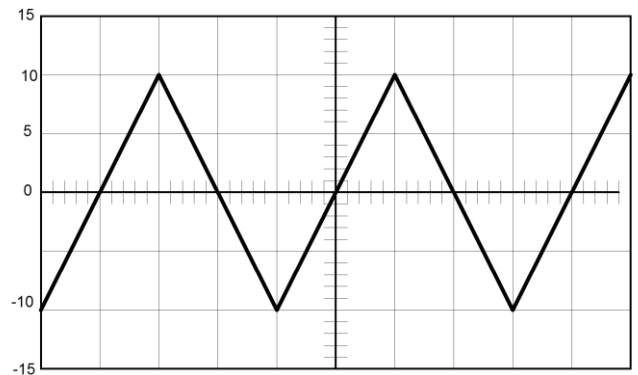
1 – Type de fonctionnement : Cocher les réponses corrects :

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

2 – Application numérique :

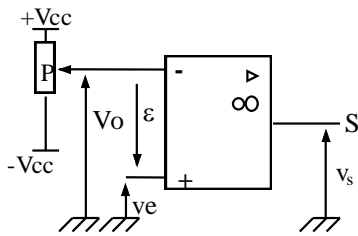
♦ On donne $V_{sat} = 14v$, $V_1 = 4v$ et $V_2 = -1v$, Donner la valeur de V_s .

♦ 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



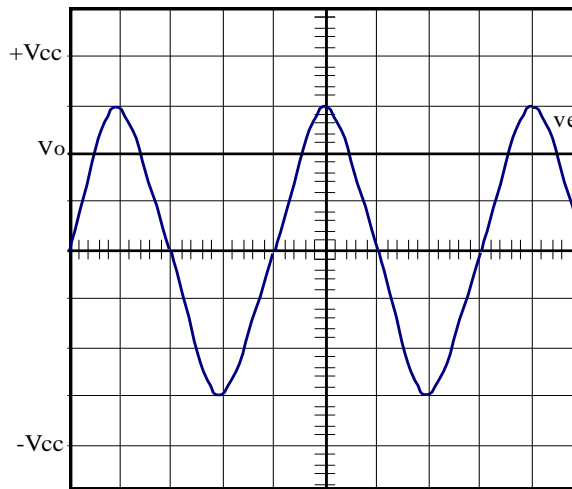
Exercice N°7 : Comparateur à un seuil

Soit le montage suivant :



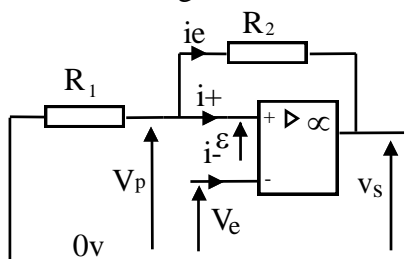
1 – L'ALI est supposé parfait (en particulier $i_+ = i_- = 0$).
Expliquer sommairement le fonctionnement de ce montage

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 :

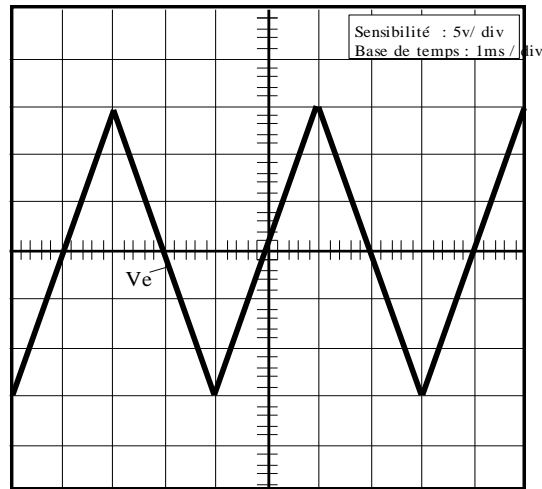
- Fonctionnement linéaire . Fonctionnement à saturation
 $\epsilon = 0$ $\epsilon \neq 0$ $V_s = 0v$ $V_s = \pm V_{sat}$

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 ϵ 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 ε au moment du basculement ?
 9 - On donne la tension d'entrée V_e :

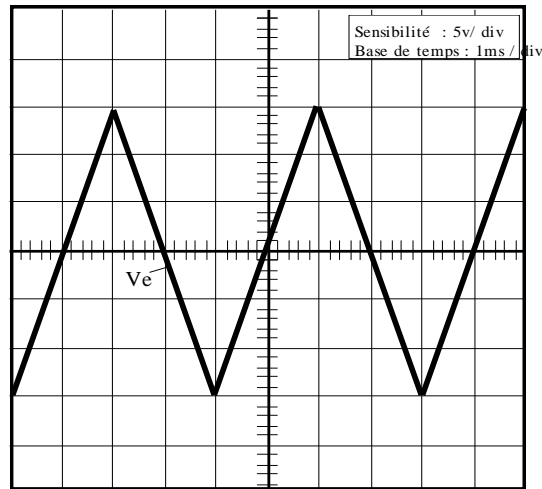


Donner la fréquence de V_e

- 10 - On suppose que $V_s = +V_{sat}$, quelle est la valeur de ε pour $t = 0$ ms ?
 11 - On part de $V_s = +V_{sat}$, V_e augmente et atteint -10 V. Quelle est la valeur de ε ?
 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 ε ?
 14 - On part de $V_s = +V_{sat}$, V_e augmente et dépasse 10 V. Comment est la valeur de ε ?
 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 ε ?
 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 ε ?
 20 - On part de $V_s = -V_{sat}$, V_e diminue et devient inférieur -10 V. Comment est la valeur de ε ?
 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 .



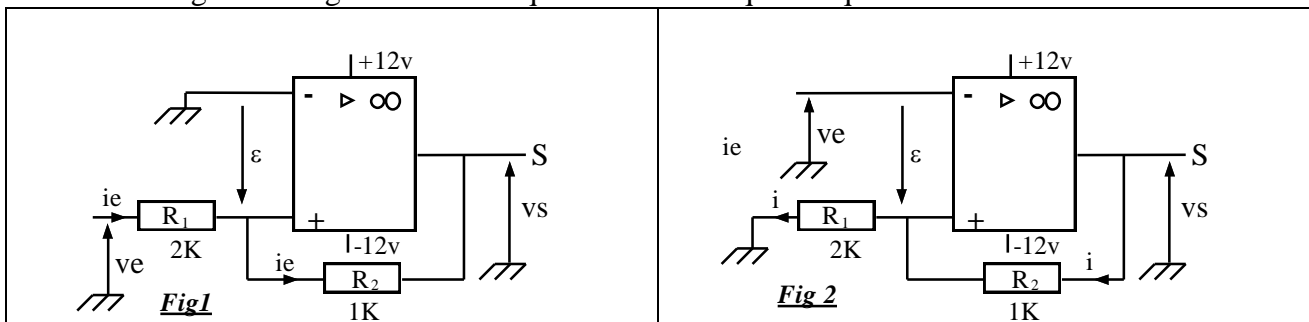
E – Etude de la caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$:

- 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 ϵ 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 $v_s = f(v_e)$.

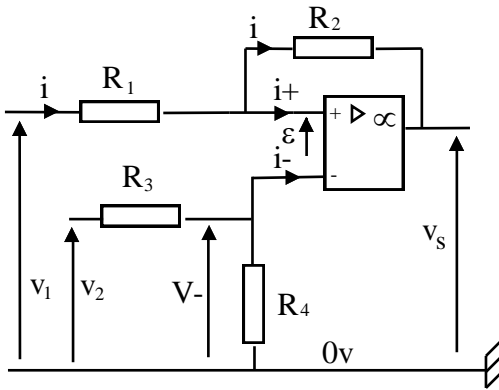
B - Structure avec inversion (trigger non inverseur)

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

- 1 – Donner l'expression de ϵ 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 ($i_+ = i_- = 0$; $\varepsilon = v_+ - v_- = 0 \Rightarrow v_+ = v_-$)



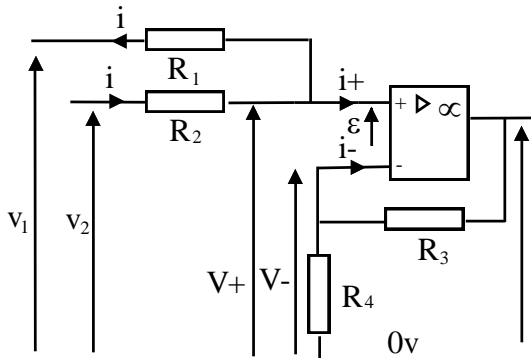
- 1 – Donner l'expression de i en fonction de v_1 , v_+ et R_1 .
- 2 – Donner une nouvelle expression de i en fonction de v_+ , v_s et R_2 .
- 3 – Dédire des deux questions précédentes l'expression de v_+ en fonction de R_1 , R_2 , v_1 et v_s .
- 4 – En utilisant le diviseur de tensions, donner l'expression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

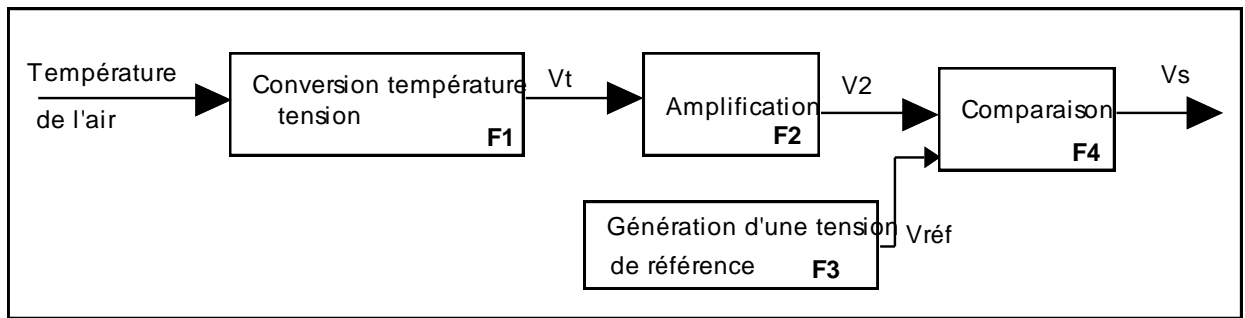
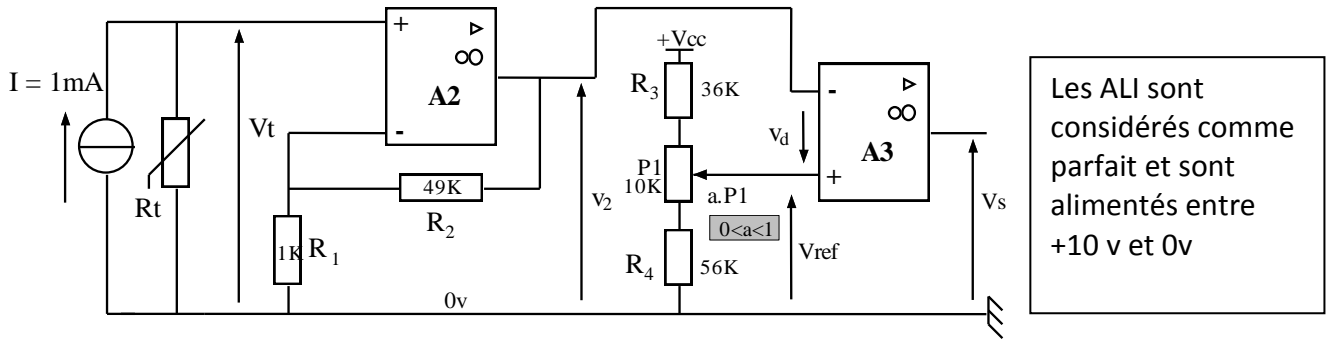


Schéma structurel :



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°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°C et 100°C :
- 2 - Représenter l'allure de $R_t = f(T^\circ)$ pour une température comprise entre 0 et 100°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°C .
- 5 - Représenter l'allure de $V_t = f(T^\circ)$ pour une température comprise entre 0 et 100°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°C et à 100°C .
- 5 - Représenter $V_2 = f(T^\circ)$ pour une température comprise entre 0 et 100°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

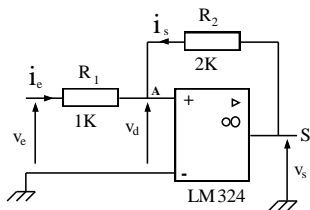
1 - Indiquer quel est le principal défaut de ce thermostat

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

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

Exercice N°1 : Rappels

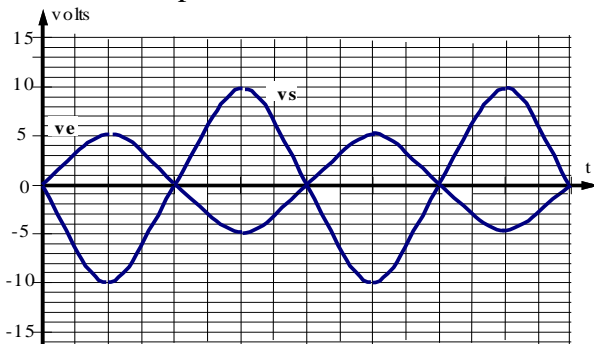
1 - Montage 1



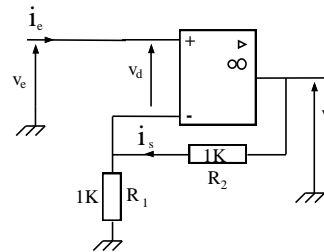
Il s'agit d'un amplificateur inverseur, la tension de sortie s'écrit :

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

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

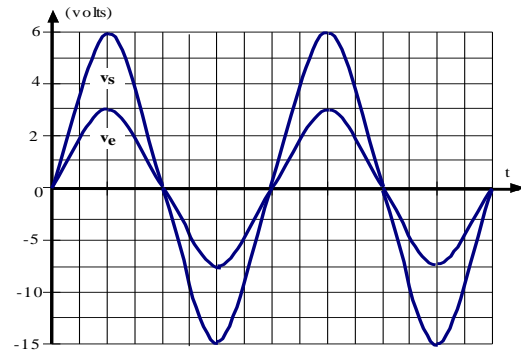


2 - Montage 2

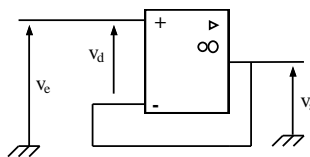


Il s'agit d'un amplificateur non inverseur, la tension de sortie s'écrit :

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

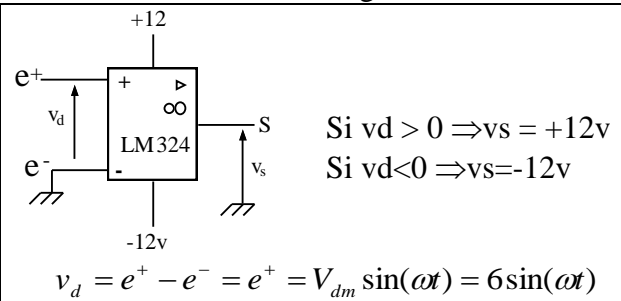


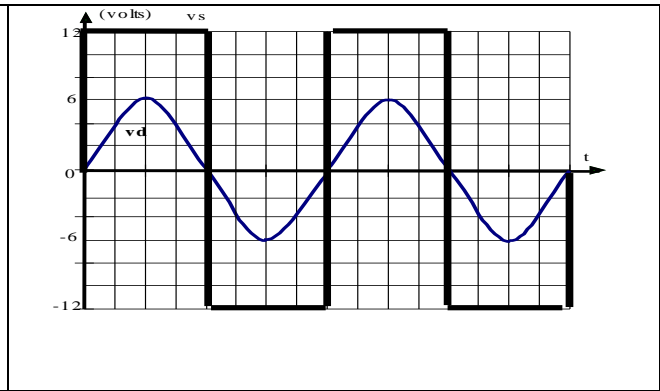
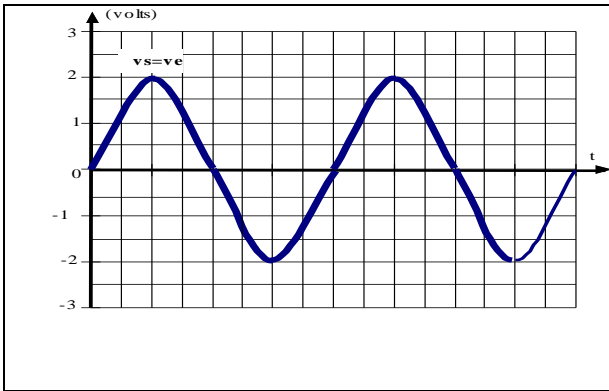
3 - Montage 3



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 :

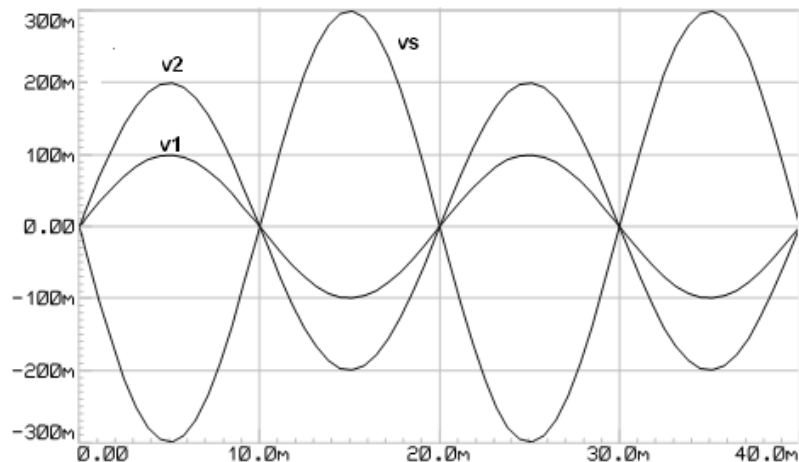
$$v_1 = R \cdot i_1 \Rightarrow i_1 = \frac{v_1}{R} \quad \text{et} \quad v_2 = R \cdot i_2 \Rightarrow i_2 = \frac{v_2}{R}$$

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

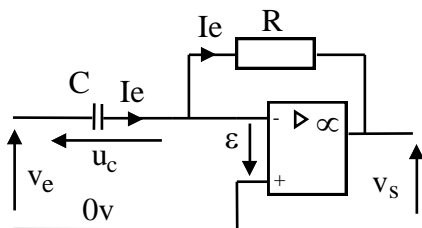
$v_s = -(v_1 + v_2)$: Le montage constitue un sommateur inverseur .

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 : $RC = 10^4 \cdot 10^2 \cdot 10^{-9} = 10^{-3}$

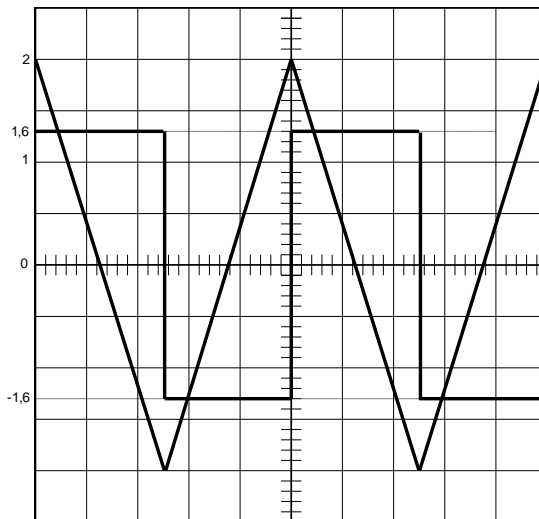
8 - Valeur de v_s : $v_s = -RC \frac{dv_e}{dt} = -10^{-3} \frac{d(-1600t)}{dt} = +1,6v$

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 : $v_s = -1,6v$

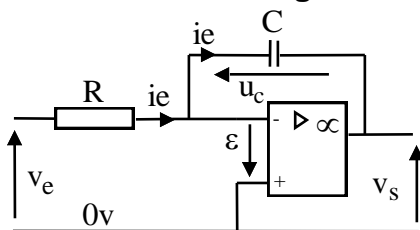
11- Tension de sortie v_s : c'est un signal carré d'amplitude 1,6v en opposition de phase avec v_e :



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 : $v_s = -u_c$

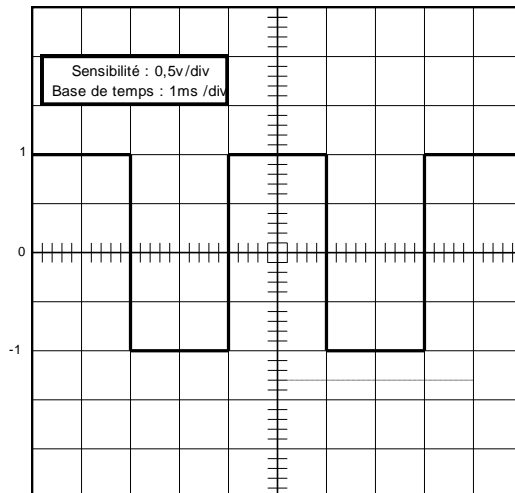
4 - Expression de i_e en fonction de v_e et R : $i_e = \frac{v_e}{R}$

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^{ème} 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 $t' = T/2 = 2\text{ms}$: $u'_c = -10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} + 10 = -10\text{v}$

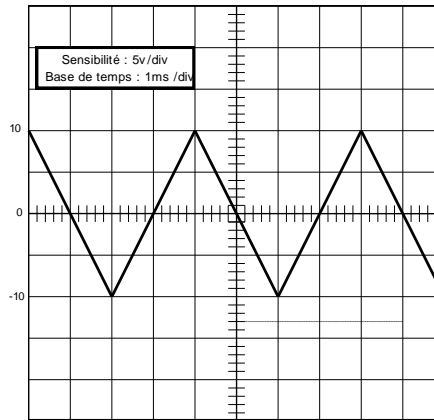
17- signal de sortie : Expression de $v_s(t)$: les études précédentes nous amène à découvrir que :

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

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 :

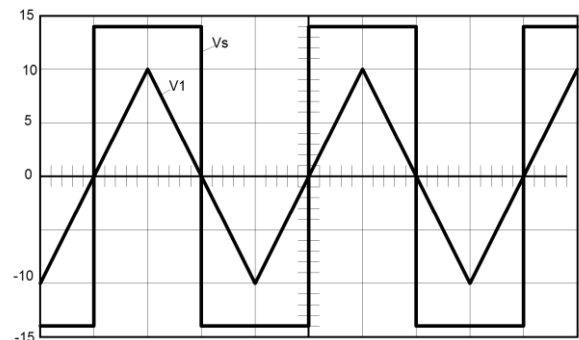
• $\varepsilon = V_1 - V_2 = 4 - (-1) = +5v > 0$

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

• 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 $V_s = -V_{sat} = -14v$



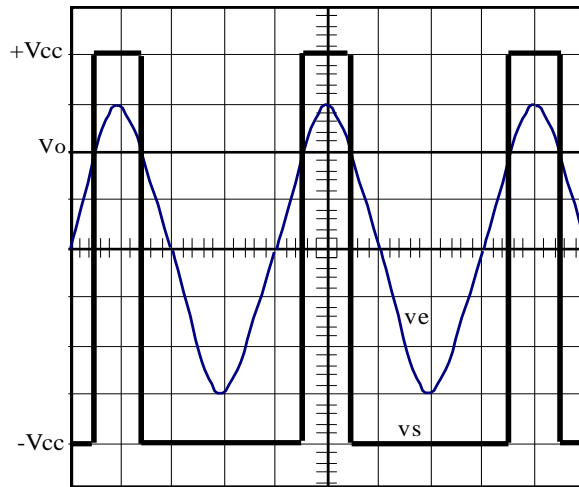
Exercice N°7 : Comparateur à un seuil

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 $v_s = -V_{sat}$

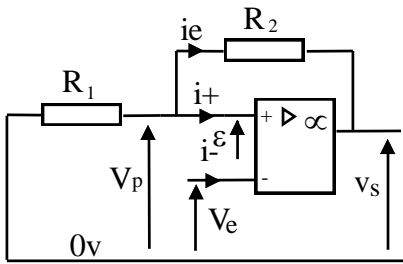
♦ $\varepsilon = v_e - V_o > 0$ si $v_e > V_o$ donc $v_s = +V_{sat}$

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 :

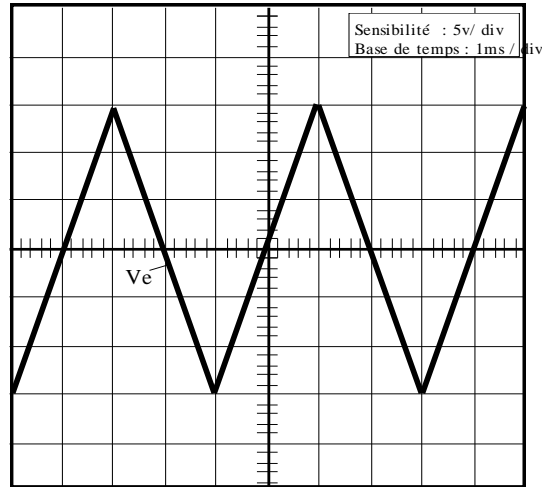
$$V_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} = \frac{2.10^3}{2.10^3 + 10^3} (-15) = -10v$$

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 ε 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 ε 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 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 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 V car $\varepsilon < 0$.

15 - On part de $V_s = +V_{\text{sat}}$, V_e augmente et dépasse 10 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 V : $\varepsilon = V_p - V_e = -10 - 10 = -20 \text{ v}$.

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

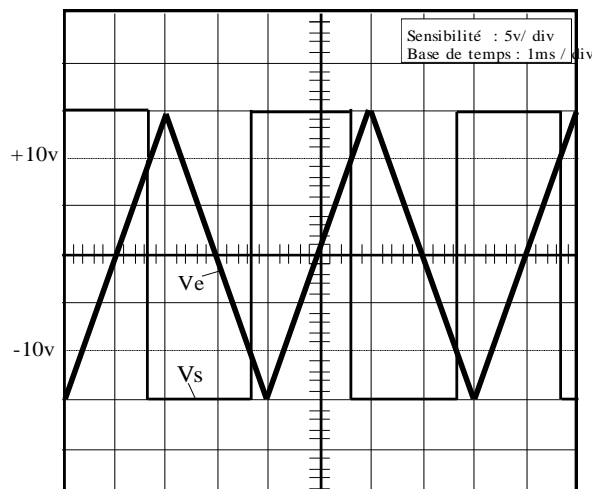
19 - On part de $V_s = -V_{\text{sat}}$, V_e diminue et atteint -10 V , $\varepsilon = V_p - V_e = -10 - (-10) = 0 \text{ v}$

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

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

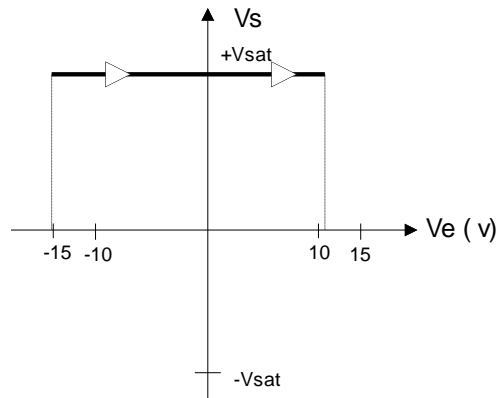
D - Etude de la tension de sortie :

La courbe V_s .

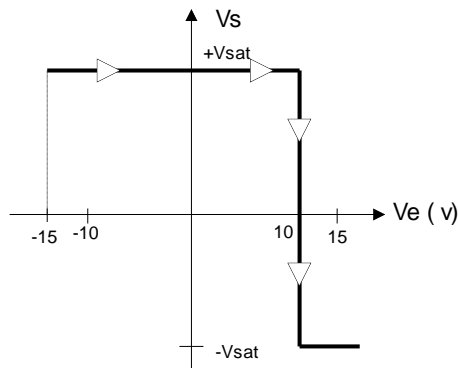


E – Etude de la caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$:

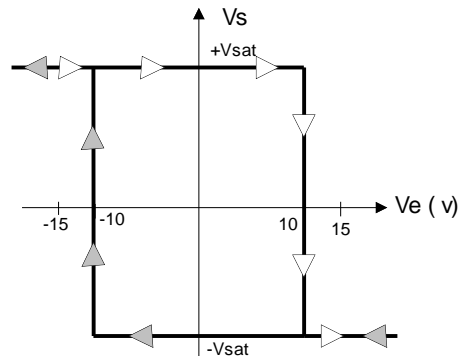
1 - On suppose que $V_s = +V_{sat} = 15V$ et que V_e varie de $-15V$ à $+10V$: allure de V_s .



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 :



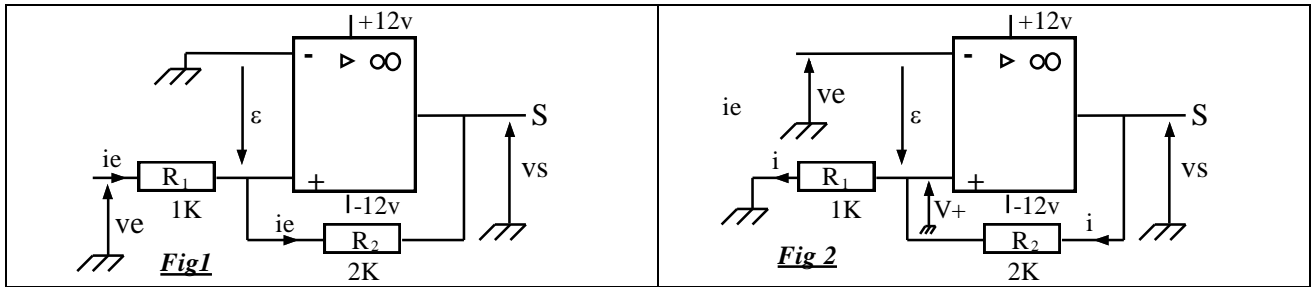
3 - On suppose que $V_s = +V_{sat} = 15V$ au départ et que V_e varie de $-15V$ à $+15V$ puis de $+15V$ à $-15V$, la courbe de la tension V_s :



Exercice N°9 : Comparateur à deux seuils

A – Structure sans inversion (trigger non inverseur)

--	--



1 - Expression de ε 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 $v_e = V_{T-} = -\frac{1}{2} V_{sat} = -\frac{1}{2} \cdot 12 = -6v$

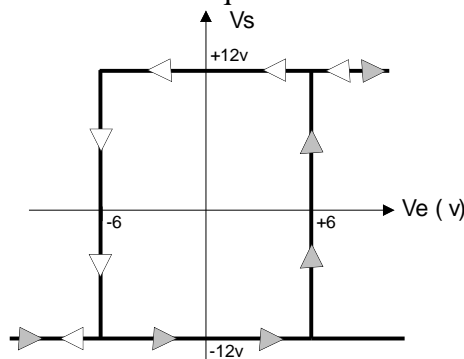
Pour $v_s = - V_{sat} = -12v$, on a $v_e = V_{T+} = -\frac{1}{2} V_{sat} = -\frac{1}{2} \cdot (-12) = +6v$

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 ε 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 :

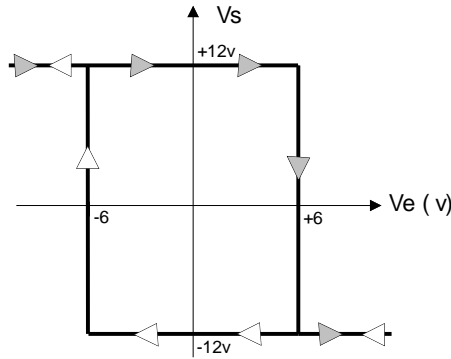
$$V_T^- = -\frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat} = -\frac{1}{1+2} 12 = -6v \quad \text{et} \quad V_T^+ = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{sat} = \frac{1}{1+2} 12 = 6v$$

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

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

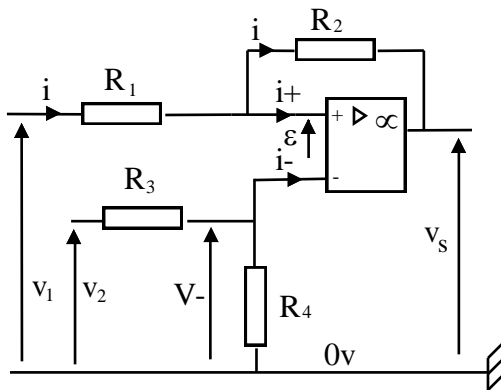
$$v_s = V_{cc} = 12v \text{ si } \varepsilon > 0 \text{ c'est-à-dire } v_e < \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{cc} = V_T^+ = 6v$$

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 :

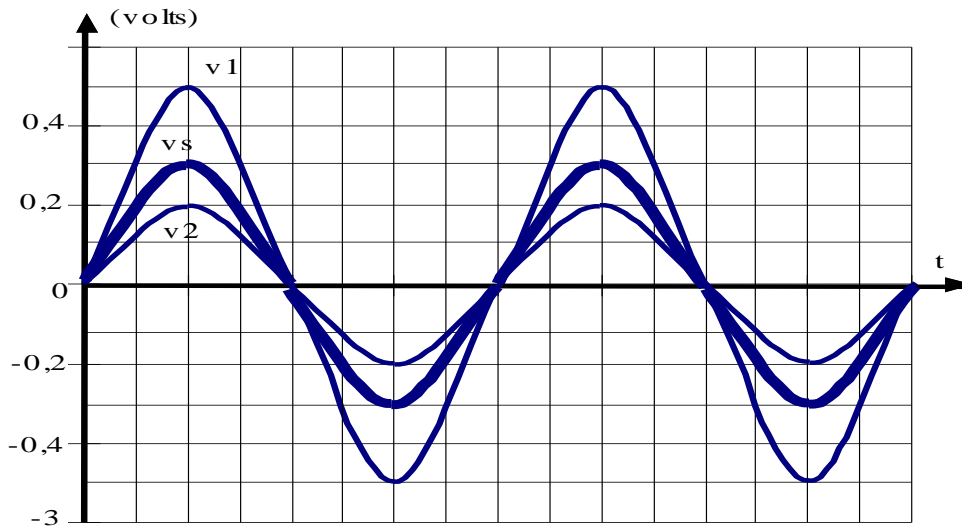
L'amplificateur étant parfait, on peut écrire

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

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

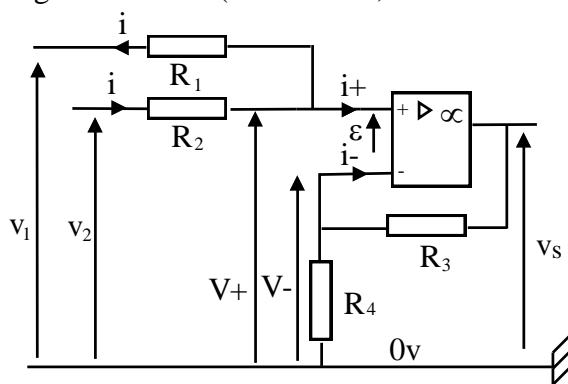
$$v_s = \frac{R + RR}{R + RR} v_1 - \frac{R}{R} v_2 = v_1 - v_2$$

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

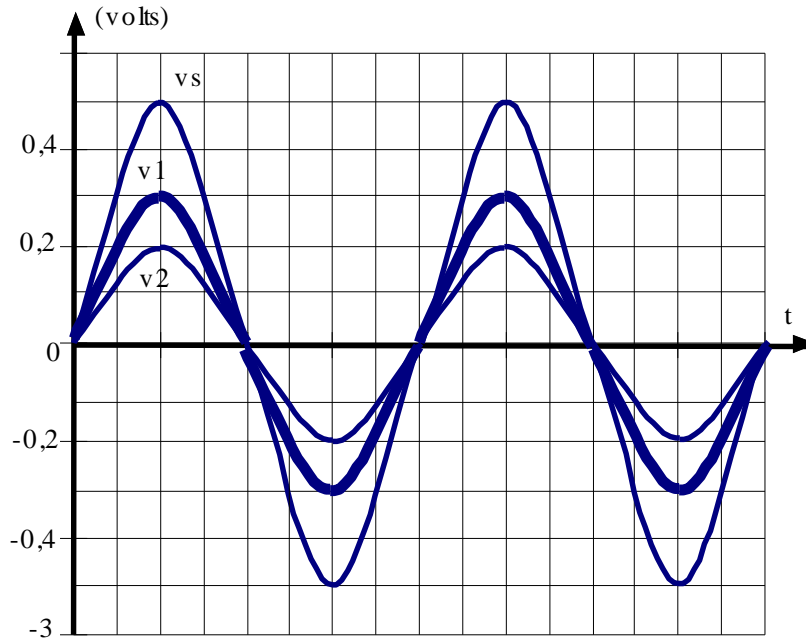
5 – Trouver alors l'expression de v_s en fonction de R_1, R_2, R_3, R_4, v_1 et v_2 .

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 $v_s = v_1 + v_2$

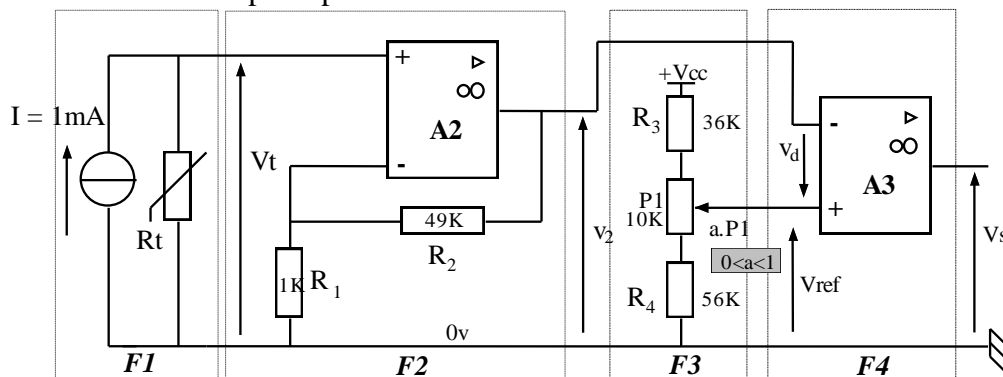
7 – Courbe de v_s :



Exercice N°12 : Thermostat électrique

A – Analyse fonctionnelle :

1 – Les différentes fonctions principales.

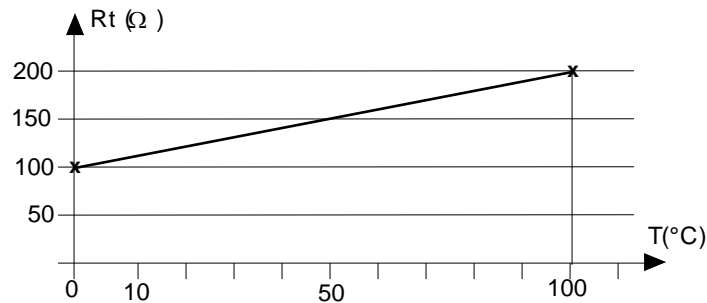


B – Conversion température / tension (Fonction F1)

1 - Résistance du capteur R_t pour les températures 0°C et 100°C :

à 0°C , $R_t = R_0 = 100\Omega$ et à 100°C , $R_t = R_0(1 + a.T) = 100(1 + 0,01 \cdot 100) = 200\Omega$

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

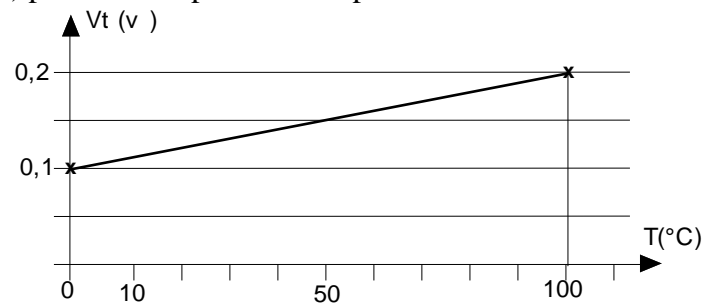


3 - Expression littérale de V_t en fonction de R_t et de I : $V_t = R_t \cdot I$

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

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

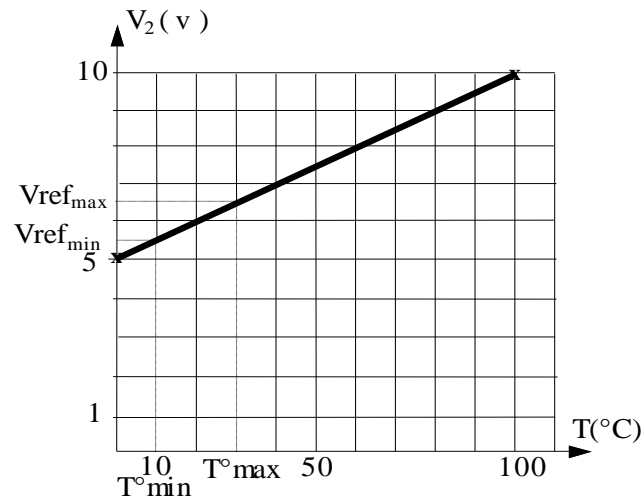
3 - Amplification $A = V_2 / V_t$:

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

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 : V₂ > Vref , V- > V+ ⇒ Vd < 0 donc Vs = -Vsat = 0v

♦ Tmesurée < Tconsigne : V₂ < Vref , V- < V+ ⇒ Vd > 0 donc Vs = +Vsat = 10v

3 – Le chauffage doit être activé lorsque Tmesurée < Tconsigne : Vs = +Vsat = +10v

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

Graphiquement , en reportant les valeurs Vref min et max sur la courbe V₂ = f(T°) , on obtient : Tmin = 10°C et Tmax = 30°C

Par Calcul : on établit l'équation de la droite V₂ =f(T°) , on exprime T° en fonction de V₂ puis on calcule T° en remplaçant V₂ par les valeurs min et max

L'équation de V₂=f(T°) est de la forme y = a.x + b :

V₂ = a.T + b ; b ordonnée à l'origine , b = V₂ 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 V₂ = Vref = 5,49v on T = 9,8°C et Pour V₂ = Vref = 6,47V on a T = 29,4°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 .