

Chapitre 4 : Amplificateurs opérationnels

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

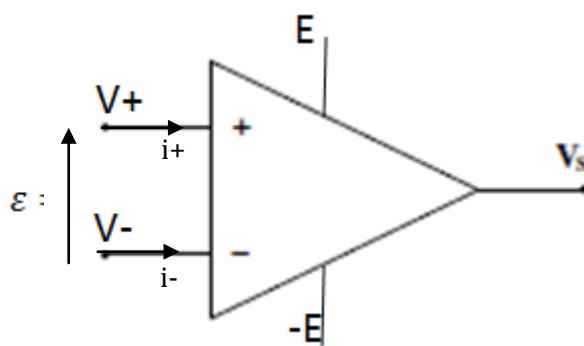
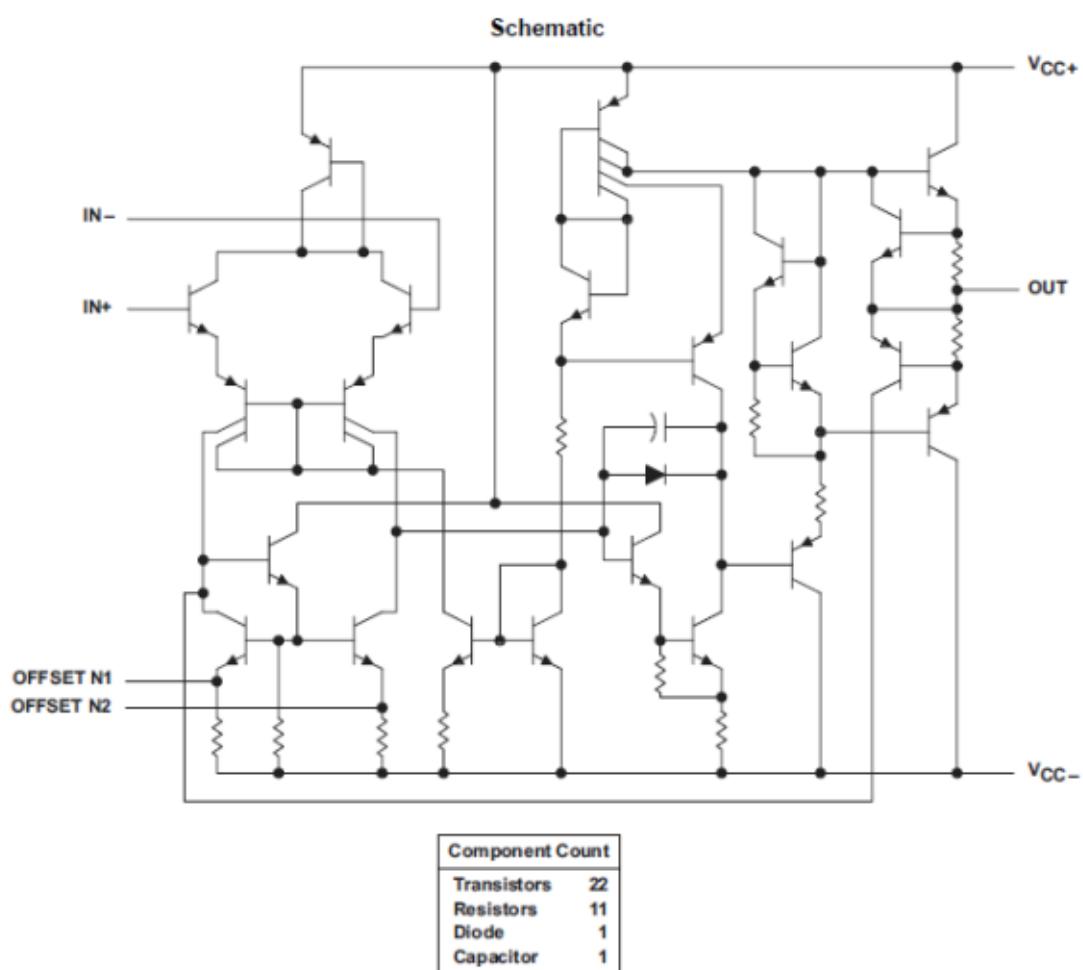
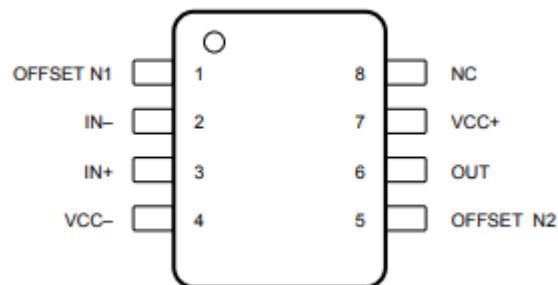


Figure 4. 1 : Symbole d'un AOP

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

3. Circuit interne du UA 741C



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. Amplificateur AOp 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 ne 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 $\varepsilon = e^+ - e^- = 0$

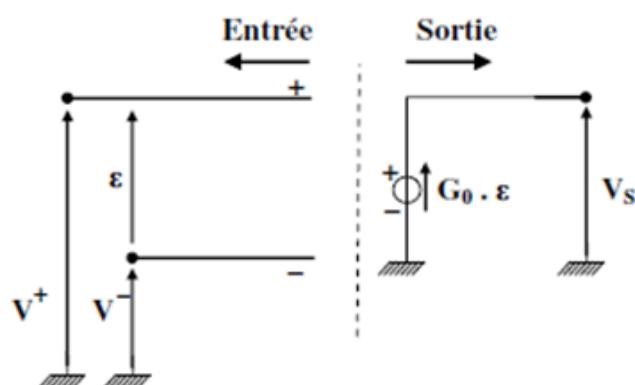


Figure 4. 2 : Schéma équivalent d'un AOP idéal

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 :

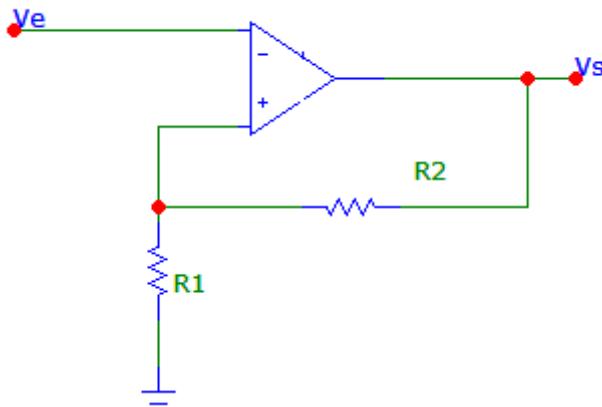


Figure 4. 3 : montage non inverseur

$$e^- = \frac{R1}{R1 + R2} Vs$$

$$\text{On a : } e^- = e^+ = Ve \Rightarrow Ve = \frac{R1}{R1 + R2} Vs \text{ alors } A = \frac{Vs}{Ve} = \frac{R1 + R2}{R1} = 1 + \frac{R2}{R1}$$

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

5.2. Montage additionneur (sommateur)

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

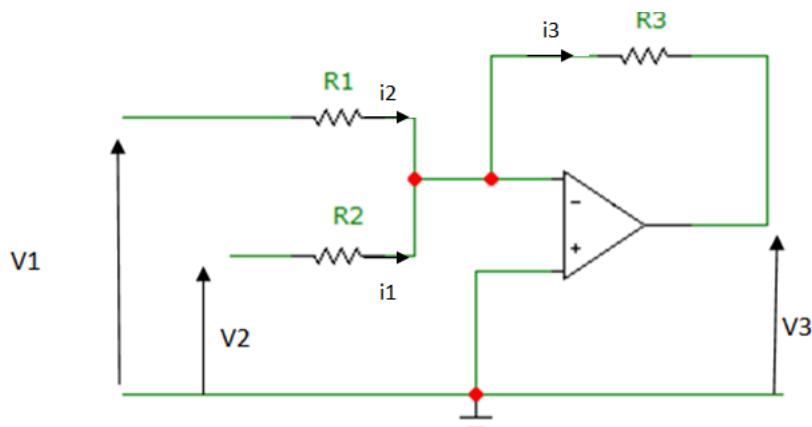


Figure 4. 4 : Montage additionneur

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

$$i_1 + i_2 = i_3$$

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

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 :

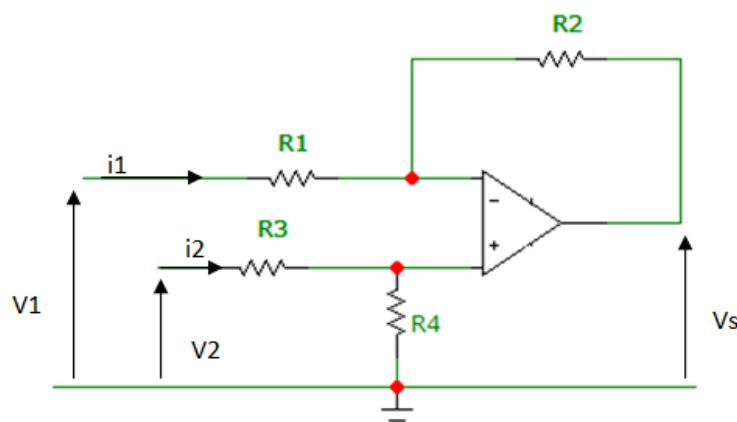


Figure 4. 5 : Montage soustracteur

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

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

$$v_s = -R_1 i_1 + R_4 i_2 \quad (3)$$

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

$$\text{On remplace l'équation 2 dans l'équation 1 on obtient : } v_1 = R_1 i_1 + R_4 \frac{v_2}{R_3 + R_4} \quad (5)$$

$$\text{De l'équation (5)} \Rightarrow i_1 = \frac{v_1}{R_1} - \frac{R_4}{R_1(R_3 + R_4)} v_2 \quad (6)$$

On remplace les équations (4) et (6) dans l'équation (3) on obtient :

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

5.4. Montage intégrateur

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

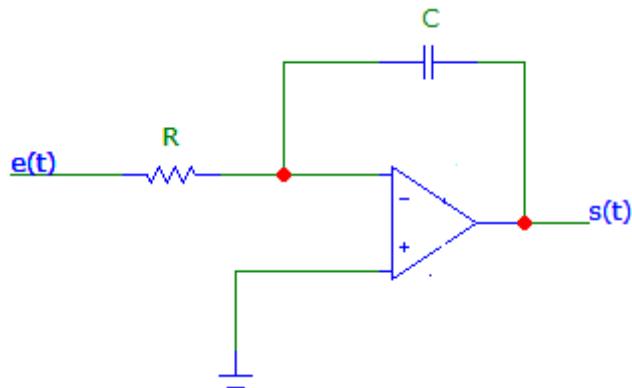


Figure 4. 6 : Montage intégrateur

$$I = \frac{e(t)}{R} = -C \frac{ds(t)}{dt} \Rightarrow \frac{e(t)}{R} = -C \frac{ds(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow s(t) = -\frac{1}{RC} \int e(t) dt$$

5.5. Montage déivateur

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

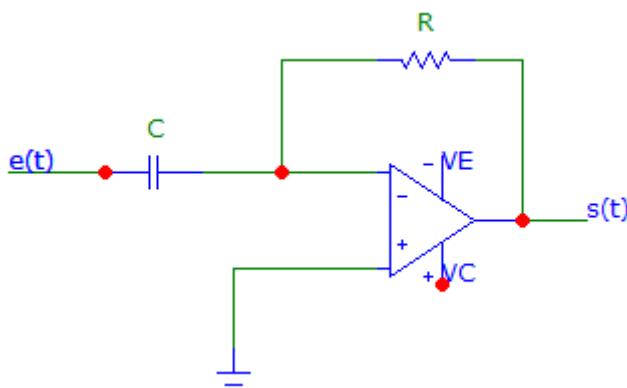


Figure 4. 7: Montage déivateur

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

5.6. Amplificateur logarithmique

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

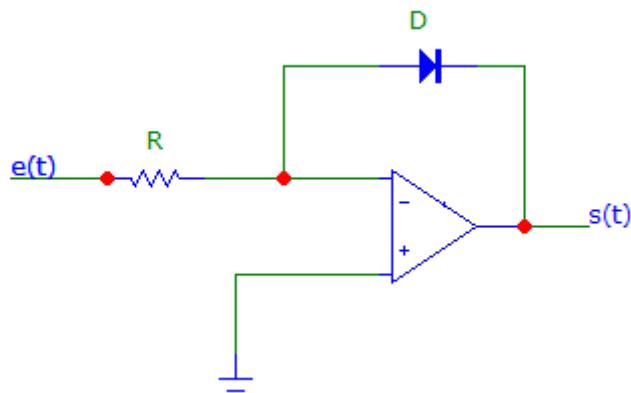


Figure 4. 8 : Montage logarithmique

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

$$I = Is \left(\exp \frac{VD}{VT} - 1 \right) \approx Is \cdot \exp \frac{VD}{VT} \quad (2)$$

$$VD = Vs \quad (3)$$

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

$$Ve = R \cdot Is \cdot \exp \frac{VD}{VT} \quad (4)$$

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

$$Ve = R \cdot Is \cdot \exp \frac{Vs}{VT} \Rightarrow Vs = VT \ln \frac{Ve(t)}{R} + cste$$

5.7. Amplificateur exponentiel

Soit le circuit à base d'AOP suivant :

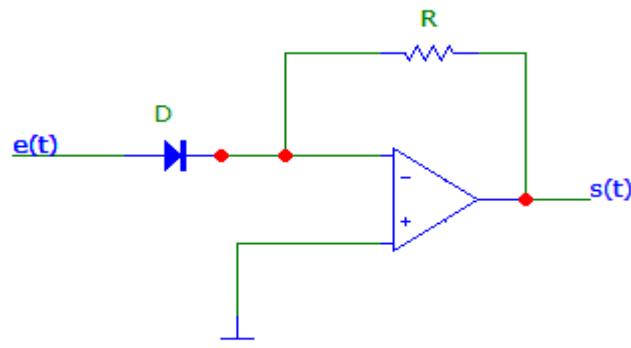


Figure 4. 9: Montage exponentiel

$$Vs = -R \cdot i \quad (1)$$

$$i = Is \cdot \exp \frac{Ve}{VT} \quad (2)$$

$$VD = Ve \quad (3)$$

On remplace les équations (2) et (3) dans l'équation (1) on obtient :

$$Vs = -R \cdot Is \cdot \exp \frac{Ve}{VT}$$