

Chapitre 3 : Amplificateurs opérationnels- AOP

1. Introduction

- ✓ Le terme amplificateur opérationnel, en abrégé AOP, est un circuit intégré comportant un grand nombre de composants : transistors, résistances, condensateurs
- ✓ Un amplificateur différentiel amplifie la ddp entre 2 points isolés de la masse, on définit :
 - $V_d = v^+ - v^-$: tension d'entrée en mode différentiel
 - $V_{cm} = \frac{v^+ + v^-}{2}$: tension d'entrée en mode commun

2. Schéma électrique d'un AOP

Un AOP est représenté par un triangle qui possède deux broches d'entrées, deux broches d'alimentation symétriques et une broche de sortie.

- Deux entrées
 - V_+ : entrée non inverseuse
 - V_- : entrée inverseuse
- Nécessite une source de tension symétrique ($\pm E$) avec $E=10$ à $15V$
- V_s : sortie

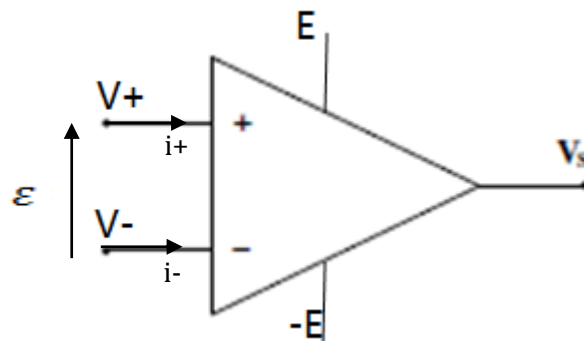
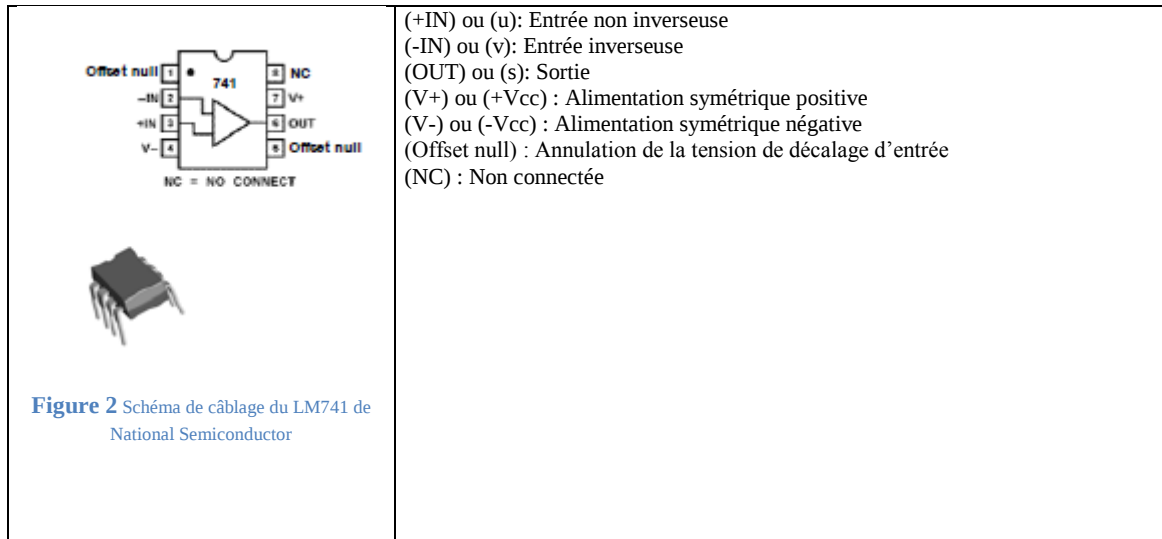


Figure 1 : Symbole d'un AOP

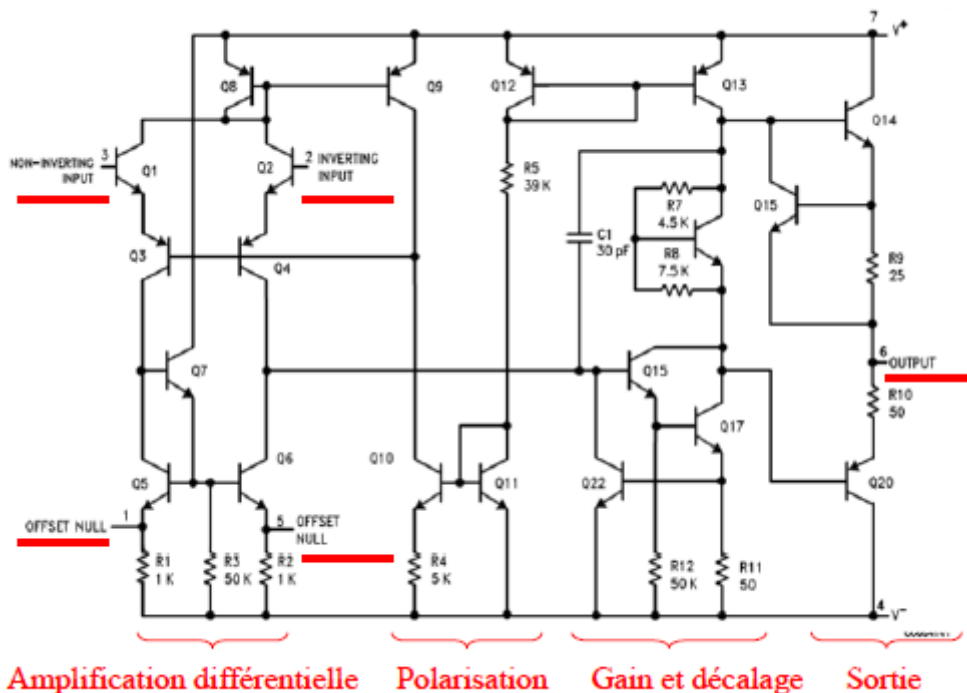
- ✓ Dans un amplificateur classique, le signal est appliqué entre l'entrée et la masse. Dans ce cas, le circuit amplifie le signal et les signaux parasites induit sur l'entrée

3. Circuit interne du LM741

La plupart des ampli-op se présentent sous la forme d'un circuit intégré (CI) à 8 broches (Figure 58)



Le circuit interne du LM741 (voir figure ci-dessous) comporte une vingtaine de transistors bipolaires, une dizaine de résistances et une capacité (30pF) dite de compensation.



Remarque

Le schéma est tiré du data sheet de Texas Instruments. Il est donné à titre indicatif, il ne faut pas essayer de le comprendre !

4. Propriétés d'un amplificateur opérationnel idéal

On définit un AOP idéal par AOP qui possède les propriétés suivantes :

1. Une impédance d'entrée infinie ($Z_{in}=\infty$) $\Rightarrow$ aucun courant ne traverse les deux entrées
 $i_+ = i_- = 0$ (Résistance d'entrée infinie)
2. Une impédance de sortie nulle $Z_{out} = 0 \Rightarrow$ toute la tension de sortie de l'AOP passe aux bornes de la charge sans aucune atténuation
3. AOP a un gain infini en boucle ouverte (BO)
 - BO : absence de toute connexion extérieure de composants électroniques
4. Bande passante infinie
5. Entrée identiques $\Rightarrow$ la ddp entre les 2 entrées de AOP est nulle $\varepsilon = e^+ - e^- = 0$

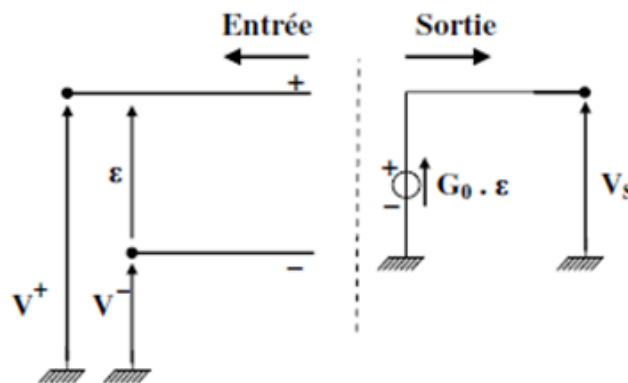


Figure 4. 1 : Schéma équivalent d'un AOP idéal

5. Montages à base d'AOP

Dans les sections suivantes on va exprimer la tension de sortie en fonction de la tension d'entrée et les éléments du circuit.

5.1. Montage non inverseur

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

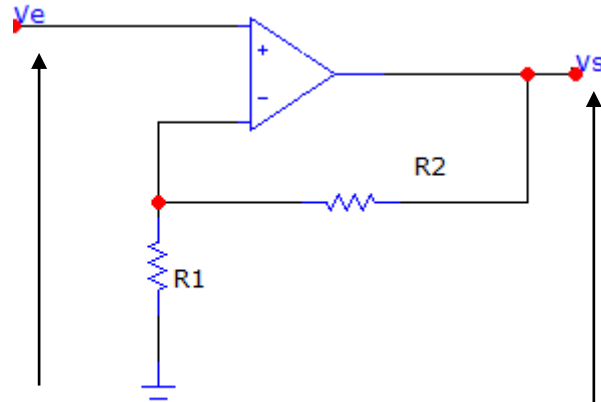


Figure 3 : Montage non inverseur

Travail demandé : Exprimer la tension V_s/V_e en fonction de R_1 et R_2 .

$$e^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s \quad (1)$$

$$\text{On a : } e^- = e^+ = V_e \quad (2)$$

On remplace l'équation (2) dans l'équation (1) on obtient : $V_e = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$ alors $\frac{V_s}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

- ✓ Le montage non inverseur est un amplificateur de tension, car son gain en boucle fermée est supérieur à 1
- ✓ Puisque A est positif, les tensions de sortie V_s et d'entrée V_e sont en phase, d'où le nom amplificateur non inverseur

5.2. Montage additionneur (sommateur)

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

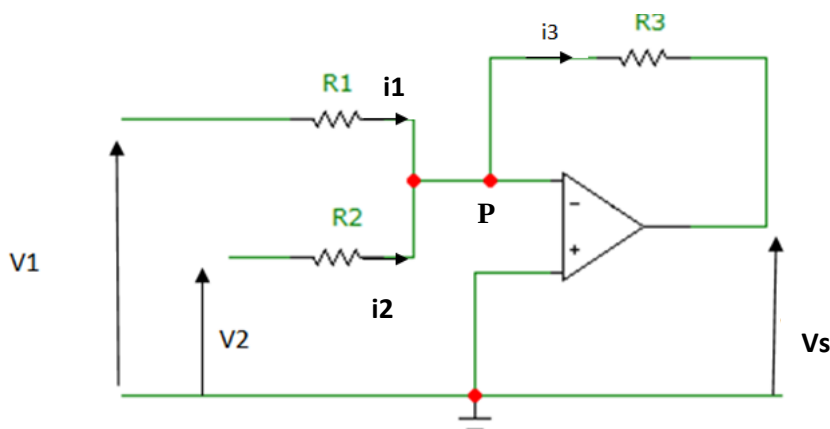


Figure 4 : Montage additionneur

Travail demandé : Exprimer la tension V_s en fonction de V_1 , V_2 , R_1 , R_2 et R_3 .

On a $\begin{cases} i_- = i_+ = 0 \\ v_+ = v_- \end{cases}$

$$i_1 + i_2 = i_3 \quad (1)$$

Le théorème de Milman au point P :

$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} = -\frac{V_S}{R_3} \Rightarrow V_S = -R_3 \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} \right)$$

Méthode 2

$$\begin{cases} V_3 + R_3 i_3 = 0 \\ V_2 - R_2 i_2 = 0 \\ V_1 - R_1 i_1 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i_3 = -\frac{V_S}{R_3} \\ i_2 = \frac{V_2}{R_2} \\ i_1 = \frac{V_1}{R_1} \end{cases} \quad (2)$$

On remplace le système d'équation (2) dans l'équation (1), on obtient :

$$V_S = -R_3 \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} \right)$$

RQ : Dans le cas où $R_1 = R_2 = R$

$$V_S = -\frac{R_3}{R} (v_1 + v_2)$$

5.3. Montage soustracteur

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

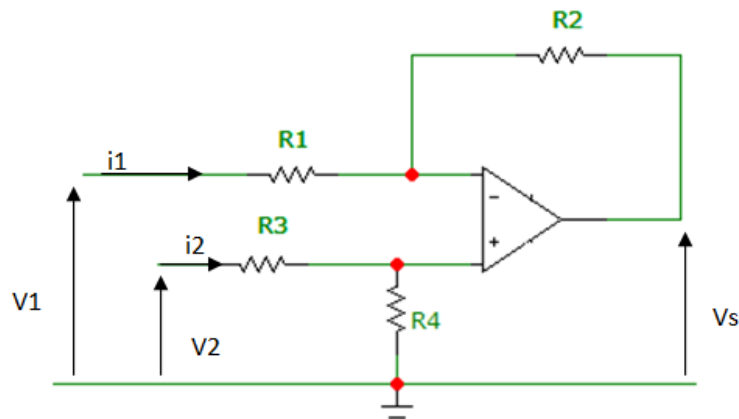


Figure 5 : Montage soustracteur

Travail demandé : Exprimer la tension V_S en fonction de V_1 , V_2 , R_1 , R_2 , R_3 et R_4 .

$$v_1 = R_1 i_1 + R_4 i_2 \quad (1)$$

$$v_2 = (R_3 + R_4) i_2 \quad (2)$$

$$V_s = -R_2 i_1 + R_4 i_2 \quad (3)$$

$$\text{De l'équation (2)} \Rightarrow i_2 = \frac{v_2}{R_3 + R_4} \quad (4)$$

On remplace l'équation (4) dans l'équation (1) on obtient :

$$v_1 = R_1 i_1 + \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 \Rightarrow i_1 = \frac{v_1}{R_1} - \frac{R_4}{R_1(R_3 + R_4)} v_2 \quad (5)$$

On remplace les équations (4) et (5) dans l'équation (3) on obtient :

$$\begin{aligned} v_s &= R_2 i_1 + R_4 i_2 = -R_2 \left(\frac{v_1}{R_1} - \frac{R_4}{R_1(R_3 + R_4)} v_2 \right) \\ v_s &= \frac{R_4(R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1 \end{aligned}$$

5.4. Montage intégrateur

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

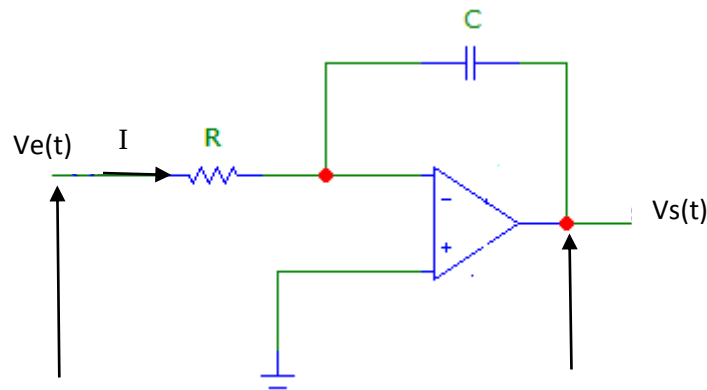


Figure 4. 2 : Montage intégrateur

Travail demandé : Exprimer la tension V_s en fonction de $V_e(t)$, R et C .

$$I = \frac{V_e(t)}{R} = -C \frac{dV_s(t)}{dt} \Rightarrow \frac{V_e(t)}{R} = -C \frac{dV_s(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow V_s(t) = -\frac{1}{RC} \int V_e(t) dt$$

5.5. Montage dérivateur

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

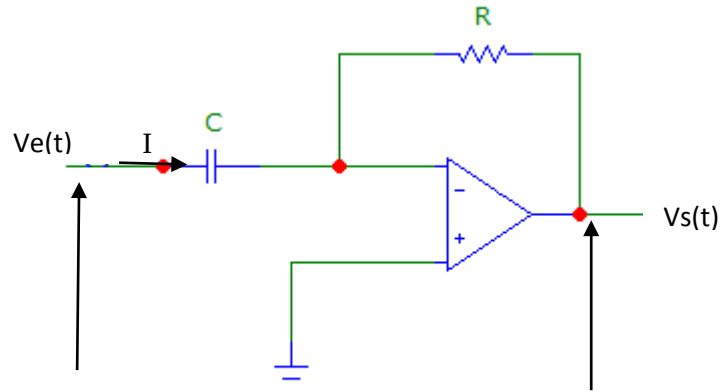


Figure 4. 3: Montage dérivateur

Travail demandé : Exprimer la tension Vs en fonction de Ve(t), R et C.

$$I = C \frac{dV_e(t)}{dt} = -\frac{V_s(t)}{R} \Rightarrow V_s(t) = -RC \frac{dV_e(t)}{dt}$$

5.6. Amplificateur logarithmique

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

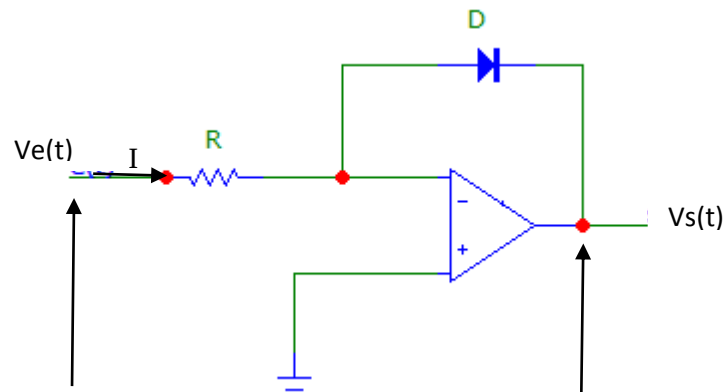


Figure 6 : Montage logarithmique

$$V_e = RI \quad (1)$$

L'équation qui exprime le courant traversant une diode est :

$$I = I_s \left(\exp \frac{V_D}{V_T} - 1 \right) \approx I_s \cdot \exp \frac{V_D}{V_T} \quad (2)$$

- I_s est la constante spécifique au type de diode considéré, homogène à un courant. Cette constante est aussi appelée « courant de saturation » de la diode.

- V_D est la tension aux bornes de la diode ;
- V_T (appelé *tension thermique*) est égal à $\frac{k_B T}{q}$, où k_B est la constante de Boltzmann, T la température absolue de la jonction et q la charge d'un électron.

$$V_D = -V_S \quad (3)$$

On remplace l'équation (1) dans l'équation (2) on obtient :

$$V_e = R \cdot I_S \cdot \exp \frac{V_D}{V_T} \quad (4)$$

On remplace l'équation (3) dans l'équation (4) on obtient :

$$V_e = R \cdot I_S \cdot \exp \frac{V_S}{V_T} \Rightarrow V_S = -V_T \ln \frac{V_e(t)}{R I_S} + cste$$

5.7. Amplificateur exponentiel

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

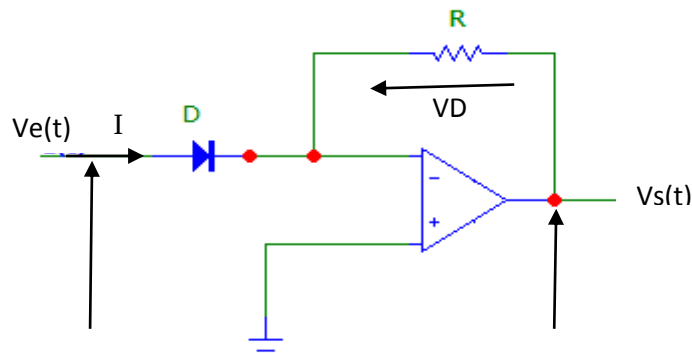


Figure 4. 4: Montage exponentiel

$$V_S = -R \cdot I \quad (1)$$

$$I = I_S \cdot \exp \frac{V_e}{V_T} \quad (2)$$

$$V_e = V_D \quad (3)$$

On remplace les équations (2) et (3) dans l'équation (1) on obtient : $V_S = -R I_S \cdot \exp \frac{V_e}{V_T}$