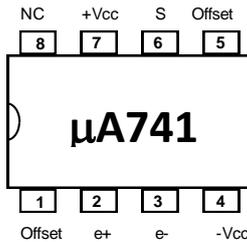


LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÉGRÉS : A.L.I

A - Mise en situation : Présentation du système : Système de tri avec alimentation et déchargement automatique des postes de destination (voir livre de cours page 225)

B - Rappels : Réaliser l'activité 1 page 132

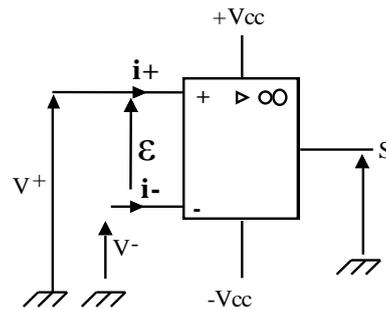
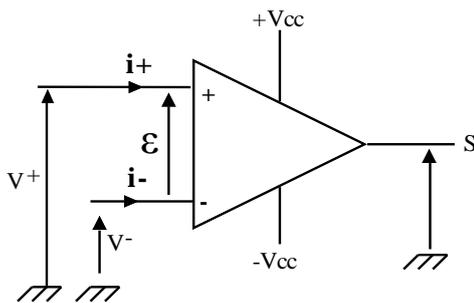
1 - Exemple d'un amplificateur linéaire intégré : $\mu A741$ linéaire



Le circuit intégré utilisé est du type $\mu A 741$ comporte 8 broches.

- 1 - Réglage de décalage de tension.
- 2 - Entrée inverseuse : e^- .
- 3 - Entrée non inverseuse : e^+ .
- 4 - Polarisation V_p (négative) : $-V_{cc}$ ou $0V$.
- 5 - Réglage du décalage en tension.
- 6 - Sortie.
- 7 - Polarisation V_p (positive) : $+V_{cc}$.

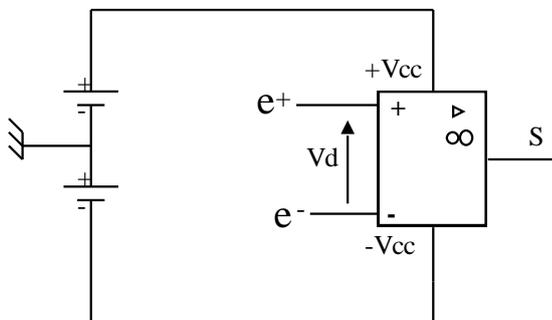
2 - Symbole :



3 - Polarisation et caractéristiques d'un A.L.I :

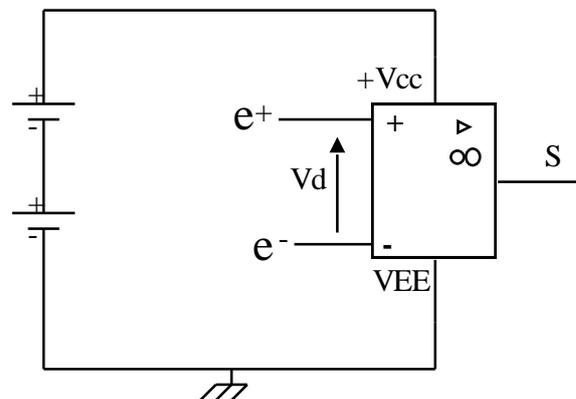
Par une source de tension continue à point milieu

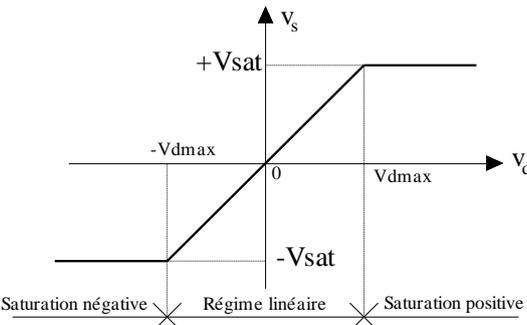
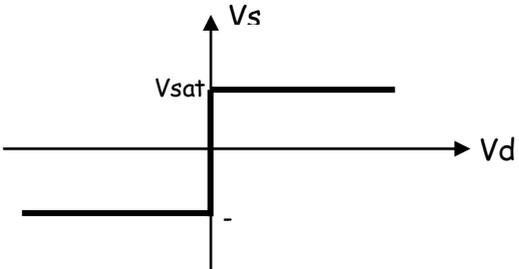
(polarisation symétrique)



Par une source de tension continue

(polarisation asymétrique)



Amplificateur réel	Amplificateur idéal
<p>Une amplification différentielle élevée : $A_{ds} = V_s / V_d$.</p> <p>Une tension différentielle d'entrée : $V_d = V_{E^+} - V_{E^-}$</p> <p>Une impédance d'entrée différentielle élevée : Z_e</p> <p>Une impédance de sortie très faible : Z_s</p> <p>Un courant de décalage très faible : $i_{E^+} \cong i_{E^-} \cong 0$.</p> 	<p>Une amplification différentielle <u>infinie</u> : $A_{vo} = \infty$.</p> <p>Une tension différentielle d'entrée <u>nulle</u> : $V_d = V_{E^+} - V_{E^-} = 0$</p> <p>Une impédance d'entrée différentielle <u>infinie</u> : $Z_e = \infty$</p> <p>Une impédance de sortie <u>nulle</u> : $Z_s = 0$</p> <p>Un courant de décalage <u>nul</u> : $i_{E^+} = i_{E^-} = 0$.</p> 

On distingue trois zones :

- une zone linéaire où v_s est proportionnelle à v_d ($v_s = A_{vo} v_d$) : → Le régime de fonctionnement de l'ALI est linéaire (amplificateur de faibles signaux, additionneur, soustracteur, générateur de signaux etc..)
- deux zones de saturations : $v_s = +V_{cc}$ si $v_d > 0$; $v_s = -V_{cc}$ si $v_d < 0$. Si $|v_s| = V_{cc}$, on dit que l'ALI est saturé : → Fonctionnement en régime de saturation (ALI en boucle ouverte la tension de sortie V_s ne peut prendre que deux valeurs : $+V_{sat} \approx +V_{cc}$ ou $-V_{sat} \approx -V_{cc}$)

4 - Schéma équivalent en régime linéaire :

L'ALI est un quadripôle : le dipôle d'entrée est un récepteur et le dipôle de sortie est générateur :

Schéma équivalent réel :

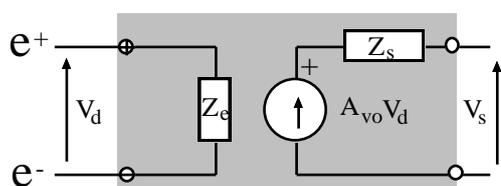
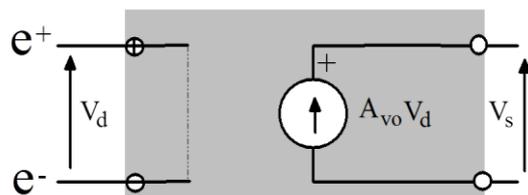
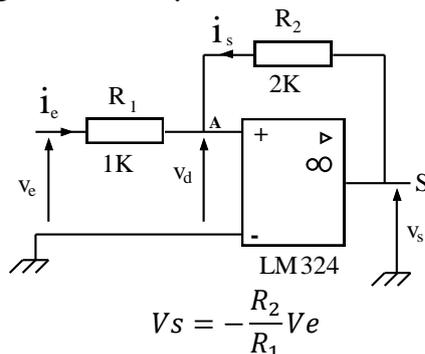


Schéma équivalent idéal :

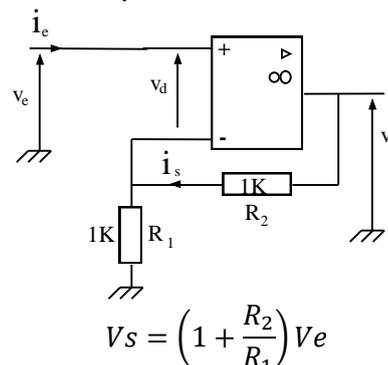


5 - Applications (ALI est supposé parfait et fonctionnant en régime linéaire)

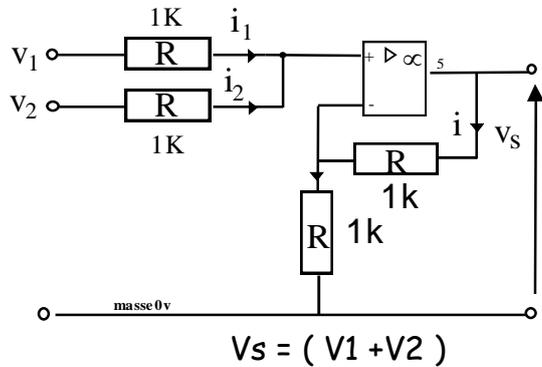
Montage n°1 : Amplificateur inverseur



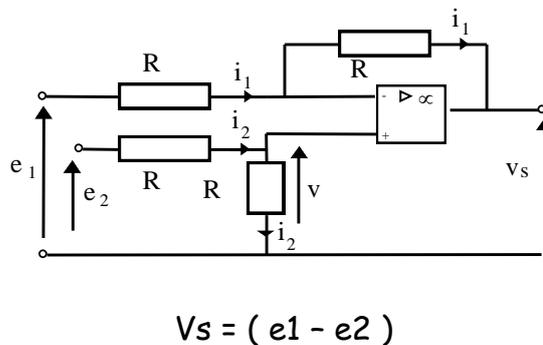
Montage 2 : Amplificateur non inverseur



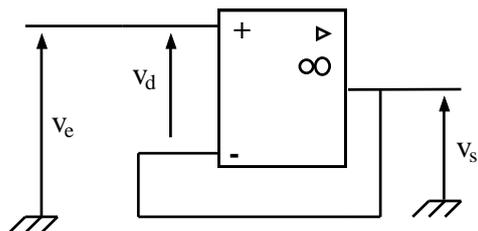
Montage 3 : Sommateur non inverseur



Montage 4 : Amplificateur soustracteur



Montage 5 : Suiveur de tension : adaptateur d'impédance

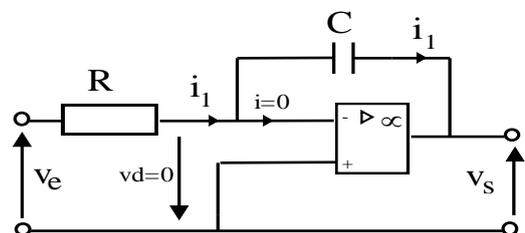


Remarque : Le fonctionnement en régime linéaire s'obtient en réalisant une contre réaction (rebouclage de la sortie sur l'entrée inverseuse e- direct ou par une résistance pour limiter l'amplification)

C - Autres applications en régime linéaire :

1 - Montage intégrateur :

D'après le schéma on peut écrire les équations suivantes



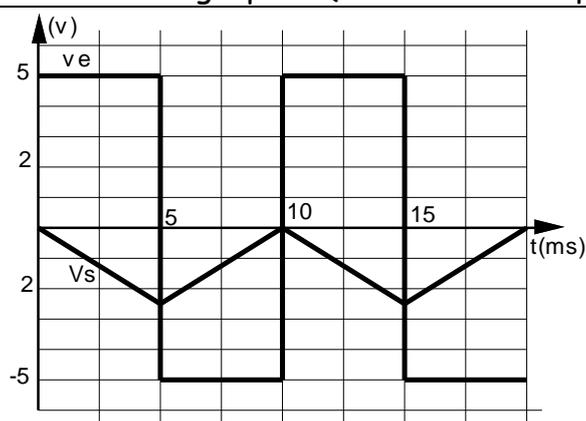
$$v_e = R_1 i_1 \Rightarrow i_1 = \frac{v_e}{R} \quad (1) , \quad i_1 = -\frac{dq}{dt} = -C \frac{dv_s}{dt} \quad (2)$$

$$(1) = (2) \Rightarrow -C \frac{dv_s}{dt} = \frac{v_e}{R} \Leftrightarrow dv_s = -\frac{1}{RC} v_e dt$$

$$\text{d'où} \quad v_s = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_e dt$$

Opération réalisée : intégration et inversion de v_e .

Activité 1 : $V_e(t)$ est une tension carrée alternative d'amplitude 5v et de fréquence $f=100\text{Hz}$ $|+V_{cc}| = |-V_{cc}| = 12\text{V}$ (tensions de polarisation) ; $C=1\mu\text{F}$ et $R=10\text{k}\Omega$. Tracer $V_e(t)$ et $V_s(t)$ sur le même graphe . (utiliser une maquette ou un logiciel de simulation)



Pour $0\text{ms} < t < 5\text{ms}$ on a $v_e(t) = 5\text{v}$

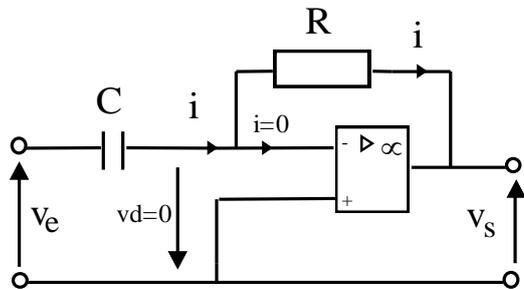
$$V_s = -\frac{1}{RC} \int v_e(t) dt = -\frac{1}{10^4 \cdot 10^{-6}} \int 5 dt = -0,5 \cdot 10^3 t$$

Pour $5\text{ms} < t < 10\text{ms}$ on a $V_e(t) = -5\text{v}$

$$V_s = -\frac{1}{RC} \int v_e(t) dt = -\frac{1}{10^4 \cdot 10^{-6}} \int (-5) dt = 0,5 \cdot 10^3 t + V_{so}$$

Pour $t = 5\text{ms} \Rightarrow V_s = -2,5\text{v}$ $V_{so} = -5\text{v} \Rightarrow V_s(t) = 0,5 \cdot 10^3 t - 5$

2 - Montage dérivateur :



$$v_s = -R i \Rightarrow i = -\frac{v_s}{R} \quad (1) \quad i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dv_e}{dt} \quad (2)$$

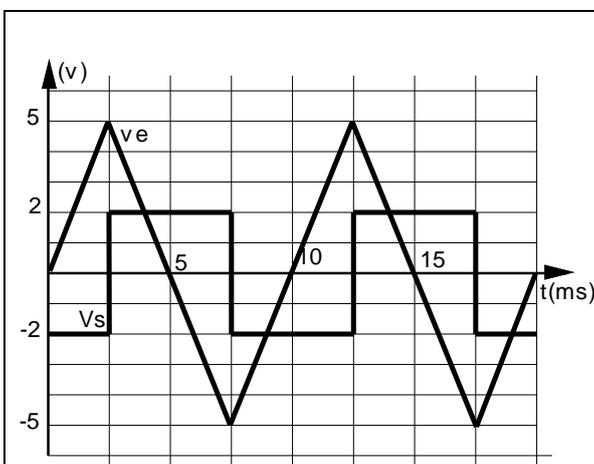
$$(1) = (2) \Rightarrow C \frac{dv_e}{dt} = -\frac{v_s}{R} \Leftrightarrow v_s = -RC \frac{dv_e}{dt}$$

$$\text{d'où} \quad v_s = -RC \frac{dv_e}{dt}$$

Opération réalisée : dérivation et inversion de v_e .

Activité 2 : $V_e(t)$ est une tension triangulaire alternative d'amplitude 5v et de fréquence $f=100\text{Hz}$

$|+V_{cc}| = |-V_{cc}| = 12\text{V}$ (tensions de polarisation) ; $C=1\mu\text{F}$ et $R=10\text{k}\Omega$. Tracer $V_e(t)$ et $V_s(t)$ sur le même graphe . (utiliser une maquette ou un logiciel de simulation)



• Pour $0 < t < 2,5\text{ms}$, on $V_e(t) = at$ avec

$$\frac{V_e(t)}{t} = \frac{5}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^3$$

D'où $V_e(t) = 2 \cdot 10^3 t$

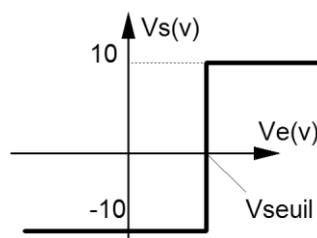
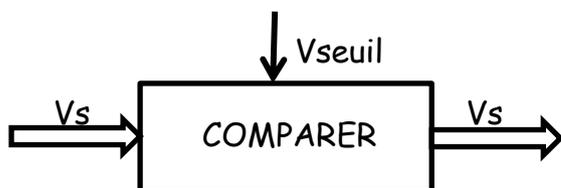
$$V_s = -RC \frac{dV_e(t)}{dt} = -10^3 \cdot 10^{-6} \frac{d(2 \cdot 10^3)}{dt} = -2\text{v}$$

• Pour $(2,5 < t < 7,5)\text{ms}$ $V_s = 2\text{v}$ avec changement de repère

C- Fonctionnement en régime de saturation : (Fonction COMPARER)

Il s'obtient sans contre réaction (fonctionnement en boucle ouverte) ou avec un rebouclage de la sortie sur l'entrée non inverseuse $e+$.

La fonction «COMPARER» permet de situer un signal d'entrée par rapport à une valeur de consigne (seuil) . L'ALI fonctionne donc en régime de commutation .



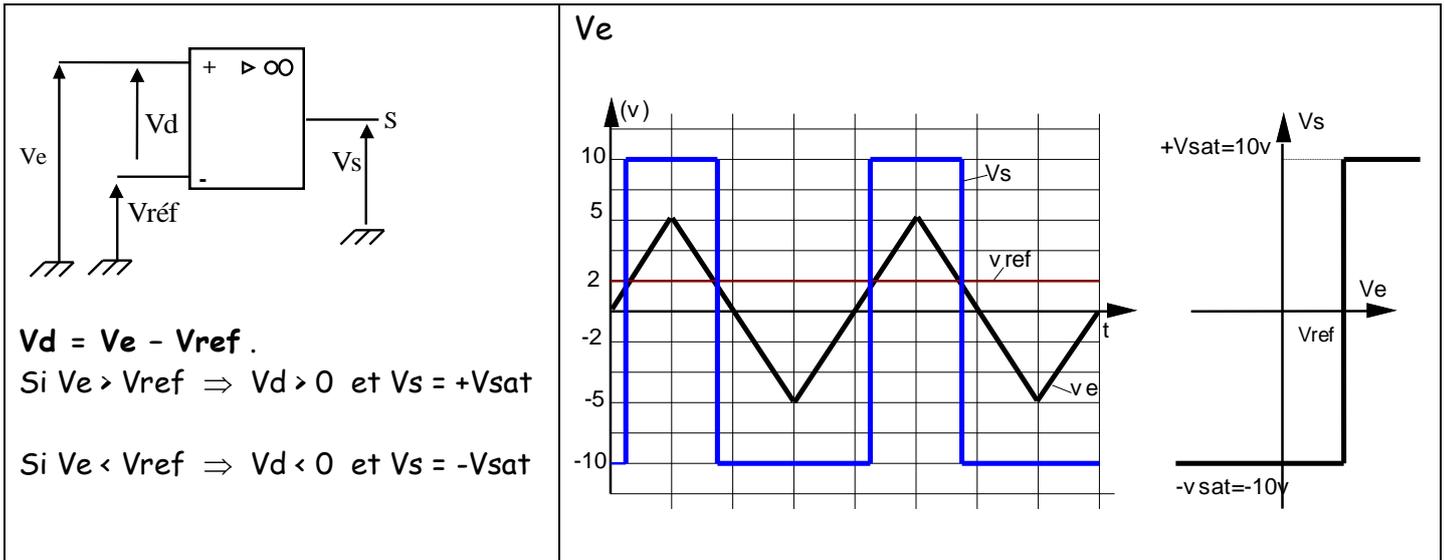
Si $V_e > V_{seuil}$ alors $V_s = 10\text{V}$

Si $V_e < V_{seuil}$ alors $V_s = -10\text{V}$

1 - Montages comparateurs simples (à un seul seuil)

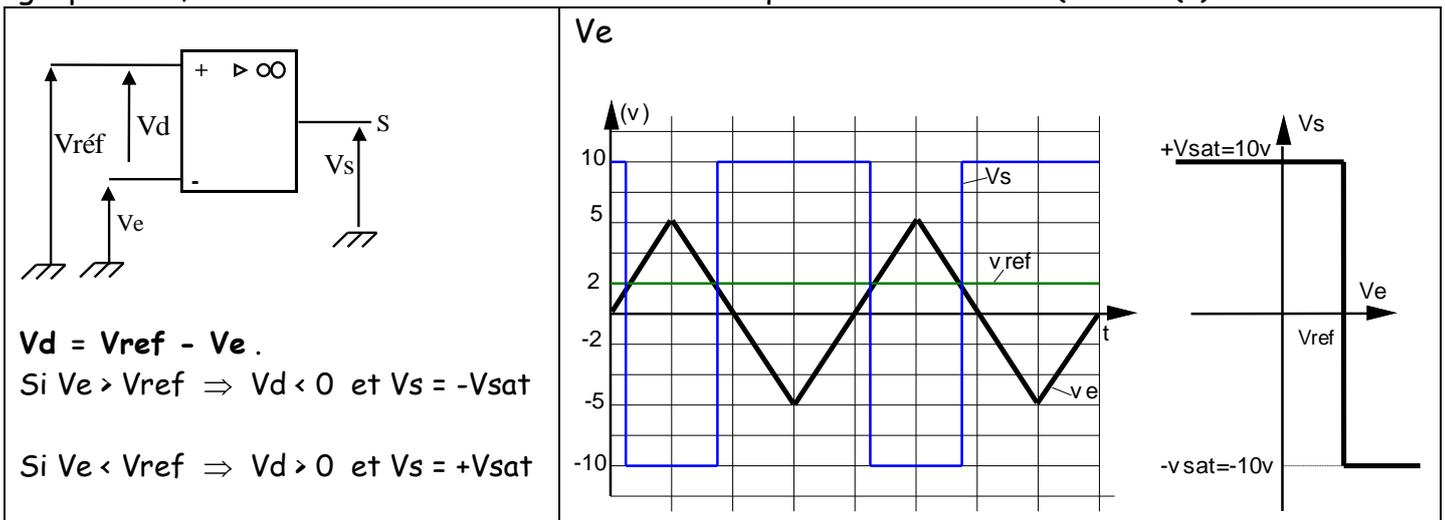
a - Comparateur non inverseur à un seuil : Activité 1

La tension d'entrée V_e , appliquée sur l'entrée **non inverseuse**, est une tension triangulaire d'amplitude 5v, $V_{ref} = 2v$, $V_{sat} = \pm 10v$. En utilisant le logiciel ISIS visualiser sur le même graphe V_e , V_{ref} et V_s . En déduire la caractéristique de transfert $V_s(t) = V_e(t)$.



b - Comparateur inverseur à un seuil : Activité 2

La tension d'entrée V_e , appliquée sur l'entrée **inverseuse**, est une tension triangulaire d'amplitude 5v, $V_{ref} = 2v$, $V_{sat} = \pm 10v$. En utilisant le logiciel ISIS visualiser sur le même graphe V_e , V_{ref} et V_s . En déduire la caractéristique de transfert $V_s(t) = V_e(t)$.

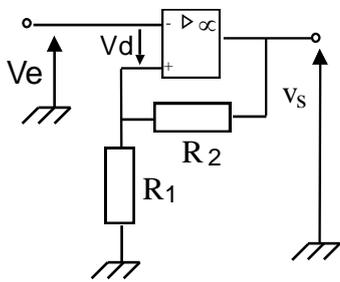


1 - Montages comparateurs à hystérésis (à un deux seuils symétriques)

Ces montages comparateurs, appelés aussi «Trigger de Schmitt), ont la particularité de posséder 2 seuils de basculement (de comparaison) un à la descente et un à la montée

a - Comparateur inverseur à double seuils : (trigger inverseur) : activité 3

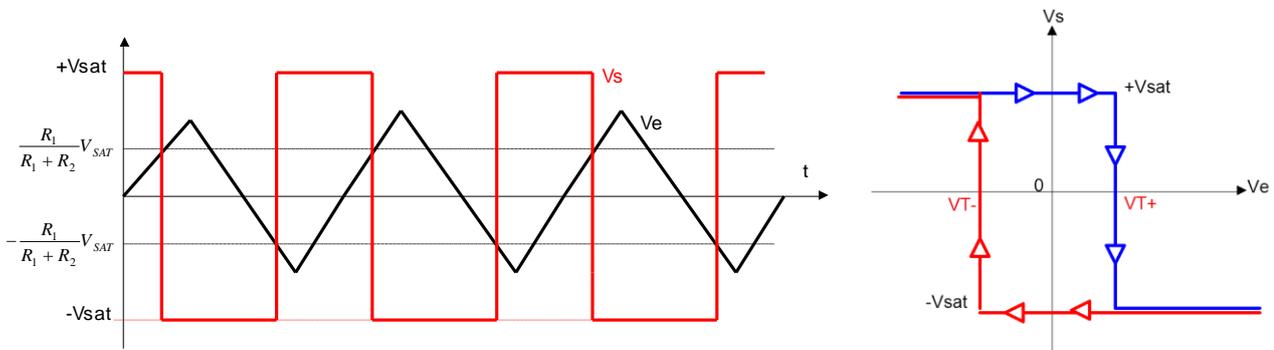
Saisir par le logiciel ISIS le montage ci-dessous. Appliquer à l'entrée une tension triangulaire d'amplitude 3v et de fréquence $f=100Hz$. $|+V_{cc}|=|-V_{cc}|=12V$ tensions de polarisation. On donne $R_1=1K\Omega$ et $R_2=10K\Omega$



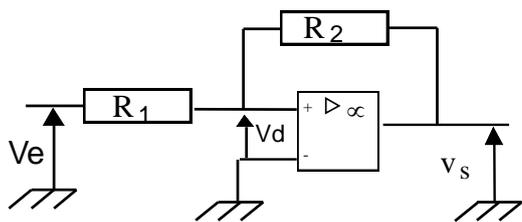
$$V^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s \quad \text{et} \quad V^- = V_e \quad \text{d'où} \quad V_d = V^+ - V^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s - V_e$$

$$\text{Si } V_d > 0 \Rightarrow V_s = +V_{sat} \text{ soit } \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT} - V_e > 0 \Rightarrow V_e < \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT} = VT+$$

$$\text{Si } V_d < 0 \Rightarrow V_s = -V_{sat} \text{ soit } \frac{-R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT} - V_e > 0 \Rightarrow V_e > -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT} = VT-$$



b - Comparateur non inverseur à double seuils : (trigger non inverseur) : activite 4
 Saisir par le logiciel ISIS le montage ci-dessous. Appliquer à l'entrée une tension triangulaire d'amplitude 3v et de fréquence $f=100\text{Hz}$. $|+V_{cc}|=|-V_{cc}|=12\text{V}$ tensions de polarisation. On donne $R_1=1\text{K}\Omega$ et $R_2=5\text{K}\Omega$

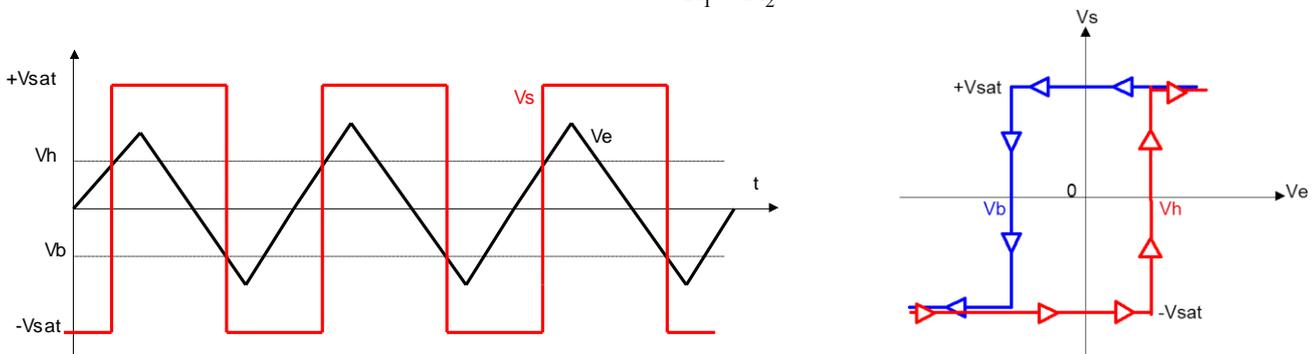


$$V_d = V^+ - V^- = V^+ \quad ; \quad V_e = (R_1 + R_2)I + V_s \Rightarrow I = \frac{V_e - V_s}{R_1 + R_2}$$

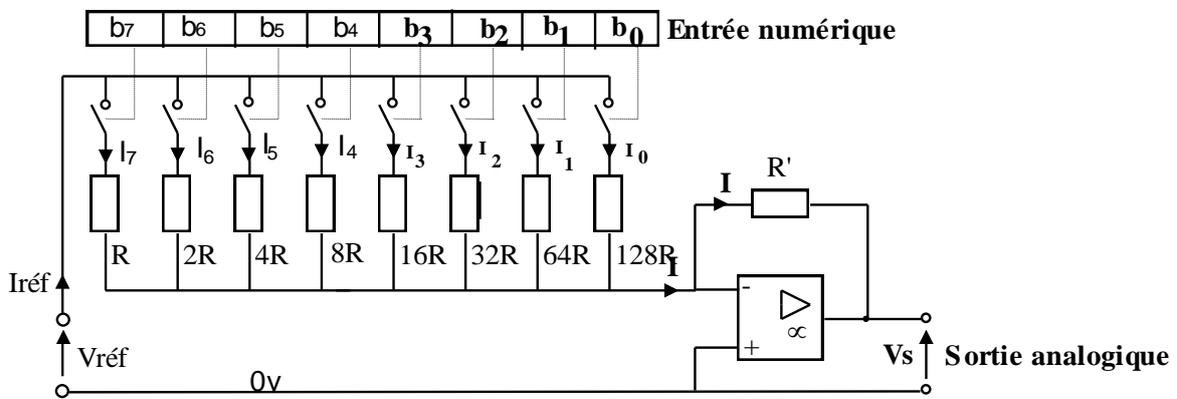
$$\text{or } V_e = R_1 I + V^+ \Rightarrow V^+ = V_e - R_1 \frac{V_e - V_s}{R_1 + R_2} = \frac{R_1 V_s + R_2 V_e}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Si } V_d > 0 \Rightarrow V^+ > 0 \text{ et } V_s = +V_{sat} \Rightarrow \frac{R_1 V_{sat} + R_2 V_e}{R_1 + R_2} > 0 \Rightarrow V_e > -\frac{R_1}{R_2} V_{sat} = V_b$$

$$\text{Si } V_d < 0 \Rightarrow V^+ < 0 \text{ et } V_s = -V_{sat} \Rightarrow \frac{-R_1 V_{sat} + R_2 V_e}{R_1 + R_2} < 0 \Rightarrow V_e < \frac{R_1}{R_2} V_{sat} = V_h$$



E - Application des A.L.I : convertisseur numérique analogique à résistances pondérées
1 - Principe : Chaque bit du mot binaire à convertir commute un courant à travers une résistance inversement proportionnelle au poids du bit considéré. L'amplificateur opérationnel fonctionne en convertisseur courant tension.



2- Equations :

$$I_0 = b_0 \left(\frac{V_{réf}}{128R} \right) ; I_1 = b_1 \left(\frac{V_{réf}}{64R} \right) ; I_2 = b_2 \left(\frac{V_{réf}}{32R} \right) ; I_3 = b_3 \left(\frac{V_{réf}}{16R} \right) ; I_4 = b_4 \left(\frac{V_{réf}}{8R} \right) ; I_5 = b_5 \left(\frac{V_{réf}}{4R} \right)$$

$$I_6 = b_6 \left(\frac{V_{réf}}{2R} \right) ; I_7 = b_7 \left(\frac{V_{réf}}{R} \right).$$

$$I = I_0 + I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 = \frac{V_{réf}}{R} \left(\frac{b_0}{128} + \frac{b_1}{64} + \frac{b_2}{32} + \frac{b_3}{16} + \frac{b_4}{8} + \frac{b_5}{4} + \frac{b_6}{2} + b_7 \right)$$

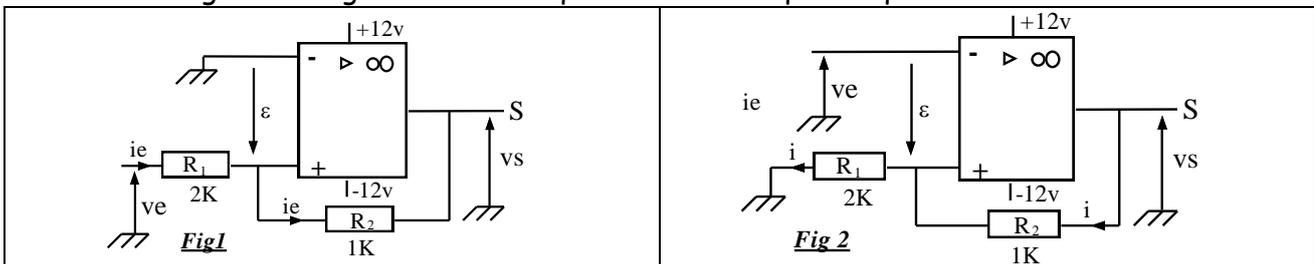
$$I = \frac{V_{réf}}{128R} (b_0 2^0 + b_1 2^1 + b_2 2^2 + b_3 2^3 + b_4 2^4 + b_5 2^5 + b_6 2^6 + b_7 2^7) \Leftrightarrow I = \frac{V_{réf}}{8R} N_{10}$$

$$V_s = -R'I \Leftrightarrow V_s = -\frac{R'}{128R} V_{réf} \cdot N_{10}$$

3 - Exercice1 : Comparateur à deux seuils

A - Structure sans inversion (trigger non inverseur)

Soit le montage de la Fig1 où ve « 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 $\varepsilon = 0$.

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 ve « 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 .

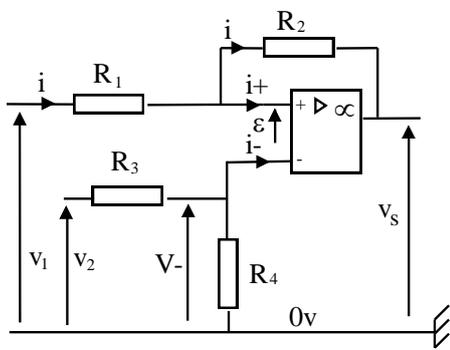
2 - Ecrire la condition de basculement marquée par $\varepsilon = 0$.

3 - Quelles sont les deux valeurs des tensions seuils ?

4 - Tracer la caractéristique de transfert $v_s = f(v_e)$.

4 -Exercice 2 : 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 .

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 .