

TABLE DES MATIERES

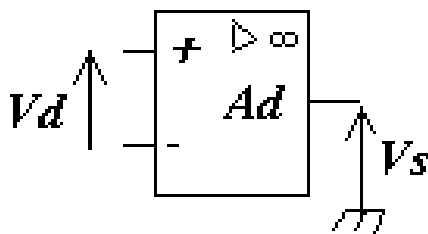
1) Introduction	2
2) Montages fondamentaux idéaux	2
2.1) Les montages comparateurs	2
2.2) Le montage inverseur	3
2.3) Le montage non inverseur	3
2.4) Le montage suiveur	4
2.5) Le montage sommateur inverseur	4
2.6) Le montage soustracteur	4
2.7) Le montage amplificateur d'instrumentation	5
2.8) Le montage convertisseur courant tension	5
3) Montages réels	6
3.1) L'AOP réel	6
3.2) Le montage inverseur	6
3.3) Le montage non inverseur	6

1) INTRODUCTION

L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré à entrées symétriques et à sortie non symétrique dont les paramètres dynamiques principaux dans la bande passante se rapprochent de ceux d'un amplificateur idéal (gain en tension infiniment grand, résistance d'entrée infiniment grande et résistance de sortie nulle).

La dénomination "opérationnel" est historique. Elle provient du fait que les amplificateurs à tels paramètres (presque idéaux) étaient utilisés avant même l'apparition des circuits intégrés dans les ordinateurs analogiques pour effectuer des opérations mathématiques (addition, soustraction, différentiation, intégration. etc....) sur des tensions et des courants.

Aujourd'hui, les calculs mathématiques s'effectuent dans la plupart des cas avec des ordinateurs numériques. Néanmoins, le rôle des amplificateurs opérationnels est devenu beaucoup plus important. Ce sont les circuits intégrés analogiques les plus utilisés à cause de leur universalité, leur simplicité et leur performance.



+ = entrée non inverseuse

- = entrée inverseuse

$V_D = V^+ - V^-$ = tension différentielle d'entrée

$A_D = +\infty$ = amplification différentielle de l'AOP

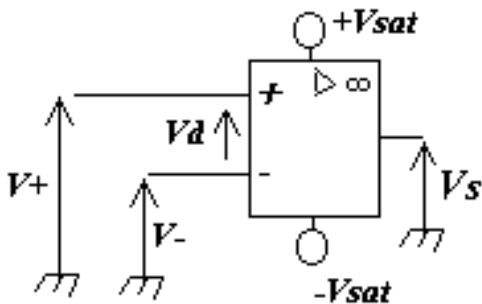
$V_S = A_D \times V_D$ = tension de sortie

$R_D = \infty$ = Résistance d'entrée différentielle de l'AOP

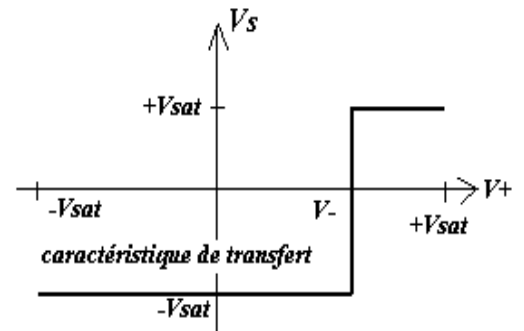
$r_s = 0$ = Résistance de sortie de l'AOP (100Ω réels)

2) MONTAGES FONDAMENTAUX IDEAUX

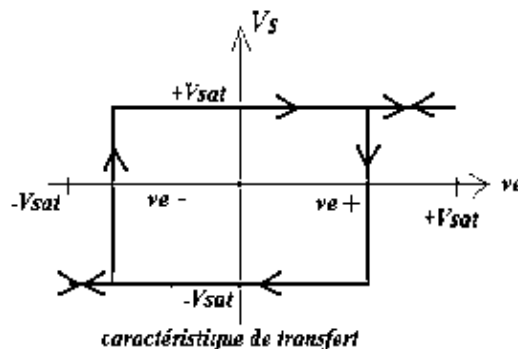
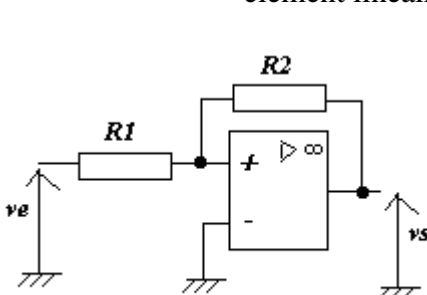
2.1) LES MONTAGES COMPAREURS



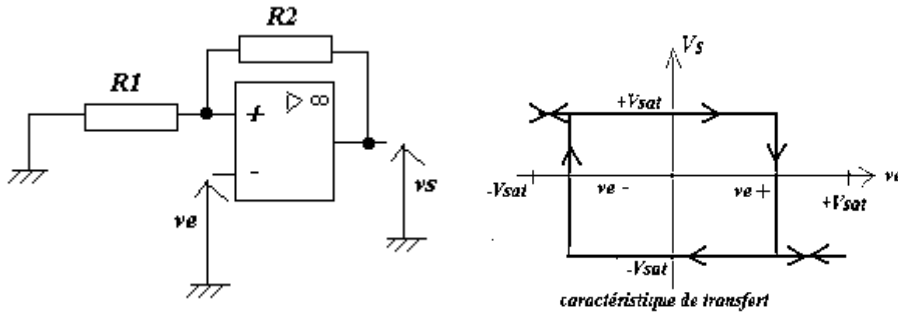
$A_D = +\infty$
 $V_S = A_D \times V_D \neq \infty$
 donc
 $V_S = +V_{SAT}$ si $V_d > 0$
 $V_S = -V_{SAT}$ si $V_d < 0$



Remarque : ce montage est non linéaire (la sortie n'est pas rebouclée sur l'entrée – par un élément linéaire)



$$ve \text{ bascule} = -\frac{R1}{R2} \times Vs$$



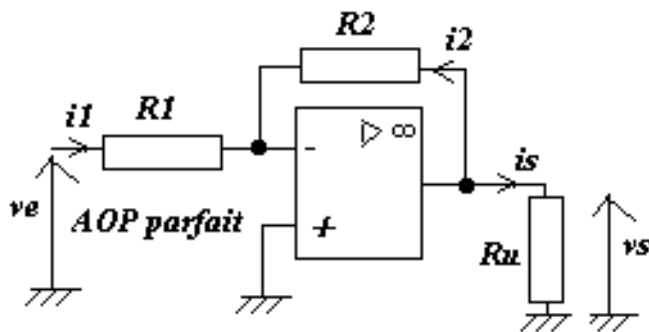
$$v_e \text{ bascule} = \frac{R1}{R1 + R2} \times V_s$$

2.2) LE MONTAGE INVERSEUR

Remarque 1 : ce montage est linéaire (la sortie est rebouclée sur l'entrée - par un élément linéaire)

Remarque 2 : $V_s = A_D \times V_D \Rightarrow V_D = \frac{V_s}{A_D}$ or $A_D = +\infty$ (très grand) donc $V_D = 0V$

Remarque 3 : $R_D = \infty$ donc $I^+ = I^- = 0$



$$V_D = 0V \text{ et } V^+ = 0V \text{ donc } V^- = 0V$$

$$v_E = R_1 \times i_1$$

$$v_S = R_2 \times i_2$$

$$i_1 = -i_2 \quad (I^+ = I^- = 0)$$

$$A_V = \frac{v_S}{v_E} = -\frac{R_2}{R_1} = \text{amplification du montage}$$

$$R_E = \frac{v_e}{i_1} = R_1 = \text{résistance d'entrée du montage}$$

$$R_S = 0\Omega = \text{résistance de sortie du montage}$$

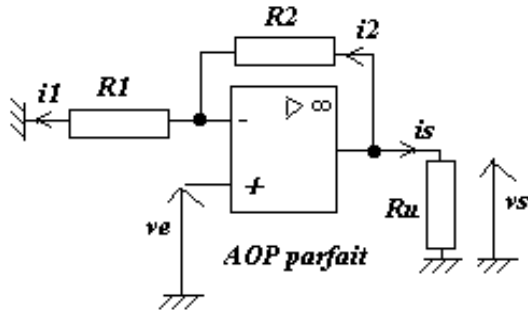
Les tension de sortie et d'entrée sont en opposition de phase : **amplificateur inverseur**

2.3) LE MONTAGE NON INVERSEUR

Remarque 1 : ce montage est linéaire (la sortie est rebouclée sur l'entrée - par un élément linéaire)

Remarque 2 : $V_s = A_D \times V_D \Rightarrow V_D = \frac{V_s}{A_D}$ or $A_D = +\infty$ (très grand) donc $V_D = 0V$

Remarque 3 : $R_D = \infty$ donc $I^+ = I^- = 0$



$$V_D = 0V \text{ et } V^+ = v_E \text{ donc } V^- = v_E$$

$$v_E = R_1 \times i_1$$

$$v_S = R_2 \times i_2 + v_E$$

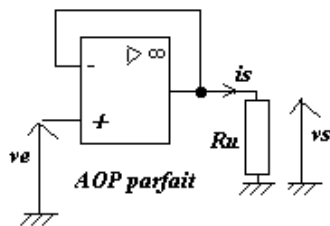
$$i_1 = i_2 \text{ (} I^+ = I^- = 0 \text{)}$$

$$A_V = \frac{v_S}{v_E} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_E = \frac{v_e}{i_1} = \infty \quad R_S = 0\Omega$$

2.4) LE MONTAGE SUIVEUR

Il s'agit d'un cas particulier de montage non inverseur où $R_1 = \infty$ et $R_2 = 0\Omega$



$$A_V = \frac{v_S}{v_E} = 1$$

$$R_E = \frac{v_e}{i_1} = \infty$$

$$R_S = 0\Omega$$

$$V_D = 0V \text{ et } V^+ = 0V \text{ donc } V^- = 0V$$

$$v_1 = R_1 \times i_{11} \text{ et } v_2 = R_2 \times i_{12}$$

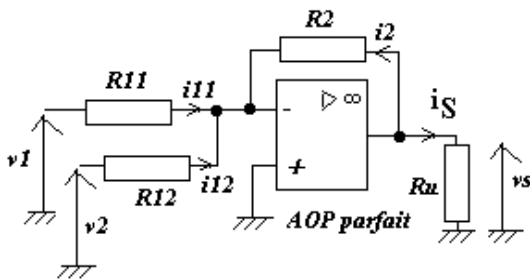
$$v_S = R_2 \times i_2$$

$$i_{11} + i_{12} + i_2 = 0 \quad (I^+ = I^- = 0)$$

$$\frac{v_S}{R_2} = -\frac{v_1}{R_{11}} - \frac{v_2}{R_{12}}$$

$$v_S = -\left(\frac{R_2}{R_{11}} \times v_1 + \frac{R_2}{R_{12}} \times v_2\right)$$

2.5) LE MONTAGE SOMMATEUR INVERSEUR

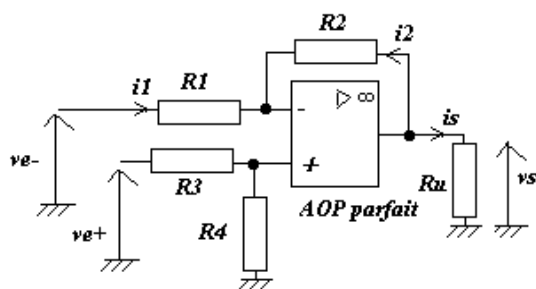


$$R_{E1} = \frac{v_1}{i_{e1}} = \frac{v_1}{i_1} = R_{11}$$

$$R_{E1} = \frac{v_1}{i_{e1}} = \frac{v_1}{i_1} = R_{11}$$

$$R_S = 0\Omega$$

2.6) LE MONTAGE SOUSTRACTEUR



$$R_{E+} = \frac{v_{E+}}{i_{e+}} = R_3 + R_4$$

$$R_{E-} = \frac{v_{E-}}{i_{e-}} = R_1$$

$$R_S = 0\Omega$$

Si $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, alors $v_S = v_{E+} - v_{E-}$

$$V_D = 0V \text{ donc } V^- = V^+$$

$$v^+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times v_{E+}$$

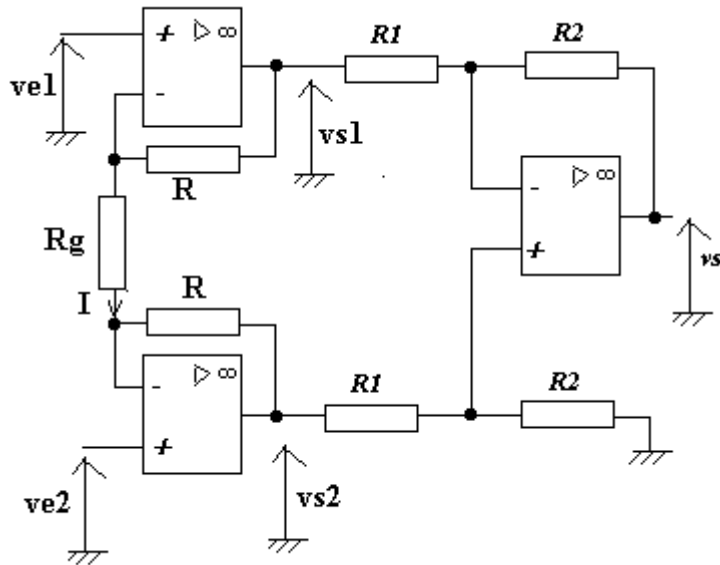
Par superposition,

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times v_{E-} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times v_S$$

d'où

$$v_S = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times v_{E+} - \frac{R_2}{R_1} v_{E-}$$

2.7) LE MONTAGE AMPLIFICATEUR D'INSTRUMENTATION



$$V_S = -\frac{R2}{R1} \times V_{S1} + \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \times \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{S2} \Rightarrow V_S = \frac{R2}{R1} \times (V_{S2} - V_{S1})$$

$$V_{S2} - V_{S1} = -(2 \times R + Rg) \times I$$

$$V_{E1} - V_{E2} = Rg \times I$$

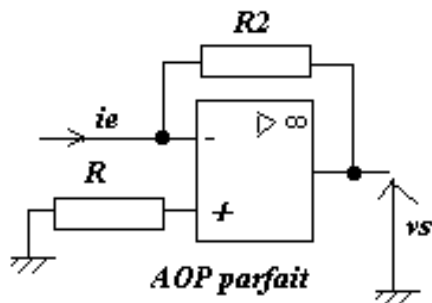
Donc
$$V_S = \frac{R2}{R1} \times (-(2 \times R + Rg)) \times \frac{V_{E1} - V_{E2}}{Rg}$$

$$\Rightarrow V_S = \left(1 + \frac{2 \times R}{Rg}\right) \times \frac{R2}{R1} \times (V_{E2} - V_{E1})$$

$$R_{E1} = \frac{V_{E2}}{i_+} = \infty$$

$$R_{E2} = \frac{V_{E1}}{i_+} = \infty$$

2.8) LE MONTAGE CONVERTISSEUR COURANT TENSION



$$V^+ = V^- = 0$$

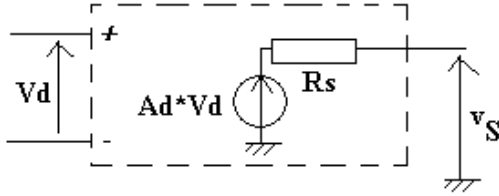
$$v_S = -R_2 \times i_E$$

$$R_E = \frac{V^-}{i_E} = 0\Omega$$

$$R_S = 0\Omega$$

3) MONTAGES REELS

3.1) L'AOP REEL

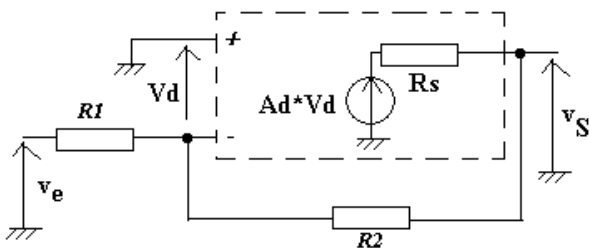


$$V_d \neq 0V$$

$$A_d \rightarrow \infty \quad \frac{1}{A_d} \rightarrow 0$$

$$I^+ = I^- = 0$$

3.2) LE MONTAGE INVERSEUR



$$V_s = A_d \times V_d$$

$$\Rightarrow V_s = A_d \times (0 - V^-)$$

$$\Rightarrow V_s = A_d \times (0 - (V_e \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_s \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}))$$

$$\Rightarrow V_s \times (1 + A_d \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}) = -A_d \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

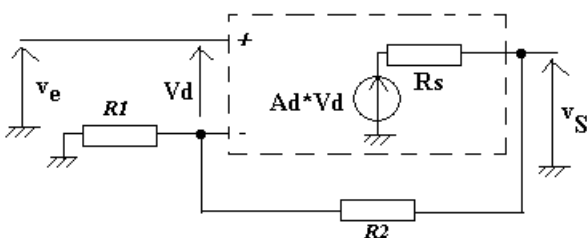
$$\Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{A_d \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{1 + A_d \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

$$\Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{A_d \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 + R_2 + A_d \times R_1}{R_1 + R_2}}$$

$$\Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1 + \underbrace{\frac{R_1 + R_2}{A_d}}_{\rightarrow 0}}$$

$$\Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} \approx -\frac{R_2}{R_1}$$

3.3) LE MONTAGE NON INVERSEUR



$$V_s = A_d \times V_d$$

$$\Rightarrow V_s = A_d \times (V_e - V^-)$$

$$\Rightarrow V_s = A_d \times (V_e - V_s \times \frac{R_1}{R_1 + R_2})$$

$$\Rightarrow V_s \times (1 + A_d \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}) = A_d \times V_e$$

$$\Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} = \frac{A_d}{1 + A_d \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} = \frac{A_d}{\frac{R_1 + R_2 + A_d \times R_1}{R_1 + R_2}}$$

$$\Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{\underbrace{\frac{R_1 + R_2}{A_d}}_{\rightarrow 0} + R_1}$$

$$\Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow Av = \frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$