

LES AMPLIFICATEURS LINEAIRES INTEGRES

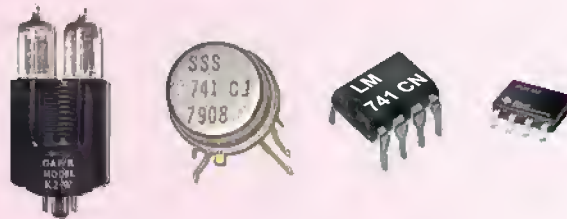
CONTENU DU PROGRAMME

I- Montages à base d'A.L.I

- 1- Montage comparateur à simple seuil
- 2- Montage comparateur à double seuils
- 3- Montage soustracteur
- 4- Montage dérivateur
- 5- Montage intégrateur

II- Applications

Montage astable symétrique à base d'A.L.I



OBJECTIFS DU PROGRAMME

- ☞ OS C₁₁ - Identifier un montage à base d'A.L.I à partir d'un schéma structurel.
- ☞ OS C₁₂ - Mettre en œuvre un montage à base d'A.L.I.

LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÉGRÉS

A. MISE EN SITUATION

I- Fonction d'un Générateur Basses Fréquences

Alimenté par la tension alternative du réseau monophasé, le générateur basses fréquences, appelé couramment **G.B.F.**, produit une tension de faible amplitude, de forme et de fréquence variables.

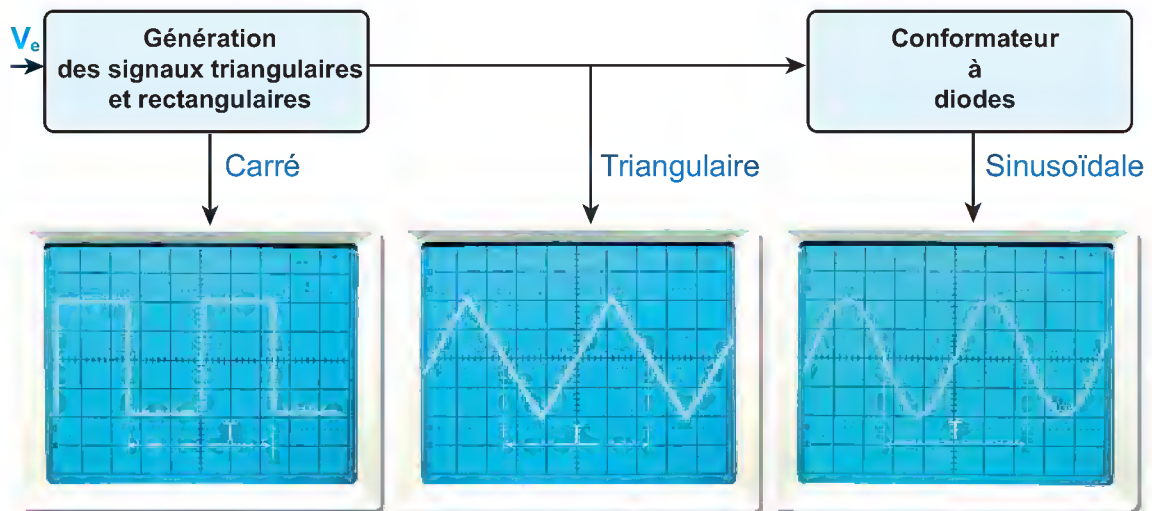
Il permet à l'utilisateur, de choisir la forme du signal électrique délivré et de varier la valeur de son amplitude et de sa fréquence.



Il est généralement constitué d'un générateur de signaux rectangulaires et triangulaires. Le signal triangulaire est traité par un conformateur à diodes qui le transforme en signal sinusoïdal.

Ainsi le G.B.F présente la possibilité de fournir trois tensions: carrée, triangulaire et sinusoïdale, dont la fréquence peut varier en fonction d'une tension d'entrée V_e .

Branchés à l'entrée des montages électroniques, les G.B.F permettent d'étudier les réponses de ces derniers aux différents types de signaux appliqués à l'entrée.



$$f = \frac{1}{T} \text{ proportionnel à } V_e.$$

II- Schéma structurel simplifié d'un générateur de signaux

Le montage ci-dessous représente un montage simplifié d'un générateur de signaux à base d'amplificateurs linéaires intégrés (A.L.I) ou encore (AOP).

Ce montage réduit nous permet d'obtenir les mêmes signaux que délivre le G.B.F excepté le signal sinusoïdal.

Les signaux obtenus sont de deux types: un signal carré à la sortie du circuit U_2 et un signal triangulaire à la sortie du circuit U_3 .

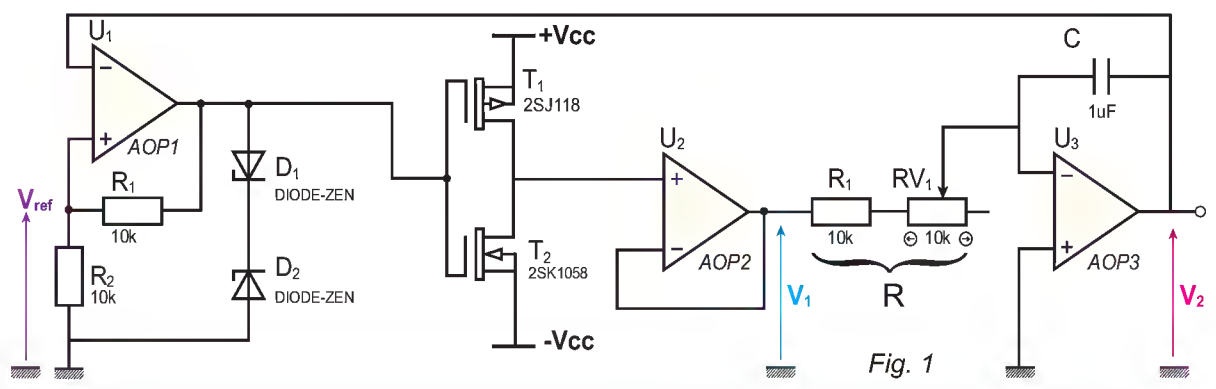


Fig. 1

Problématique:

- ✂ Comment peut-on obtenir un signal carré ou un signal triangulaire à la sortie d'un montage à base d'A.L.I ?
- ✂ Comment peut-on faire varier l'amplitude ou la période d'un signal fourni par un montage à base d'A.L.I ?

B. LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÈGRES

Dans tout ce qui suit, nous considérons que les A.L.I sont parfaits.

I- Montages à base d'A.L.I

1- Comparateur à simple seuil

a. Montage

L'amplificateur fonctionne en boucle ouverte.

Sa sortie n'est reliée à aucune de ses entrées (e^+) et (e^-). De ce fait, une légère variation de la tension différentielle V_d implique une tension de sortie maximale et égale à la tension de saturation. On dit alors que l'amplificateur fonctionne en régime saturé.

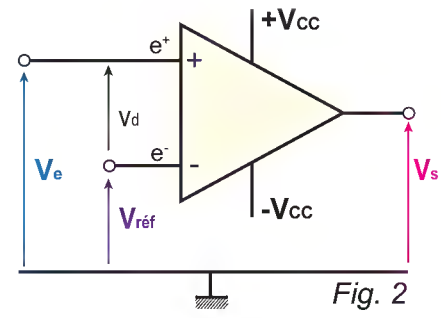


Fig. 2

LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÉGRÉS

b. Fonctionnement

Polarisé par une alimentation symétrique $\pm V_{CC}$, le montage de la figure 2 permet de comparer une tension d'entrée V_e à une tension de référence $V_{réf}$ de la façon suivante:

$$V_d = V_e - V_{réf}$$

✂ si $V_e > V_{réf} \Rightarrow V_e - V_{réf} > 0 \Rightarrow V_d > 0$, alors $V_s = +V_{sat}$

✂ si $V_e < V_{réf} \Rightarrow V_e - V_{réf} < 0 \Rightarrow V_d < 0$, alors $V_s = -V_{sat}$

c. Caractéristique de transfert

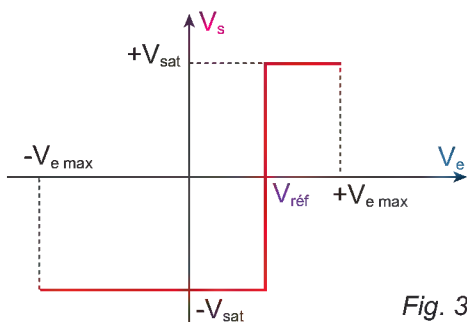


Fig. 3

d. Exemple de chronogramme de fonctionnement

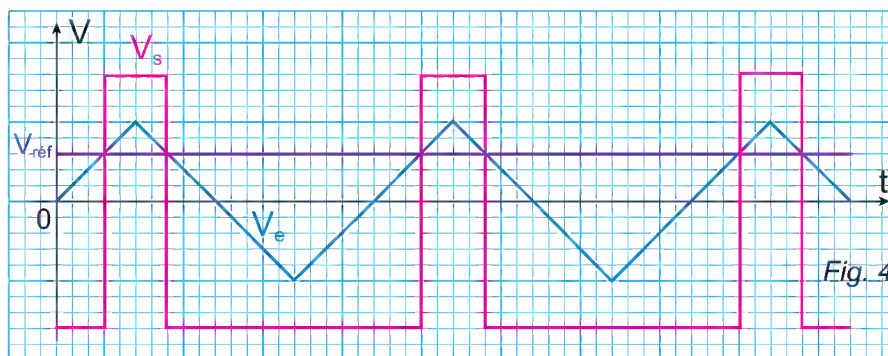


Fig. 4

e. Cas d'une polarisation asymétrique ($+V_{CC}$, 0V)

$$V_d = V_e - V_{réf}$$

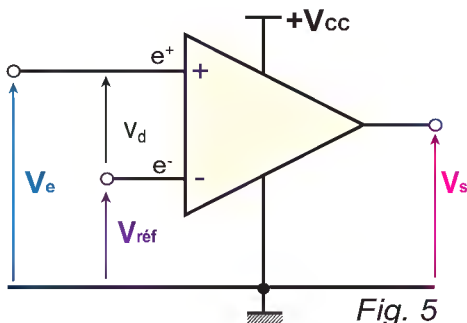


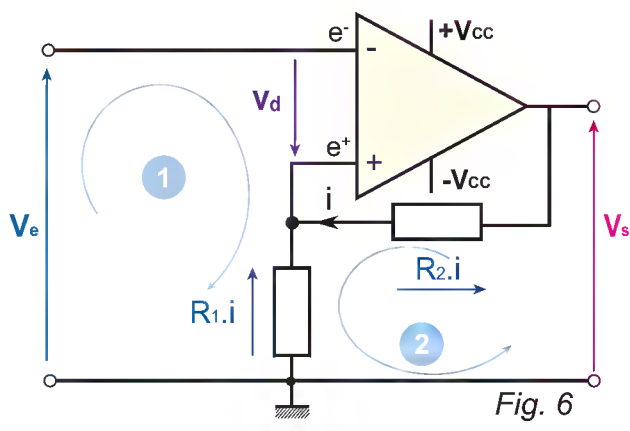
Fig. 5

✂ si $V_e \geq V_{réf} \Rightarrow V_e - V_{réf} \geq 0 \Rightarrow V_d \geq 0$ alors $V_s = +V_{sat}$

✂ si $V_e < V_{réf} \Rightarrow V_e - V_{réf} < 0 \Rightarrow V_d < 0$ alors $V_s = 0 \text{ V}$

2- Comparateur inverseur à double seuils

a. montage



b. Fonctionnement

La sortie est reliée à l'entrée non inverseuse «e+». La tension d'entrée est appliquée à l'entrée inverseuse «e-».

La tension différentielle V_d n'est pas nulle, ce qui porte la tension de sortie V_s à la valeur de saturation V_{sat} .

Le basculement de la tension de sortie s'effectue lorsque la tension V_d est nulle.

Déterminons alors les tensions de seuils à partir desquelles la tension de sortie bascule de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ ou inversement.

✂ maille ① : $V_{e^-} = V_e$

✂ maille ② : $V_{e^+} = \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_s$

$$V_d = V_{e^+} - V_{e^-} = \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_s - V_e$$

Si $V_{e^+} > V_{e^-} \Rightarrow V_d > 0$; $V_s = +V_{sat}$ donc $V_e < \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{sat}$

Si $V_{e^+} < V_{e^-} \Rightarrow V_d < 0$; $V_s = -V_{sat}$ donc $V_e > -\frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{sat}$

Les tensions de seuils sont alors:

$$V^+ = \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{sat}$$

et

$$V^- = -\frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{sat}$$

c. Caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$

✂ Le parcours repéré par les flèches rouges représente l'évolution de la tension d'entrée V_e dans le sens croissant.

✂ Le parcours repéré par les flèches bleues représente l'évolution de la tension d'entrée V_e dans le sens décroissant.

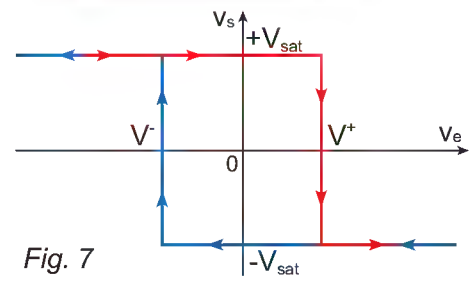
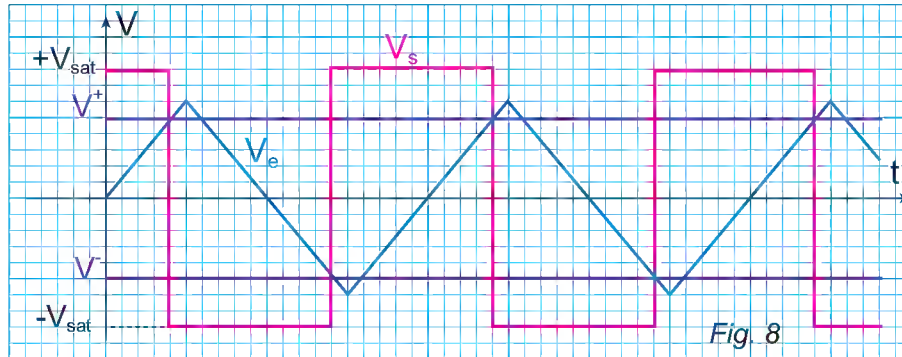


Fig. 7

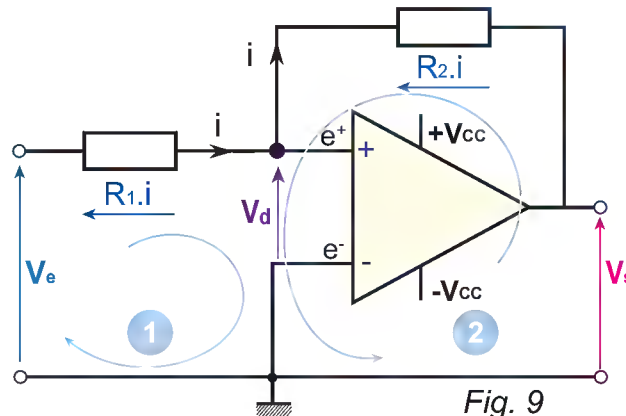
- ✎ L'appellation comparateur inverseur provient du fait que la diminution de la tension V_e provoque une augmentation brusque de la tension V_s (basculement de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$).
- ✎ L'augmentation de V_e engendre une diminution brusque de la tension V_s (basculement de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$).

d. Exemple de chronogramme de fonctionnement



3- Comparateur non-inverseur à double seuils

a. Montage



b. Fonctionnement

La tension d'entrée est appliquée à l'entrée non inverseuse « e^+ ». La sortie est reliée à la même entrée.

La tension différentielle V_d n'est pas nulle, ce qui porte la tension de sortie V_s à la saturation positive ou négative selon le sens de l'évolution de la tension d'entrée V_e .

Déterminons alors les tensions de seuils à partir desquelles la tension de sortie bascule de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$ ou inversement. Ce basculement s'effectue lorsque la tension V_d est nulle.

✂ maille ① : $V_e - R_1 \cdot i - V_d = 0 \Rightarrow i = -\frac{V_e - V_d}{R_1}$

✂ maille ② : $V_s + R_2 \cdot i - V_d = 0 \Rightarrow V_d = V_s + R_2 \cdot i = V_s + \frac{R_2}{R_1} (V_e - V_d)$

$\Rightarrow V_d \cdot (1 + \frac{R_2}{R_1}) = V_s + \frac{R_2}{R_1} \cdot V_e \Rightarrow V_d \cdot (\frac{R_1 + R_2}{R_1}) = V_s + \frac{R_2}{R_1} \cdot V_e$

$\Rightarrow V_d = (\frac{R_1}{R_1 + R_2}) \cdot V_s + (\frac{R_2}{R_1 + R_2}) \cdot V_e$

Si $V_d > 0$ alors $V_s = +V_{sat} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_e > \frac{-R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{sat} \Rightarrow R_2 \cdot V_e > -R_1 \cdot V_{sat} \Rightarrow V_e > -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_{sat}$

Si $V_d < 0$ alors $V_s = -V_{sat} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_e < \frac{-R_1}{R_1 + R_2} \cdot (-V_{sat}) \Rightarrow R_2 \cdot V_e < -R_1 \cdot (-V_{sat}) \Rightarrow V_e < -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_{sat}$

Les tensions de seuils sont alors: $V^+ = \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{sat}$ et $V^- = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_{sat}$

c. Caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$

✂ Le parcours repéré par les flèches rouges représente l'évolution de la tension d'entrée V_e dans le sens croissant.

✂ Le parcours repéré par les flèches bleues représente l'évolution de la tension d'entrée V_e dans le sens décroissant.

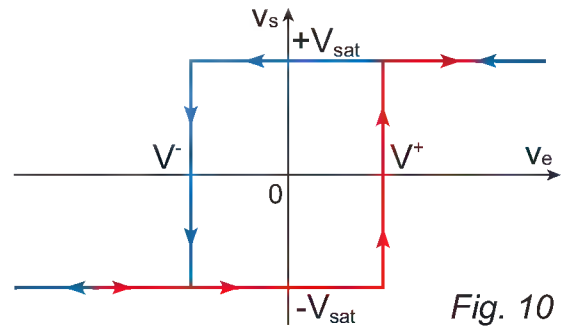


Fig. 10

✂ Lorsque V_e croît, la tension de sortie bascule de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ dès que $V_e > V^+$.

✂ Lorsque V_e décroît, la tension de sortie bascule de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$ dès que $V_e < V^-$.

4- Montage soustracteur

a. Montage

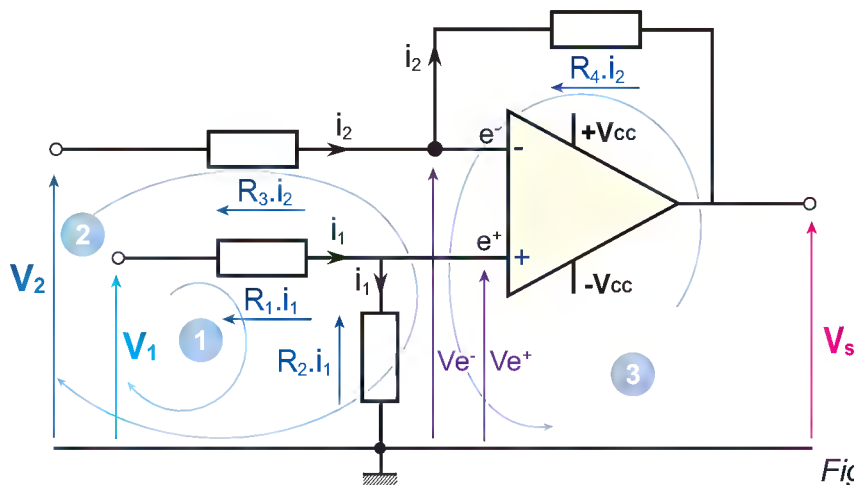


Fig. 11

LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÉGRÉS

b. Expression de $V_s = f(V_e)$

✂ maille ① : $V_1 - R_1 \cdot i_1 - R_2 \cdot i_1 = 0 \Rightarrow V_1 = (R_1 + R_2) \cdot i_1 \Rightarrow i_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot V_1$

✂ maille ② : $V_2 - R_3 \cdot i_2 - R_2 \cdot i_1 = 0 \Rightarrow V_2 = R_3 \cdot i_2 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1 \Rightarrow i_2 = \frac{1}{R_3} \cdot V_2 + \frac{1}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1$

✂ maille ③ : $V_s + R_4 \cdot i_2 - R_2 \cdot i_1 = 0 \Rightarrow V_s = -R_4 \cdot i_2 + R_2 \cdot i_1$

On remplace les courants i_1 et i_2 par leurs expressions dans l'équation de la maille 3 :

$$V_s = -R_4 \cdot i_2 + R_2 \cdot i_1 = -\frac{R_4}{R_3} \cdot V_2 + \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1$$

$$V_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot V_1 - \frac{R_4}{R_3} \cdot V_2$$

✂ Si $R_1 = R_3$ et $R_2 = R_4$ alors $V_s = \frac{R_4}{R_3} \cdot (V_1 - V_2)$, le montage est appelé amplificateur soustracteur.

✂ Si les résistors sont égaux $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$;
le montage est appelé soustracteur.

$$V_s = V_1 - V_2$$

c. Exemple

✂ $V_2 = 2 \sin(\omega t)$;

✂ $V_1 = 3 \text{ V}$;

✂ $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$. On obtient les oscillogrammes suivants :

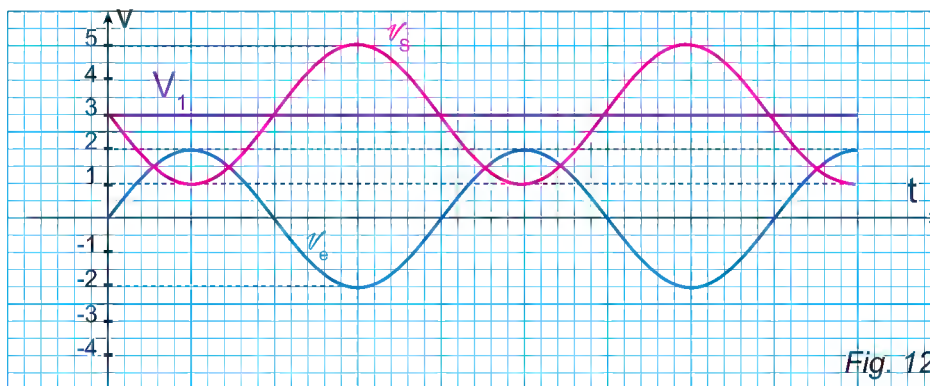


Fig. 12

5- Montage dérivateur

a. Montage et expression de $V_s = f(V_e)$

✂ maille ① : $V_e = V_c$

✂ maille ② : $V_s = -R \cdot i$ or $i = \frac{dq}{dt}$ et $q = C \cdot V_c$

alors $i = C \cdot \frac{dV_c}{dt} = C \cdot \frac{dV_e}{dt}$

d'où $V_s = -R \cdot C \cdot \frac{dV_e(t)}{dt}$

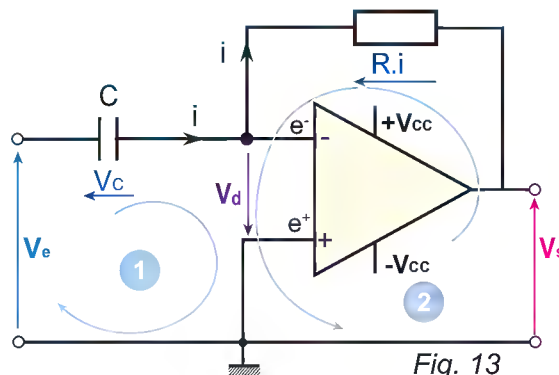
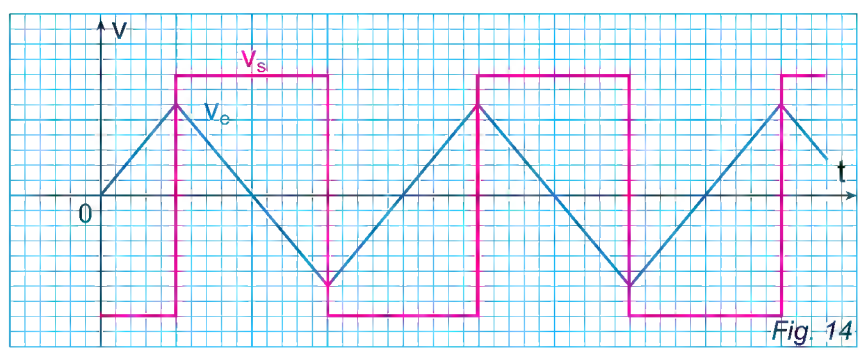


Fig. 13

La tension de sortie V_s est proportionnelle à la dérivée de la tension d'entrée V_e .

b. Exemple de chronogramme de fonctionnement

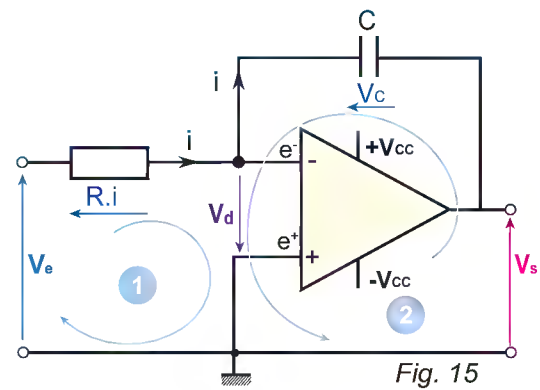


6- Montage intégrateur

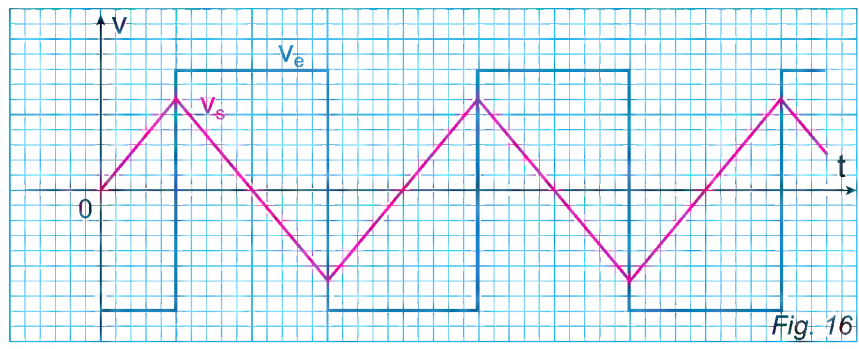
a. Montage et expression de $V_s = f(V_e)$

maïlle ①: $V_e = R \cdot i \Rightarrow i = \frac{V_e}{R}$
 maïlle ②: $V_s = -V_c$; or $V_c = \frac{1}{C} \int i(t) dt$
 d'où $V_s = -\frac{1}{C} \int i(t) dt \Rightarrow V_s = -\frac{1}{R \cdot C} \int V_e(t) dt$

$$V_s = -\frac{1}{R \cdot C} \int V_e(t) dt$$



b. Exemple de chronogramme de fonctionnement



REMARQUE

Dans la pratique, l'ajout d'un résistor en parallèle à la capacité devrait vous permettre d'obtenir un intégrateur fonctionnant correctement. L'inconvénient est que le circuit n'est alors plus un intégrateur parfait.

II- Applications à base d'A.L.I

1- Montage «astable»

a. Définition

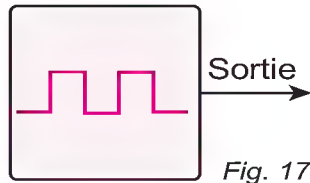
Un montage astable est un générateur autonome qui délivre une tension périodique de forme rectangulaire.

Le mot astable veut dire qu'il n'y a pas d'états stables de la sortie d'où l'alternance d'états hauts et d'états bas.

EXEMPLES D'UTILISATION

- ✂ variateur de vitesse par modulation de largeurs d'impulsions (MLI);
- ✂ temporisateurs;
- ✂ oscillateurs pour circuits microcontrôleurs.

b. Symbole général de la fonction astable



c. Chronogramme de fonctionnement

T_H : durée de l'état haut (High)

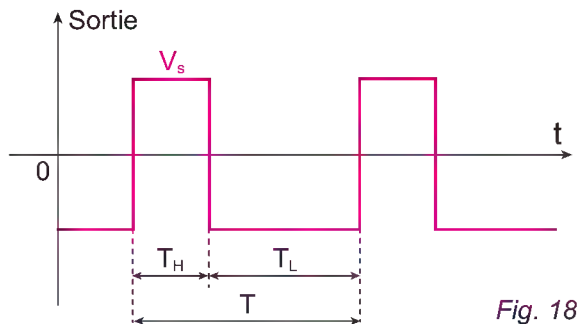
T_L : durée de l'état bas (Low)

T : période du signal de sortie

$$T = T_H + T_L$$

α : rapport cyclique

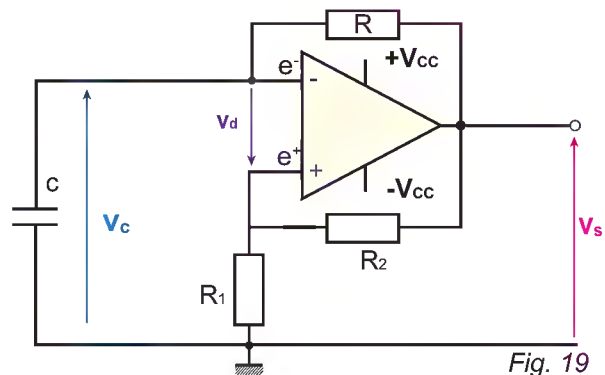
$$\alpha = \frac{T_H}{T} = \frac{T_H}{T_H + T_L}$$



2- Montage astable symétrique à base d'A.L.I

a. Montage

Le montage est constitué d'un circuit capacitif (RC) et d'un comparateur inverseur à double seuils polarisé par une alimentation symétrique $\pm V_{CC}$.



b. Fonctionnement

On suppose qu'à $t=0$, le condensateur est parfaitement déchargé ($V_C=0$) et que la tension de sortie $V_S = +V_{sat}$. Les charges et les décharges successives du condensateur à travers le résistor R provoquent le basculement de la tension de sortie du comparateur à double seuils.

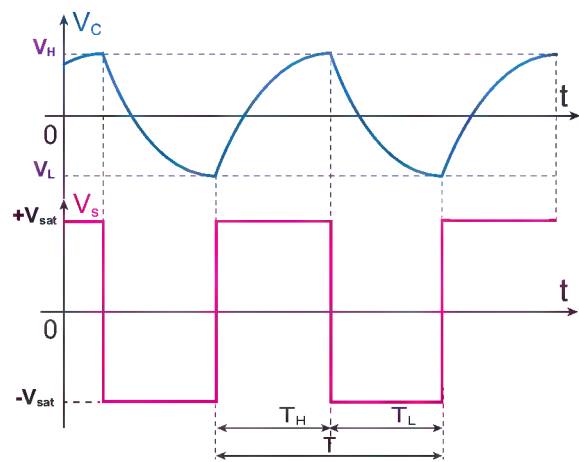
La période et le rapport cyclique du signal de sortie dépendent des valeurs de « R » et « C ». Les valeurs seuils à partir desquelles la tension de sortie V_S bascule sont:

$$V_{e^+} = V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{sat} \quad \text{et} \quad V_{e^-} = V_L = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{sat}$$

V_H : tension à l'entrée non inverseuse « e^+ » lorsque $V_S = +V_{sat}$.

V_L : tension à l'entrée non inverseuse « e^+ » lorsque $V_S = -V_{sat}$.

c. Chronogramme de fonctionnement



L'AL.I fonctionne en régime saturé, deux cas peuvent se présenter:

- à $t = 0$, $V_S = +V_{sat} \Rightarrow V_d > 0 \Rightarrow V_H - V_C > 0$
 $\Rightarrow V_H > V_C$.

- si $V_S = -V_{sat} \Rightarrow V_d < 0 \Rightarrow V_L - V_C < 0$
 $\Rightarrow V_L < V_C$.

Fig. 20

d. Détermination de la période du signal de sortie « T »

Le temps de charge du condensateur est donné par l'expression suivante:

$$T_H = R \cdot C \ln\left(1 + 2 \cdot \frac{R_1}{R_2}\right) \quad \text{avec } \ln: \text{ fonction logarithme népérien;}$$

Le signal de sortie V_S étant un signal carré ($T_H = T_L$), d'où le rapport cyclique

$$\alpha = \frac{T_H}{T_H + T_L} = \frac{T_H}{2 \cdot T_H} = \frac{1}{2} \Rightarrow \alpha = \frac{1}{2}; \quad \text{d'autre part } \alpha = \frac{T_H}{T} = \frac{1}{2} \Rightarrow T = 2 \cdot T_H$$

$$T = 2 \cdot R \cdot C \ln\left(1 + 2 \cdot \frac{R_1}{R_2}\right)$$

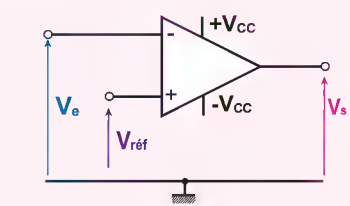
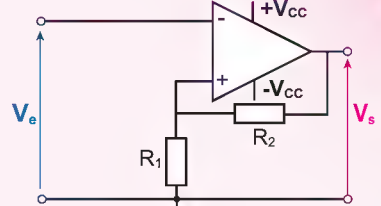
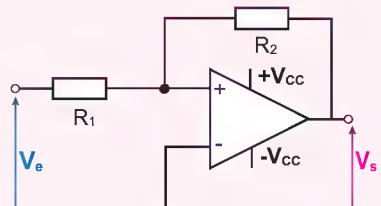
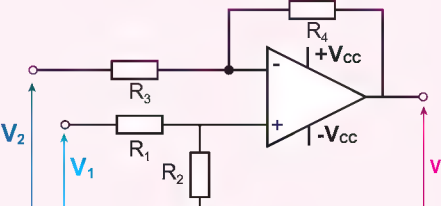
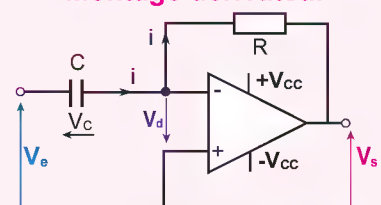
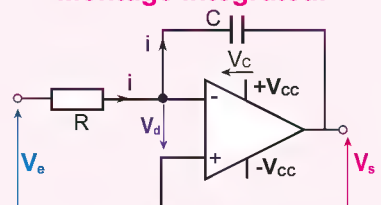
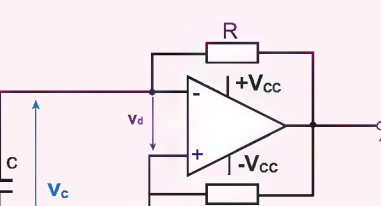
Dans le cas où $R_1 = R_2$, l'expression de la période "T" devient:

$$T = 2 \cdot R \cdot C \ln(3) \approx 2,2 R \cdot C$$

Remarque: En régime établi, les seuils du comparateur sont symétriques par rapport à 0V puisque $V_H = -V_L$ ce qui permet d'avoir $T_H = T_L$.

LES AMPLIFICATEURS LINÉAIRES INTÉGRÉS

C. RÉSUMÉ

<p>Comparteur à simple seuil</p>  <p> \otimes Si $V_e > V_{réf} \Rightarrow V_S = +V_{sat}$. \otimes Si $V_e < V_{réf} \Rightarrow V_S = -V_{sat}$. </p>	<p>Comparteur inverseur à double seuils</p>  <p> \otimes Si $V_e < V^+ = \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{sat} \Rightarrow V_S$ bascule de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ \otimes Si $V_e < V^- = -\frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{sat} \Rightarrow V_S$ bascule de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$ </p>
<p>Comparteur non inverseur à double seuils</p>  <p> \otimes Si $V_e > V^+ = \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{sat} \Rightarrow V_S$ bascule de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ \otimes Si $V_e < V^- = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_{sat} \Rightarrow V_S$ bascule de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$ </p>	<p>Montage soustracteur</p>  <p> \otimes dans le cas général: $V_S = \left[\frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \right] \cdot V_1 - \frac{R_4}{R_3} \cdot V_2$ \otimes Si $R_1=R_3$ et $R_2=R_4 \Rightarrow V_S = \frac{R_4}{R_3} \cdot (V_1 - V_2)$ (Amplificateur soustracteur) \otimes Si $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \Rightarrow V_S = V_1 - V_2$ (soustracteur) </p>
<p>Montage dérivateur</p>  <p> $V_S = -R \cdot C \cdot \frac{dV_e(t)}{dt}$ </p> <p>La tension de sortie V_S est proportionnelle à la dérivée de la tension d'entrée V_e.</p>	<p>Montage intégrateur</p>  <p> $V_S = -\frac{1}{R \cdot C} \int V_e(t) dt$ </p> <p>La tension de sortie V_S est proportionnelle à l'intégrale de la tension d'entrée V_e.</p>
<p>Montage astable symétrique</p> 	<p> \otimes Un montage astable est un montage qui produit en autonomie un signal rectangulaire périodique. \otimes La période et le rapport cyclique du signal de sortie dépendent des valeurs de R et C. \otimes Les valeurs seuils de la tension de sortie V_S sont : </p> <p> $V_H = \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{sat}$ et $V_L = -\frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{sat}$ </p> <p> $- V_H$: tension à l'entrée "e+" lorsque $V_S = +V_{sat}$. $- V_L$: tension à l'entrée "e+" lorsque $V_S = -V_{sat}$. </p>

D. ÉVALUATION

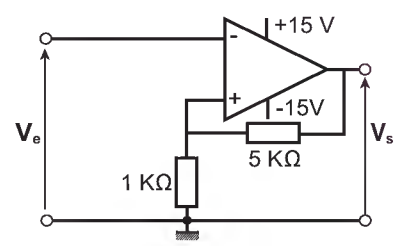
I- Contrôle de connaissances

1- Un montage comparateur à simple seuil polarisé par une alimentation symétrique $\pm V_{CC}$, compare deux tensions V_{e+} et V_{e-} .

- ✎ Si la tension $V_{e+} > V_{e-}$, alors:
 - a. $V_s = -V_{CC}$;
 - b. $V_s = +V_{CC}$;
 - c. $V_s = +V_{sat}$.
- ✎ Si la tension $V_{e+} < V_{e-}$, alors:
 - a. $V_s = -V_{CC}$;
 - b. $V_s = +V_{CC}$;
 - c. $V_s = +V_{sat}$.

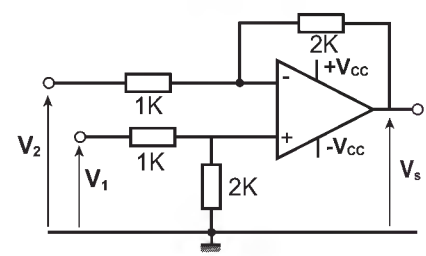
2- Le montage de la figure ci-contre est un comparateur:

- a. inverseur à double seuils ;
- b. non inverseur à double seuils.



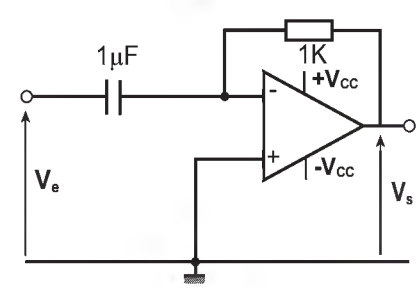
3- Le montage de la figure ci-contre est un:

- a. soustracteur ;
- b. amplificateur soustracteur.



4- Le signal appliqué à l'entrée du montage ci-contre est: $v_e(t) = 2 \sin(\omega t)$. Quelle sera la forme du signal de sortie?

- a. carré ;
- b. sinus;
- c. cosinus.



5- Le rôle d'un montage astable symétrique est de:

- a. générer en autonomie des signaux rectangulaires;
- b. convertir un signal d'entrée en un signal rectangulaire.

6- Le rapport cyclique d'un montage astable symétrique est $\alpha = 0,5$, la période est:

- a. $T = 2,2 \cdot \ln(R \cdot C)$;
- b. $T = 2,2 \cdot R \cdot C$.

II- Exercices résolus

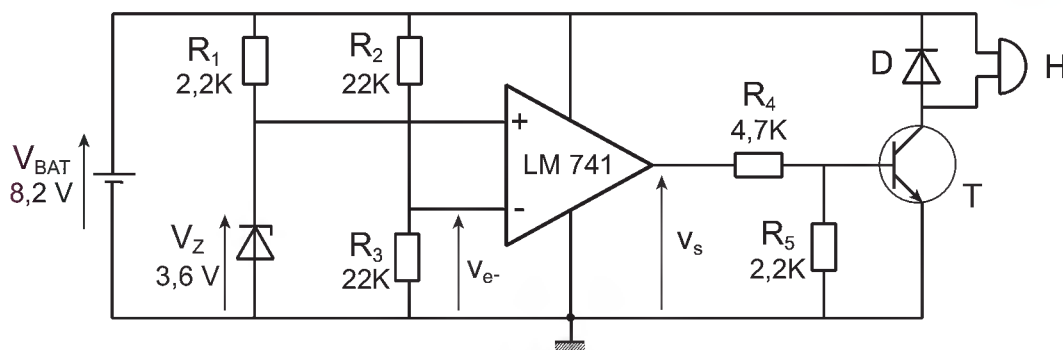
EXERCICE N°1 :

Indicateur de niveau de charge d'une batterie.

Le montage ci-dessous permet de contrôler le niveau de charge d'une batterie de **8,2V**. Un signal sonore «H» retentit dès que cette tension descend en dessous d'une tension seuil.



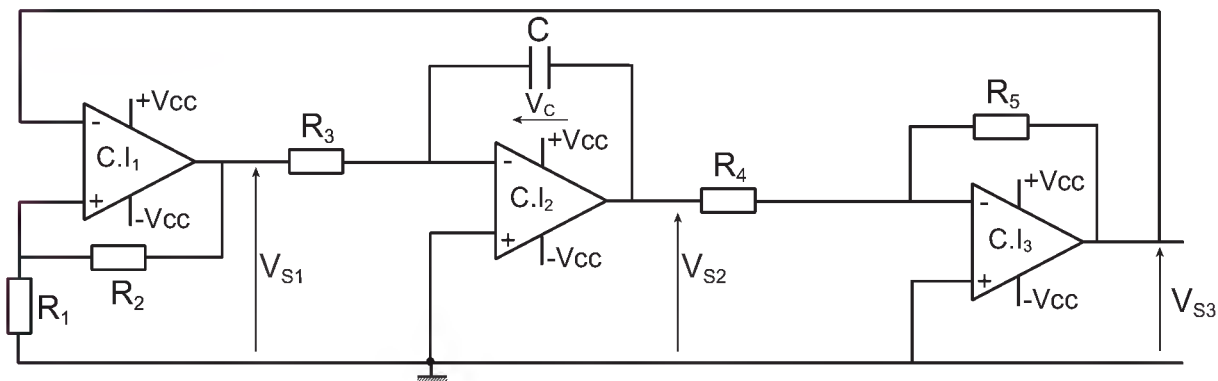
Ce montage est utilisé dans les systèmes télé commandés des bateaux (jouets) où l'utilisateur peut ramener son bateau avant qu'il ne soit coincé dans l'eau.



- 1- Quelle est la fonction du circuit «LM741» dans le montage ?
- 2- Déterminer la valeur de la tension V_{e-} .
- 3- Déterminer la valeur de la tension $V_{BAT\text{seuil}}$ lorsque le signal sonore retentit. Quel est l'état du transistor «T» dans ce cas ?
- 4- On suppose que la tension V_{BAT} diminue linéairement de **0,2V** toutes les **10 mn**, représenter à une échelle convenable les allures des tensions V_{BAT} et V_S .
- 5- Quel est le temps permis à l'utilisateur pour jouer avec son bateau avant le retentissement du signal d'alarme «H» ?

EXERCICE N°2:

Générateur de signaux.

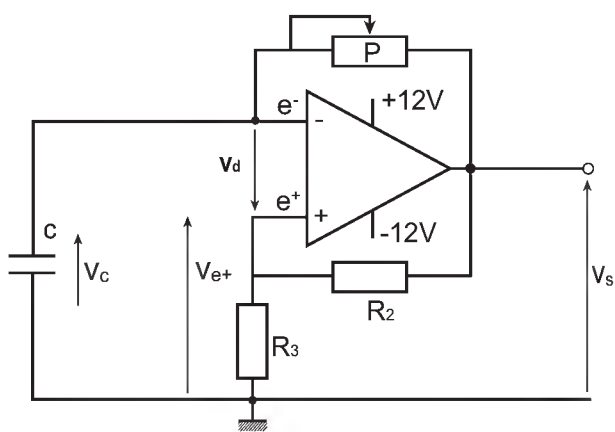


On suppose qu'à $t = 0$, la capacité est parfaitement déchargée et que $V_{s1} = +V_{sat}$. Les A.L.I sont supposés parfaits.

- 1- Donner la fonction de chaque étage
- 2- Etude du circuit CI_2
 - a. Exprimer la relation $V_{s2} = f(V_{s1}, R_3, C)$.
 - b. Déterminer l'expression de $V_{s2} = f(t)$ si $V_{s1} = 3V$, $R_3 = 10K\Omega$ et $C = 10\mu F$.
 - c. Déterminer l'expression $V_{s2} = f(t)$ si on applique à l'entrée du montage une tension sinusoïdale $V_{s1}(t) = 5.Sin100.t (V)$, avec $R_3 = 1K\Omega$ et $C = 10\mu F$.
 - d. Représenter, sur le même repère, les oscillogrammes de $V_{s1}(t)$ et de $V_{s2}(t)$.
 - e. Comparer les deux signaux et conclure.
- 3- Etude du circuit CI_1
 - a. Donner les expressions des tensions seuils V^+ et V^- en fonction de R_1 , R_2 et V_{sat} .
 - b. Calculer les valeurs des tensions seuils V^+ et V^- si $R_1 = 1K\Omega$, $R_2 = 5K\Omega$ et $\pm V_{sat} = \pm 15V$.
 - c. Tracer, à une échelle convenable, la caractéristique de transfert $V_{s1} = f(V_{s3})$.

EXERCICE N°3 :

Multivibrateur astable



Le montage de la figure ci-dessus est un générateur de tension rectangulaire. La période de la tension de sortie ainsi que le rapport cyclique sont variables selon la position du potentiomètre «P».

- 1- Exprimer la relation $V_{e+} = f(V_s, R_2, R_3)$.
- 2- Déduire les expressions des tensions seuils V_H et V_L .
- 3- Déterminer les valeurs de V_H et V_L si $\pm V_{sat} = \pm 12V$ et $R_2 = R_3 = 10K\Omega$.
- 4- On varie le potentiomètre «P» afin d'obtenir un signal carré à la sortie du montage. Quelle serait la valeur du rapport cyclique « α » dans ce cas ?
- 5- On donne l'expression du temps de charge: $T_H = P \cdot C \cdot \ln(1 + 2 \cdot R_3 / R_2)$. Déterminer alors l'expression de la période «T» du signal de sortie.

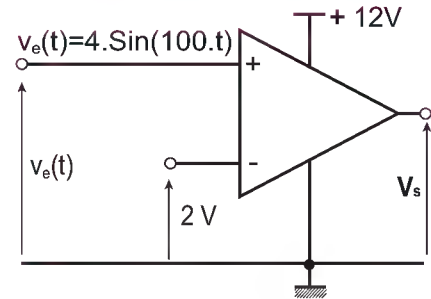
ELECTRONIQUE

III- Exercices à résoudre

EXERCICE N°1 :

On donne le montage de la figure ci-contre

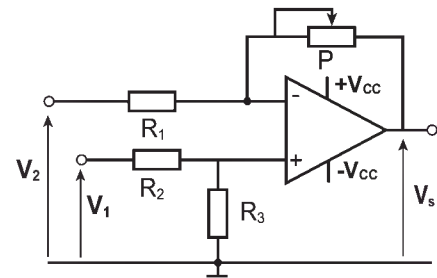
- Donner la valeur de V_s dans les deux cas suivants :
 - ✂ $v_1(t) < V_2$;
 - ✂ $v_1(t) > V_2$.



- Représenter à l'échelle et, sur le même repère, les chronogrammes de $v_1(t)$ et de $v_s(t)$.

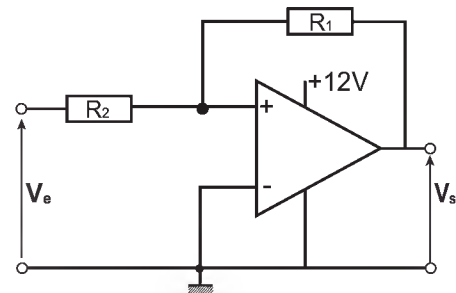
EXERCICE N°2 :

- Exprimer $V_s = f(R_1, R_2, R_3, P)$.
- Quelle valeur doit-on attribuer à «P» pour obtenir $V_s = V_1 - V_2$ sachant que $R_1 = R_2 = R_3$.
- $V_1 = 5V$, $v_2(t) = 3.Cos(100t)$ en (V). Représenter sur le même repère les chronogrammes de ces deux tensions.



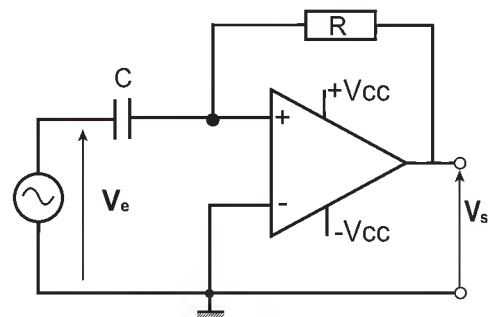
EXERCICE N°3

- Le montage ci-contre est un comparateur à double seuils. Indiquer, en justifiant votre réponse, s'il est :
 - a. symétrique ou asymétrique ;
 - b. inverseur ou non inverseur.
- Exprimer $V_e = f(R_1, R_2, V_s)$.
- Déduire les valeurs des tensions seuils V^+ et V^- si $R_1 = 1K\Omega$, $R_2 = 5K\Omega$ et $V_{sat} = 12V$.
- Tracer, à une échelle convenable, la caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$.



EXERCICE N°4 :

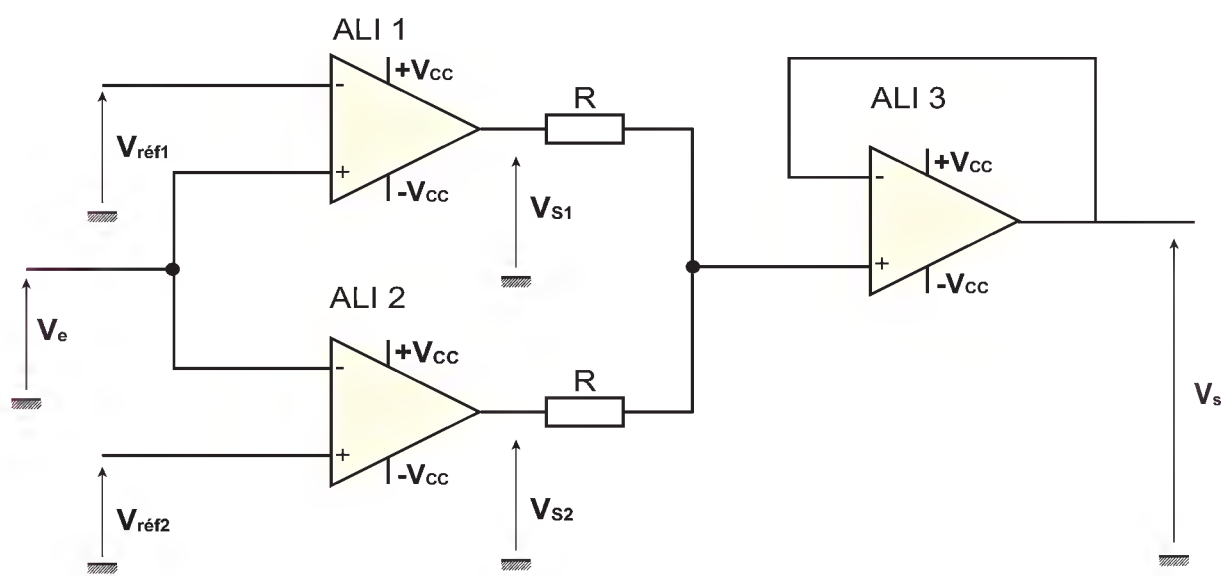
- Donner le nom du montage ci-contre.
- Exprimer la relation $V_s = f(V_e, R, C)$.
- La tension d'entrée $v_e(t) = 5.Sin(100t)$, $R=10K\Omega$ et $C = 10\mu F$. Déterminer l'expression de la tension de sortie $v_s(t)$.
- Représenter, sur le même repère, les oscillogrammes de $v_e(t)$ et de $v_s(t)$.



EXERCICE N°5

Comparateur à fenêtre

Le montage de la figure ci-dessous représente un comparateur de tensions. Il permet de comparer une tension d'entrée V_e à deux tensions de référence $V_{réf1}$ et $V_{réf2}$.



- 1- Indiquer le régime de fonctionnement de chaque A.L.I.
- 2- Donner le nom de chaque A.L.I.
- 3- En appliquant les lois de Kirchhoff, montrer que:

$$V_s = \frac{V_{s1} + V_{s2}}{2}$$

4- On suppose que $V_{réf1} < V_{réf2}$. Donner les valeurs des tensions V_{s1} , V_{s2} et V_s dans les trois cas suivants :

- ✗ si $V_e < V_{réf1}$;
- ✗ si $V_{réf1} < V_e < V_{réf2}$;
- ✗ si $V_e > V_{réf2}$.

- 5- Quelle est la plage de valeurs que devrait avoir la tension d'entrée V_e pour que l'on obtienne un signal à la sortie du comparateur ?
- 6- Quelles sont les tensions de basculement du comparateur ?
- 7- Représenter la caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$ du comparateur.
- 8- Citer au moins une application où l'on peut utiliser ce montage.

IV- Correction des exercices

EXERCICE N°1:

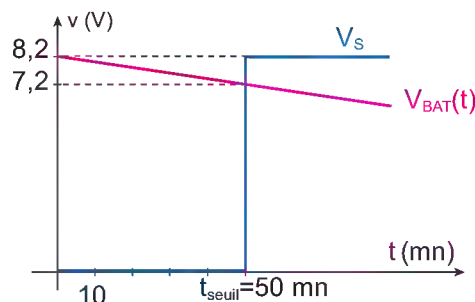
1- Le circuit LM741 fonctionne en comparateur à simple seuil asymétrique

2-

$$V_{e^-} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_{BAT} \Rightarrow = \frac{22}{22+22} \times 10 \times 8,2 = \frac{1}{2} \times 82 = 4,1V$$

3- La tension seuil est obtenue lorsque $V_d = 0 \Rightarrow V_{e^-} = V_{e^+} = V_Z = 3,6V$. Or au seuil de basculement $V_{BATseuil} = 2 \cdot V_{e^-} = 2 \times 3,6V = 7,2V$. Le transistor «T» est saturé.

4-



5- L'utilisateur devrait ramener son bateau au bout d'un temps $t_{seuil} = 50$ min.

EXERCICE N°2:

1- L' étage CI_1 est un comparateur inverseur à double seuils.

✎ L' étage CI_2 est un intégrateur.

✎ L' étage CI_3 est un amplificateur inverseur.

2- Etude du circuit CI_2 .

a-
$$V_{S2}(t) = - \frac{1}{R_3 \cdot C} \int V_{S1}(t) dt$$

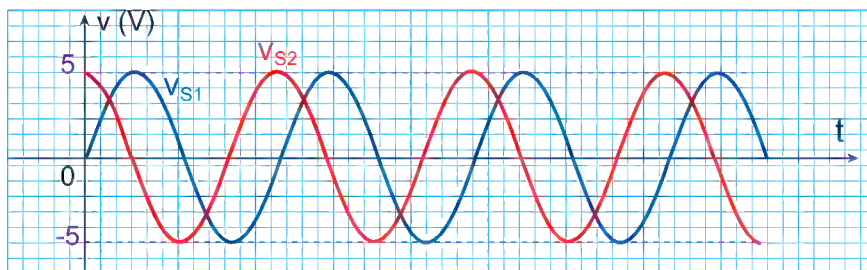
b- $V_{S1} = 3V$, $R_3 = 10K\Omega$ et $C = 10\mu F$; à $t = 0$: $V_{S1} = + V_{sat}$.

$$V_{S2}(t) = - \frac{1}{R_3 \cdot C} \int V_{S1}(t) dt = - 10 \int 3 dt = - 30 \cdot t + V_{sat}$$

c- $V_{S1}(t) = 5 \cdot \sin(100 \cdot t)$ en Volt, $R_3 = 10K\Omega$ et $C = 10\mu F$

$$V_{S2}(t) = - \frac{1}{R_3 \cdot C} \int V_{S1}(t) dt = - \frac{1}{10^{-2}} \int 5 \cdot \sin 100t dt = 100 \int 5 \cdot \sin 100t dt = 5 \cdot \cos 100t$$

d- Oscillogrammes



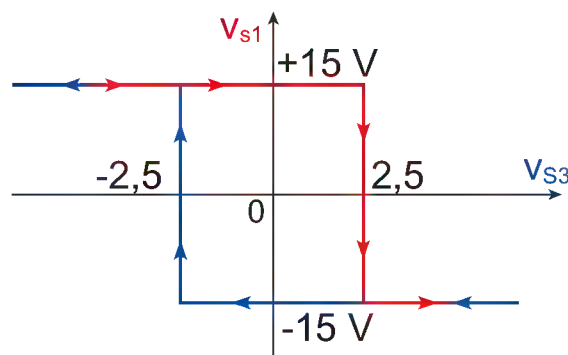
e- Le signal de sortie V_{S2} est en avance de phase de 90° par rapport au signal d'entrée V_{S1} .

3- Etude du circuit CI₁

a- $V^+ = \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{Sat}$; $V^- = -\frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_{Sat}$

b- $V^+ = \frac{1}{1+5} \cdot 15 = 2,5 \text{ V}$; $V^- = -\frac{1}{1+5} \cdot 15 = -2,5 \text{ V}$

c- Caractéristique de transfert



EXERCICE N°3 :

Multivibrateur astable

1- $V_{e+} = R_3 \cdot i$

$$V_S = (R_2 + R_3) \cdot i \Rightarrow i = \frac{1}{R_2 + R_3} \cdot V_S \Rightarrow V_{e+} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_S ;$$

2- $V_H = +\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_{Sat}$; $V_L = -\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_{Sat}$;

3- $V_H = +\frac{10}{10+10} \cdot 12 = 6 \text{ V}$; $V_L = -\frac{10}{10+10} \cdot 12 = -6 \text{ V}$;

4- Signal carré $\Rightarrow T_H = T_L \Rightarrow T = T_H + T_L = 2 \cdot T_H \Rightarrow T_H = 0,5 \cdot T \Rightarrow \alpha = \frac{T_H}{T} = 0,5$

5- $T_H = P \cdot C \cdot \ln\left(1 + 2 \cdot \frac{R_3}{R_2}\right)$

$$T = 2 \cdot T_H = 2 \cdot P \cdot C \cdot \ln\left(1 + 2 \cdot 1\right) = 2 \cdot P \cdot \ln(3) \approx 2,2 \cdot P \cdot C$$