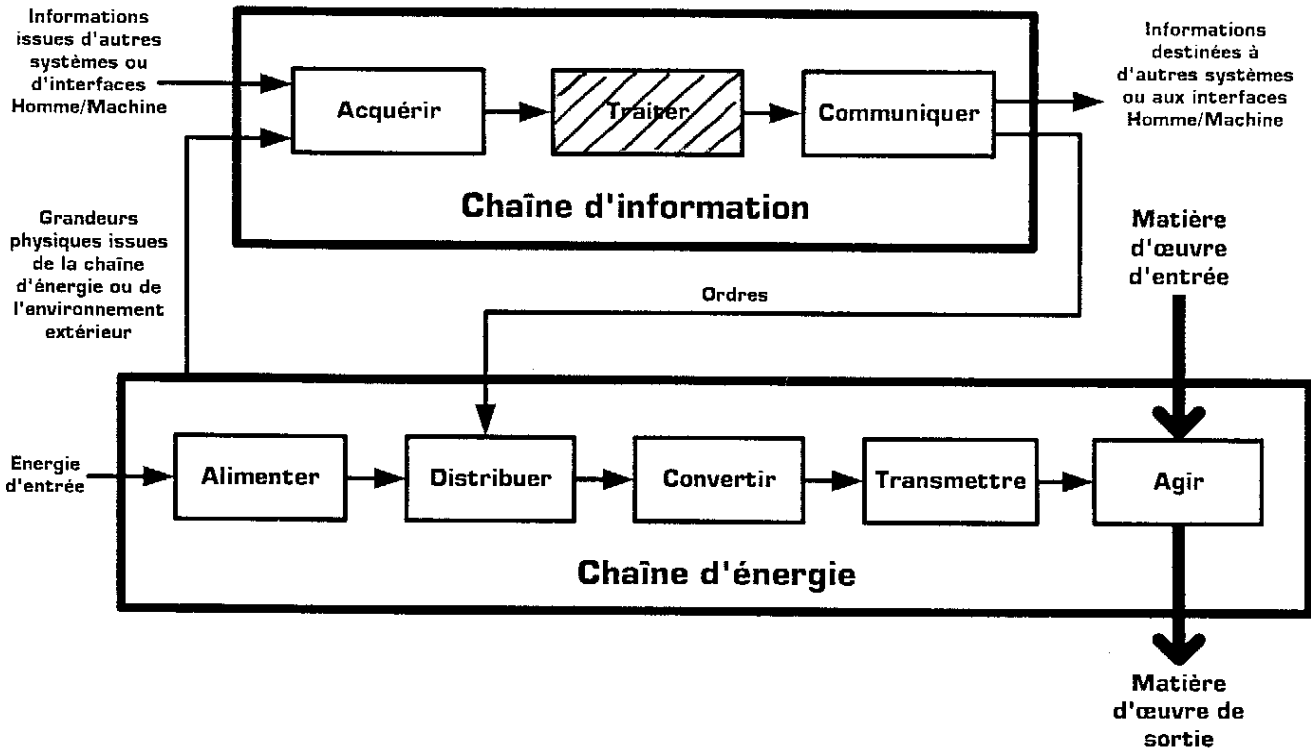


# CORRECTION

|  |   |                                      |        |
|--|---|--------------------------------------|--------|
| Section : <b>S</b>                                     | Option : <b>Sciences de l'ingénieur</b> | Discipline : <b>Génie Électrique</b> |        |
| <b>La fonction amplification</b>                       |   |                                      |        |
| Domaine d'application :<br><b>Traitement du signal</b> | Type de document :<br><b>Cours</b>      | Classe :<br><b>Terminale</b>         | Date : |

## I - Identification de la fonction

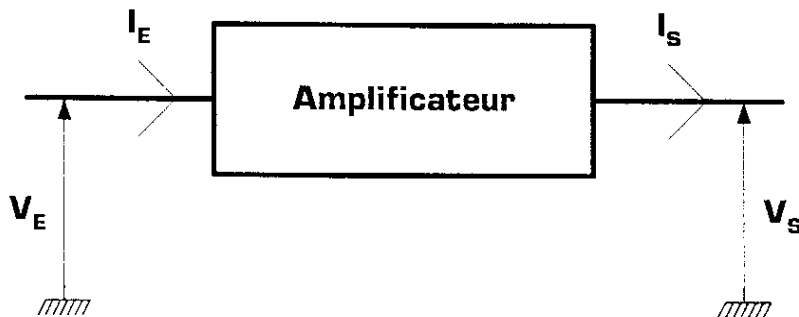
Dans les systèmes automatiques, les signaux analogiques issus des capteurs ou reçus par liaison radio ont souvent une amplitude très faible (quelques milli volts, voire quelques micro volts parfois). Il est alors indispensable de les amplifier, en augmentant leur amplitude porteuse de l'information dans le but de pouvoir les exploiter par les différentes fonctions électroniques présentes dans la chaîne d'information. La **fonction amplification** fait partie du bloc **Traiter** dans la chaîne d'information :



## II - Représentation et modélisation de la fonction amplification

### II - 1 - Fonction de transfert

Définition : *la fonction de transfert d'une fonction électronique exprime la relation entre l'entrée et la sortie de cette fonction.*



Description des grandeurs d'entrée et de sortie de la fonction amplification :

$V_E$  est la tension d'entrée

$I_E$  est le courant d'entrée

$V_S$  est la tension de sortie

$I_S$  est le courant de sortie

Suivant les grandeurs électriques considérées en entrée et en sortie, on définit :

- \* une **amplification en tension** notée  $A_V$  et définie telle que :  $V_S = A_V \cdot V_E$
- \* une **amplification en courant** notée  $A_I$  et définie telle que :  $I_S = A_I \cdot I_E$

## II - 2 - Fonction amplification

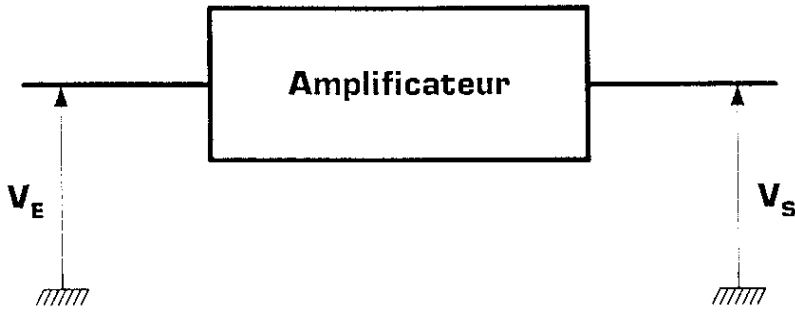
Définition : La fonction amplification sert à accroître une grandeur d'entrée à l'issue d'une structure électronique appelée Amplificateur.

Un amplificateur réalise l'opération mathématique élémentaire de multiplication par une constante.

Dans toute la suite de ce cours tous les montages étudiés sont des amplificateurs de tension, et non des amplificateurs de courant, à l'exception du montage suiveur.

### II - 2 - 1 - Amplificateur non inverseur et inverseur :

Il reçoit en entrée une tension  $V_E$  et fournit en sortie une tension  $V_S$  telle que :  $V_S = A_v \cdot V_E$



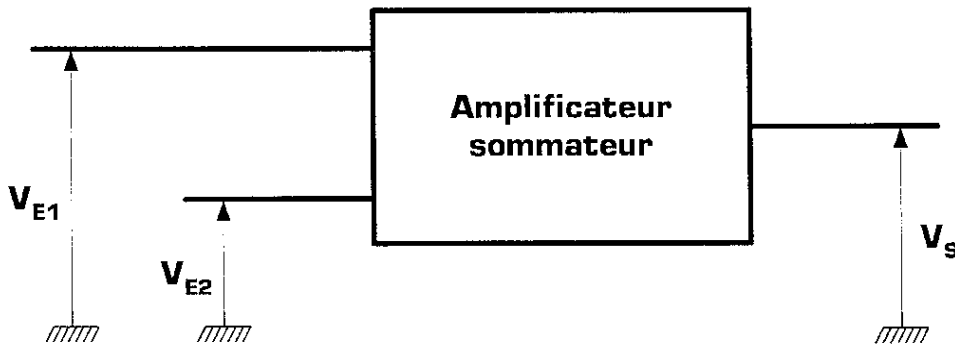
$A_v$  est une grandeur algébrique (pouvant être positive ou négative) sans unité :

Si  $A_v > 0$  : l'amplificateur est NON-INVERSEUR

Si  $A_v < 0$  : l'amplificateur est INVERSEUR

### II - 2 - 2 - Amplificateur sommateur :

Il reçoit en entrée deux tensions  $V_{E1}$  et  $V_{E2}$ , et fournit en sortie une tension  $V_S$  telle que :  $V_S = A_v \cdot (V_{E1} + V_{E2})$



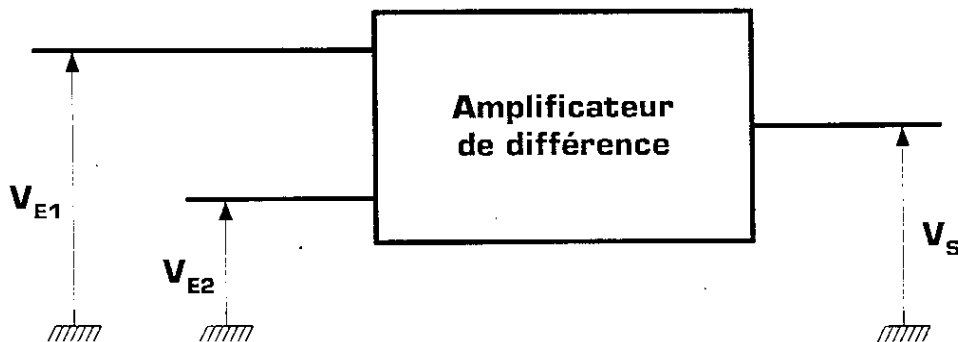
$A_v$  est une grandeur algébrique (pouvant être positive ou négative) sans unité :

Si  $A_v > 0$  la fonction réalisée est un amplificateur sommateur NON INVERSEUR

Si  $A_v < 0$  la fonction réalisée est un amplificateur sommateur INVERSEUR

### II - 2 - 3 - Amplificateur de différence :

Il reçoit en entrée deux tensions  $V_{E1}$  et  $V_{E2}$ , et fournit en sortie une tension  $V_S$  telle que :  $V_S = A_v \cdot (V_{E1} - V_{E2})$



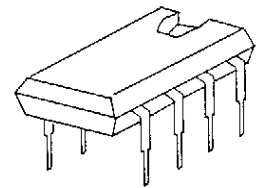
$A_v$  est une grandeur sans unité, et le changement de signe du coefficient  $A_v$  ne modifie pas la fonction réalisée.

### III - Réalisation de la fonction amplification

Pour produire en pratique un montage électronique réalisant la fonction amplification plusieurs solutions sont possibles. Pour un amplificateur de tension devant délivrer un faible courant à sa sortie (moins de 500 mA), l'utilisation d'un A.L.I. [Amplificateur Linéaire Intégré] est aujourd'hui la solution la plus répandue.

#### III - 1 - L'amplificateur linéaire intégré [A.L.I.]

Un **A**mplificateur **L**inéaire **I**ntégré (noté A.L.I. en abrégé) est un composant électronique généralement disponible sous forme d'un circuit intégré à 8 bornes (voir ci-contre). L'ergo présent sur le dessus du circuit intégré permet de repérer chacune des bornes qui sont numérotés de 1 à 8. Pour connaître le brochage exact d'un circuit intégré il faudra consulter sa documentation (disponible par exemple dans le Mémotech pour les circuits usuels).

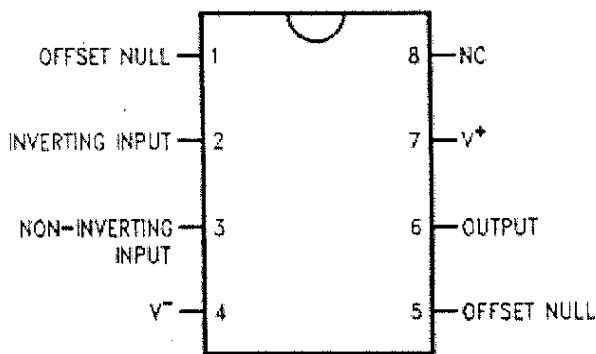


Circuit intégré à 8 bornes

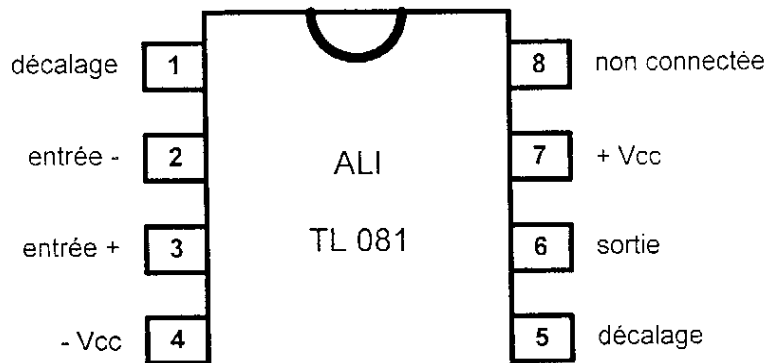
Lorsqu'on recherche un A.L.I., plusieurs références de circuits intégrés existent, et parmi les plus fréquemment utilisés on peut citer :

- \* le circuit LM741 [1 A.L.I dans un circuit intégré 8 bornes]
- \* le circuit LM324 [4 A.L.I dans un circuit intégré 14 bornes]
- \* le circuit TLO81 [1 A.L.I dans un circuit intégré 8 bornes]
- \* le circuit TLO84 [4 A.L.I dans un circuit intégré 14 bornes]

Comme le montre les deux illustrations suivantes (une en anglais issue de la documentation constructeur, et l'autre commentée en français), les circuits LM741 et TLO81 ont le même brochage :



Brochage du circuit intégré LM 741



Brochage du circuit intégré TL 081

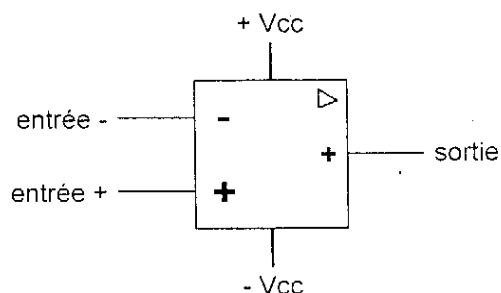
Le brochage ci-dessus laisse apparaître les différentes bornes du circuit :

- \* les bornes 4 et 7 sont les bornes **d'alimentation** du circuit intégré
- \* les bornes 2 et 3 sont les deux **entrées** de l'A.L.I. : l'entrée inverseuse et l'entrée non-inverseuse
- \* la borne 6 est la **sortie** de l'A.L.I.
- \* les bornes 1 et 5 (notée « décalage » ou « offset ») seront en un premier temps ignorées et inutilisées
- \* et la borne 8 (notée NC = Non Connectée) est comme son nom l'indique non connectée, c'est-à-dire reliée à rien

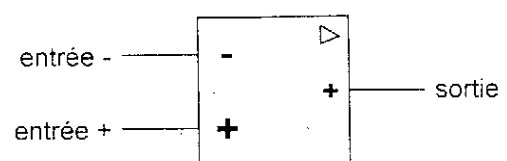
Tout circuit intégré a besoin d'être alimenté pour fonctionner. Cette alimentation est fourni au circuit par les bornes d'alimentation notée **-Vcc** et **+Vcc**. Un A.L.I. peut être alimenté :

- \* soit par une alimentation *symétrique* (exemple :  $-V_{cc} = -12\text{ V}$  et  $+V_{cc} = +12\text{ V}$ )
- \* soit par une alimentation *non symétrique* (exemple :  $-V_{cc} = 0\text{ V}$  et  $+V_{cc} = +12\text{ V}$ )

Pour représenter un A.L.I. dans un schéma électronique on utilise son symbole normalisé. Le symbole normalisé d'un A.L.I. fait apparaître les 3 bornes fondamentales du circuit, c'est-à-dire **les 2 entrées** (sur la gauche du symbole) et **la sortie** (sur la droite). Les bornes d'alimentation ne sont pas toujours représentées sur le symbole de l'A.L.I. :



Symbole normalisé d'un ALI montrant les bornes d'alimentation



Symbole allégé d'un ALI sans les bornes d'alimentation

**Cela ne veut pas dire que l'A.L.I. n'est pas alimenté !**

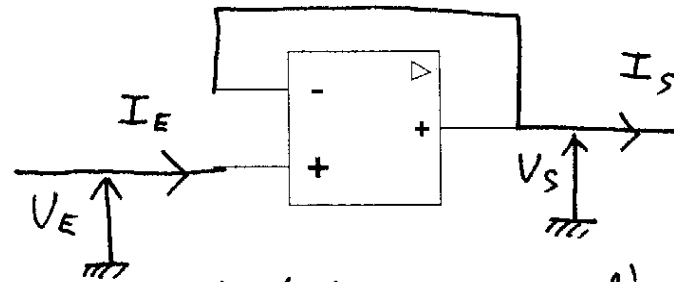
### III - 2 - Les différents montages à A.L.I. réalisant la fonction amplification

Dans tous les montages suivants l'A.L.I. fonctionne en **régime linéaire**. Cela signifie que la sortie  $V_s$  de l'A.L.I. peut prendre toutes les valeurs possibles entre  $-V_{cc}$  et  $+V_{cc}$  (et non seulement 2 valeurs comme cela est le cas en *mode comparateur*). Sur un schéma électronique, on reconnaît que l'A.L.I. fonctionne en régime linéaire lorsqu'il y a une contre-réaction reliant la sortie de l'A.L.I. à son entrée inverseuse [c'est-à-dire à l'entrée « moins »]. Cette contre-réaction est généralement réalisée par une résistance.

**Lorsqu'un A.L.I. fonctionne en régime linéaire, les tensions présentes sur chacune de ses deux entrées sont identiques, ce qui s'écrit  $V^+ = V^-$**

#### III - 2 - 1 - Le montage suiveur

Schéma :



Fonction de transfert :

$$V_S = V_E$$

Remarque :

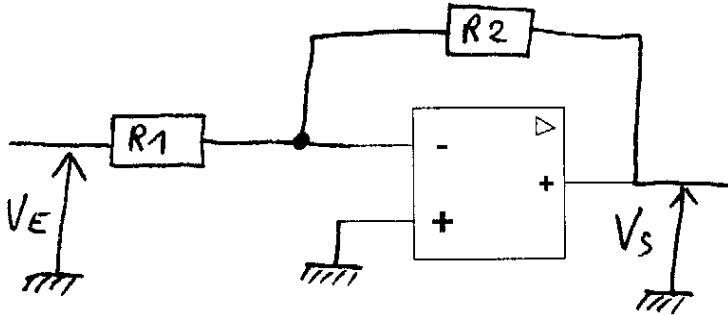
$$I_E = 0A$$

$$I_S \gg I_E$$

*un signal et de le reproduire à l'identique | SANS PRÉLEVER DE COURANT.*

#### III - 2 - 2 - Le montage amplificateur inverseur

Schéma :



Fonction de transfert :

$$V_S = - \frac{R_2}{R_1} \cdot V_E$$

Remarque :

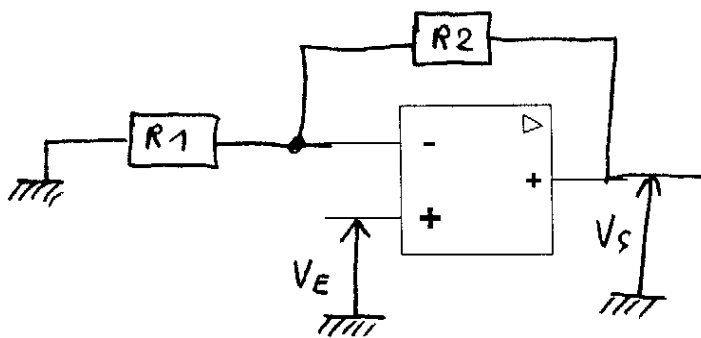
$$V^+ = 0V$$

$$V^- = \frac{V_E \cdot R_2 + V_S \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V^+ = V^- \Leftrightarrow \frac{V_S}{V_E} = - \frac{R_2}{R_1} < 0$$

#### III - 2 - 3 - Le montage amplificateur non inverseur

Schéma :



Fonction de transfert :

$$V_S = V_E \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Remarque :

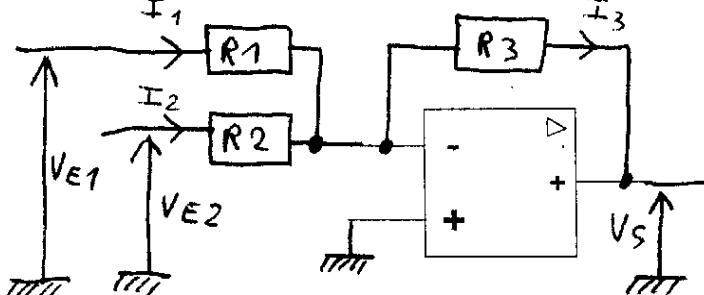
$$V^+ = V_E$$

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

$$V^+ = V^- \Leftrightarrow \frac{V_S}{V_E} = 1 + \frac{R_2}{R_1} > 0$$

#### III - 2 - 4 - Le montage amplificateur sommateur inverseur

Schéma :



Fonction de transfert :

$$V_S = - R_3 \left( \frac{V_{E1}}{R_1} + \frac{V_{E2}}{R_2} \right)$$

Remarque :

$$I_1 = \frac{V_{E1}}{R_1}$$

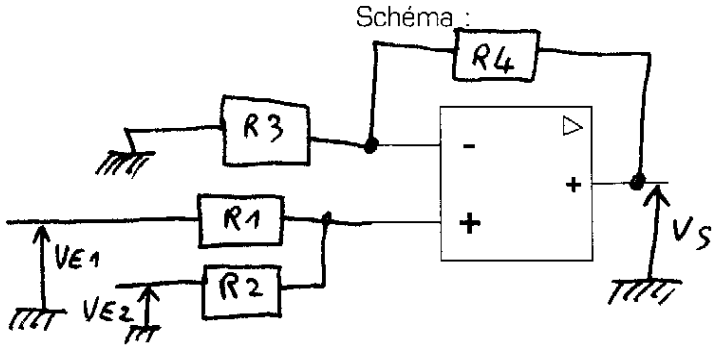
$$I_2 = \frac{V_{E2}}{R_2}$$

$$I_3 = - \frac{V_S}{R_3}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 \Leftrightarrow - \frac{V_S}{R_3} = \frac{V_{E1}}{R_1} + \frac{V_{E2}}{R_2}$$

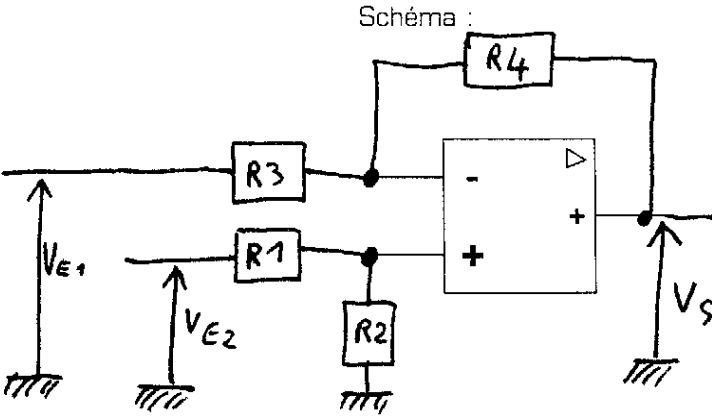
### III - 2 - 5 - Le montage amplificateur sommateur non inverseur

Schéma :



### III - 2 - 6 - Le montage amplificateur de différence

Schéma :



Fonction de transfert :

$$V_S = \frac{R_3 + R_4}{R_3 \cdot (R_1 + R_2)} \cdot (V_{E1} \cdot R_2 + V_{E2} \cdot R_1)$$

Remarque :

$$V^+ = \frac{V_{E1} \cdot R_2 + V_{E2} \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

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

Fonction de transfert :

$$V_S = \frac{R_3 + R_4}{R_3} \cdot \left( V_{E2} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_{E1} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

Remarque :

$$V^+ = V_{E2} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V^- = \frac{V_{E1} \cdot R_4 + V_S \cdot R_3}{R_3 + R_4}$$

## IV - Exemples d'application

### IV - 1 - Amplification d'un signal sinusoïdal

On étudie le montage de la Figure 1 dans lequel  $V_{CC} = 12V$ ,  $R_1 = 2k\Omega$  et  $R_2 = 16k\Omega$ . La tension d'entrée  $V_E$  est un signal sinusoïdal provenant d'une réception par ondes radio, et ses caractéristiques sont les suivantes :

- \* amplitude : **250 mV**
- \* valeur moyenne : **0 V**
- \* fréquence : **40 kHz**

IV - 1 - 1 - Quel est le nom du montage de la Figure 1 ?

IV - 1 - 2 - Donnez la fonction de transfert du montage.

IV - 1 - 3 - Calculez la valeur numérique de l'amplification en tension  $A_v$ .

IV - 1 - 4 - Dessinez, sur un même graphe et en concordance des temps, les signaux  $V_E(t)$  et  $V_S(t)$ .

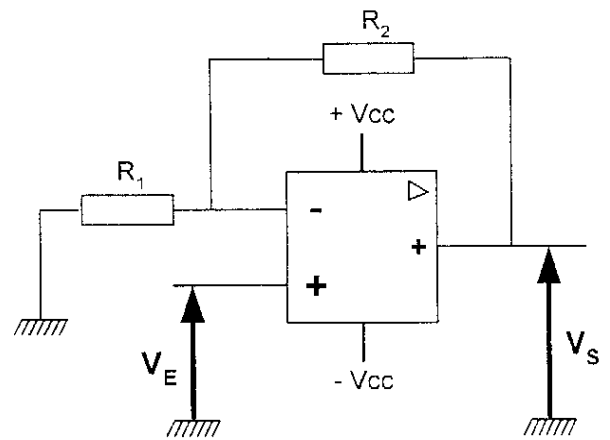


Figure 1

### IV - 2 - Mesure de la température

Le montage de la Figure 2 permet d'obtenir en sortie une tension  $V_S$  proportionnelle à la température ambiante. Il utilise pour cela une CTP [résistance à Coefficient en Température Positif] dont la résistance est donnée par :

$$R_{CTP} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T), \text{ avec :}$$

- $R_{CTP}$  = la valeur de la résistance en ohm
- $R_0$  = la valeur de la résistance à  $0^\circ C = 2 k\Omega$
- $\alpha$  = le coefficient en température =  $0.08 \text{ } ^\circ C^{-1}$
- $T$  = la température en  $^\circ C$

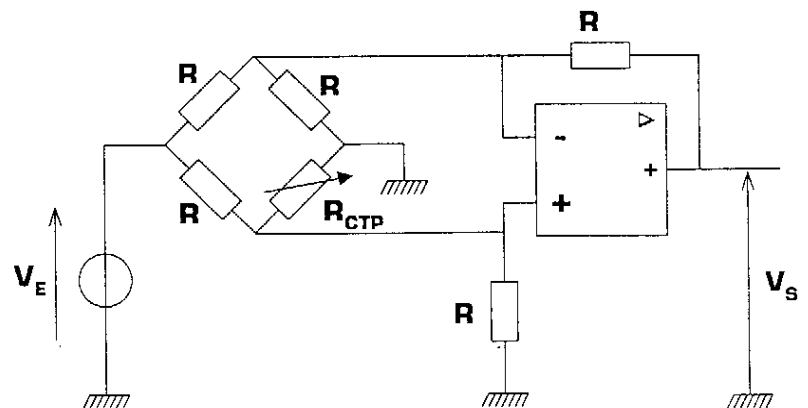


Figure 2

De plus, les 5 résistances  $R$  ont pour valeur  $1 k\Omega$ , et la tension d'entrée  $V_E$  est une tension fixe de valeur  $10 V$ .

IV - 2 - 1 - Redessinez le schéma de la Figure 2 afin qu'il ressemble à un des montages donnés dans le paragraphe III - 2 - Les différents montages à A.L.I. réalisant la fonction amplification puis fléchez-y les tensions  $V^+$  et  $V^-$ .

**IV - 2 - 2** - Donnez l'expression de la tension  $V^+$  présente sur l'entrée non-inverseuse de l'A.L.I., en fonction de  $V_E$ ,  $R$  et  $R_{CTP}$ .

**IV - 2 - 3** - Nous allons maintenant calculer la tension  $V^-$  avec le théorème de superposition. Donnez l'expression de la tension  $V^-$  présente sur l'entrée inverseuse de l'A.L.I. lorsque  $V_s = 0$ , en fonction de  $V_E$  et de  $R$ .

**IV - 2 - 4** - Donnez l'expression de la tension  $V^-$  présente sur l'entrée inverseuse de l'A.L.I. lorsque  $V_E = 0$ , en fonction de  $V_s$  et de  $R$ .

**IV - 2 - 5** - En déduire l'expression complète de la tension  $V^-$  présente sur l'entrée inverseuse de l'A.L.I., sachant qu'il s'agit de la somme algébrique des deux résultats précédents (application du théorème de superposition).

**IV - 2 - 6** - Comme l'A.L.I. fonctionne en régime linéaire, les tensions  $V^+$  et  $V^-$  sont égales. En écrivant l'égalité entre les expressions de  $V^+$  et de  $V^-$  trouvées aux questions **IV-2-2** et **IV-2-5**, déduisez l'expression de la sortie  $V_s$  en fonction de l'entrée  $V_E$ . Quelle est l'expression de l'amplification en tension  $A_v$  du montage de la *Figure 2*?

**IV - 2 - 7** - En déduire la valeur de la tension  $V_s$  en fonction de la température  $T$  puis tracez la caractéristique  $V_s = f(T)$  pour une température variant entre  $-15^\circ\text{C}$  et  $40^\circ\text{C}$ .

**IV - 2 - 8** - Quelles sont la valeur et l'unité de mesure de la sensibilité de la CTP? Cette sensibilité est-elle constante quelque soit la température?  $\rightarrow R_0 \cdot \alpha = 160 \Omega \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \rightarrow$  elle est constante.

**IV - 2 - 9** - Quelles sont la valeur et l'unité de mesure de la sensibilité en température du montage de la *Figure 2*? Cette sensibilité est-elle constante quelque soit la température? *Sensibilité variable en fonction de la température. En Volt par degré C:  $V \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$*

### IV - 3 - Réalisation d'un comparateur à fenêtre

On étudie le comparateur à fenêtre donné sur la *Figure 3*. Les 2 premiers A.L.I. [dont les tensions de sorties sont  $V_{s1}$  et  $V_{s2}$ ] sont alimentés entre  $V_{ALIM1} = 15\text{V}$  et  $V_{ALIM2} = 0\text{V}$  et fonctionnent en comparateur, c'est-à-dire que leur tension de sortie ne peut prendre que 2 valeurs différentes en fonction des potentiels présents sur leurs entrées :

si  $V^+ > V^-$  alors  $V_s = V_{ALIM1}$

si  $V^- > V^+$  alors  $V_s = V_{ALIM2}$

Le 3<sup>ème</sup> A.L.I. [dont la sortie est  $V_s$ ] est alimenté entre  $V_{ALIM1} = 15\text{V}$  et  $V_{ALIM2} = -15\text{V}$  et fonctionnent en régime linéaire.

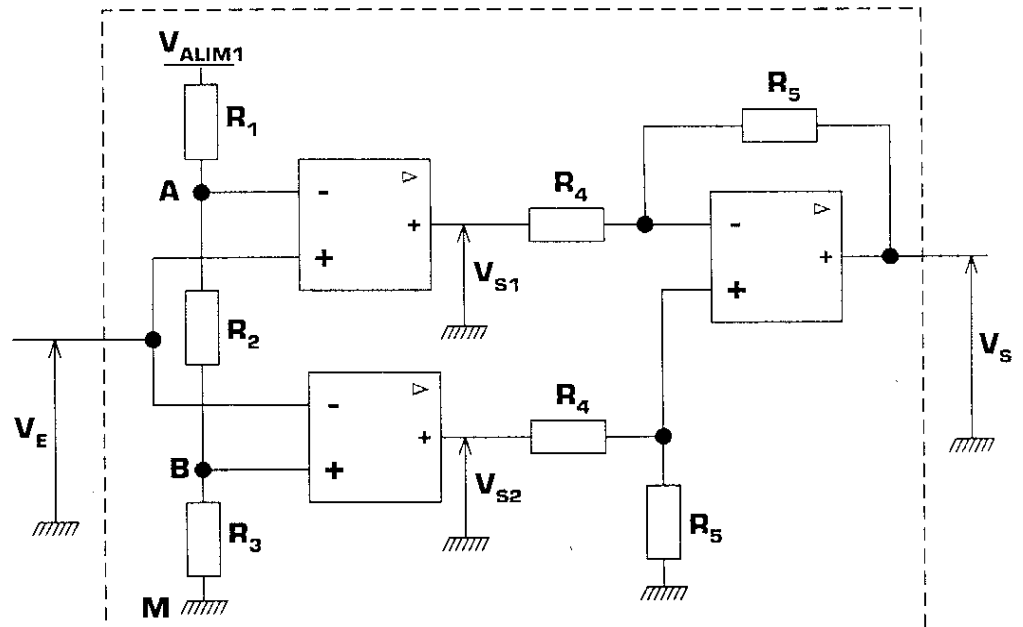


Figure 3

**IV - 3 - 1** - Exprimez les tensions de seuil  $V_B$  et  $V_A$  du montage en fonction de  $V_{ALIM1}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

**IV - 3 - 2** - Calculez les valeurs numériques des tensions  $V_B$  et  $V_A$  pour  $R_1 = R_3 = 82\text{k}\Omega$  et  $R_2 = 56\text{k}\Omega$ .

**IV - 3 - 3** - Exprimez  $V_s$  en fonction de  $V_{s1}$ ,  $V_{s2}$ ,  $R_4$  et  $R_5$ . Que devient cette relation si  $R_4 = 2 \cdot R_5$ ?

**IV - 3 - 4** - Complétez le tableau suivant en indiquant les valeurs des tensions  $V_{s1}$ ,  $V_{s2}$  et  $V_s$  pour chacun des intervalles donnés pour la tension  $V_E$ : (*avec  $R_4 = 2 \cdot R_5$* )

| Intervalle de $V_E$     | Valeur de $V_{s1}$ | Valeur de $V_{s2}$ | Valeur de $V_s$ |
|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| $0\text{V} < V_E < V_B$ | 0V                 | 15V                | 7,5V            |
| $V_B < V_E < V_A$       | 0V                 | 0V                 | 0V              |
| $V_A < V_E < V_{ALIM1}$ | 15V                | 0V                 | -7,5V           |

**IV - 3 - 5** - Tracez la caractéristique  $V_s = f(V_E)$  du comparateur à fenêtre de la *Figure 3*. S'agit-il d'un comparateur à deux ou à trois niveaux de sortie?

**IV - 3 - 6** - On modifie le montage de la *Figure 3* en permutant les entrées + et - du comparateur du bas dont la sortie est  $V_{s2}$ : l'entrée - de ce comparateur est maintenant reliée au point B, et l'entrée + est reliée à la tension  $V_E$ . Dessinez le schéma de ce nouveau montage puis étudiez-le en reprenant les questions **IV-3-1** à **IV-3-5**.

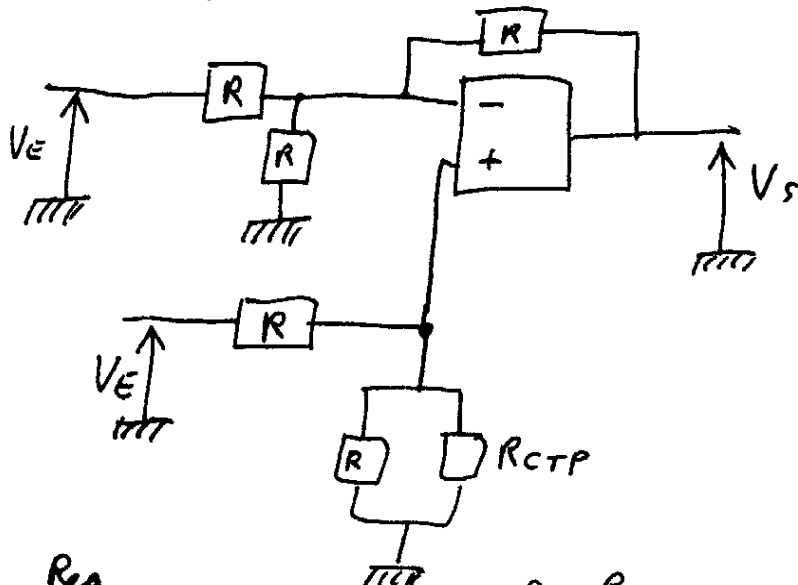
CORRECTION des exercices à la fin du cours  
 « La fonction amplification ».

IV-1) Montage non inverseur.

$$V_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_E = 3 \cdot V_E \Rightarrow V_s \text{ a une amplitude de } 2,25V$$

IV-2) Mesure de la température.

①



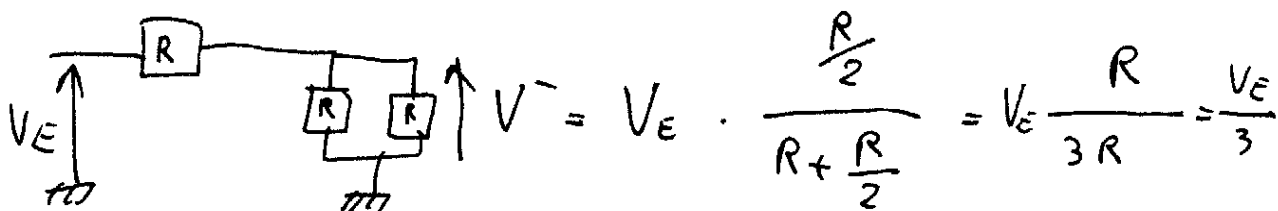
Ressemble au montage amplificateur de différence.

②  $V^+ = V_E \frac{R_{eq}}{R + R_{eq}}$  avec  $R_{eq} = \frac{R \cdot R_{CTP}}{R + R_{CTP}}$

donc  $V^+ = V_E \frac{R \cdot R_{CTP}}{R + R_{CTP}} \cdot \frac{1}{R + \frac{R \cdot R_{CTP}}{R + R_{CTP}}} = V_E \frac{\frac{R_{CTP}}{R + R_{CTP}}}{1 + \frac{R_{CTP}}{R + R_{CTP}}}$

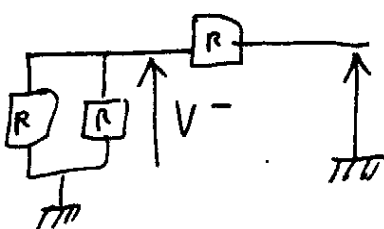
$$V^+ = V_E \frac{R_{CTP}}{R + 2R_{CTP}}$$

③:  $V_s = 0$



$$V^- = V_E \cdot \frac{\frac{R}{2}}{R + \frac{R}{2}} = V_E \frac{R}{3R} = \frac{V_E}{3}$$

④  $V_E = 0$ :



$$V^- = V_s \frac{\frac{R}{2}}{R + \frac{R}{2}} = \frac{V_s}{3}$$

⑤ donc  $V^- = \frac{V_E}{3} + \frac{V_s}{3} = \frac{1}{3} (V_E + V_s)$

$$⑥ V^+ = V^- \Leftrightarrow V_E \frac{R_{CTP}}{R + 2 \cdot R_{CTP}} = \frac{1}{3} \cdot (V_E + V_S)$$

$$\Leftrightarrow V_E \left( \frac{R_{CTP}}{R + 2 \cdot R_{CTP}} - \frac{1}{3} \right) = \frac{1}{3} \cdot V_S$$

$$\Leftrightarrow V_E \cdot \left( \frac{3 R_{CTP}}{R + 2 \cdot R_{CTP}} - 1 \right) = V_S$$

$$\Leftrightarrow V_S = V_E \frac{R_{CTP} - R}{2 R_{CTP} + R}$$

$$⑦ R_{CTP} = R_0 (1 + \alpha T)$$

$$V_S = V_E \frac{R_0 (1 + \alpha T) - R}{2 R_0 (1 + \alpha T) + R} = V_E \frac{R_0 \alpha T R_0 + R_0 - R}{2 R_0 + R + 2 R_0 \alpha T}$$

$$= V_E \frac{160 \cdot T + 1000}{320 T + 5000}$$

avec  $V_E = 10V$ :

$$V_S = \frac{1600 \cdot T + 10000}{320 \cdot T + 5000}$$

Sensibilité du montage  
(Variation moyenne de  $V_S$  pour une  
modification de  $1^\circ C$ )

533 mV/°C | 117 mV/°C | 51 mV/°C | 23 mV/°C | 13 mV/°C

|       |       |        |     |       |       |       |       |
|-------|-------|--------|-----|-------|-------|-------|-------|
| T     | -15°C | -10°C  | 0°C | 10°C  | 20°C  | 30°C  | 40°C  |
| $V_S$ | -70V  | -3,33V | 2V  | 3,17V | 3,68V | 3,97V | 4,16V |

|       |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|
| T     | -14°C  | -13°C  | -12°C  |
| $V_S$ | -23,8V | -12,9V | -7,93V |

(entre -12°C et -10°C)  
2,3V/°C

En dessous de  $T = -12^\circ C$ , la tension  $V_S$  chute à la limite.



Correction exercice du cours « la fonction amplification ».

IV-3] Réalisation d'un comparateur à fenêtre.

①  $V_A = V_{lim1} \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$        $V_B = V_{lim1} \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

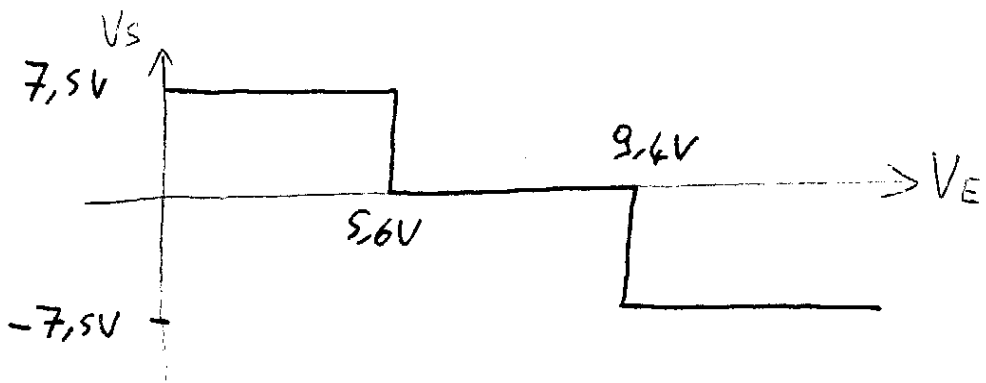
②  $V_A = 15 \times \frac{138}{220} = 9,4V$        $V_B = 15 \times \frac{82}{220} = 5,6V$

③ Montage amplificateur de différence:

$$V_S = \frac{R_4 + R_5}{R_4} \cdot \left( V_{S2} \cdot \frac{R_5}{R_4 + R_5} - V_{S1} \cdot \frac{R_5}{R_4 + R_5} \right) = \frac{R_5}{R_4} (V_{S2} - V_{S1})$$

Si  $R_4 = 2R_5$  alors  $V_S = \frac{V_{S2} - V_{S1}}{2}$

⇒ comparateur à fenêtre à 3 niveaux de sortie: -7,5V, 0V, et 7,5V.



④ On modifie le montage:  $V_B = 5,6V$  et  $V_A = 9,4V$  (inchangée)

|                        | $V_{S1}$ | $V_{S2}$ | $V_S$ |
|------------------------|----------|----------|-------|
| $0V < V_E < V_B$       | 0V       | 0V       | 0V    |
| $V_B < V_E < V_A$      | 0V       | 15V      | 7,5V  |
| $V_A < V_E < V_{lim1}$ | 15V      | 15V      | 0V    |

valeurs de  $V_{S2}$  imposées au 1<sup>er</sup> montage

⇒ le comparateur est toujours à 2 niveaux de sortie.

⇒ le ~~comparateur~~ comparateur ne peut pas être à 2 niveaux de sortie car le 3<sup>ème</sup> en A.L.T effectue une soustraction (15-0 ou 0-15) pas la même chose que 15+0.

**Retrouvez d'autres cours sur le site ressource**

**[www.gecif.net](http://www.gecif.net)**

**Téléchargez librement sur Gecif.net :**

- ✍ **des cours et des TP de Génie Electrique**
- ✍ **des exercices et des évaluations avec corrections**
- ✍ **des ressources Automgen, ISIS Proteus et Flowcode**
- ✍ **des QCM pour réviser les cours et vous entraîner**
- ✍ **des logiciels d'électronique pour les installer chez vous**
- ✍ **des dossiers techniques de systèmes originaux**
- ✍ **des fiches pratiques sur tous les domaines des sciences de l'ingénieur**
- ✍ **des sujets de BAC**
- ✍ **et bien plus encore sur Gecif.net !**