

MICROELECTRONIQUE 1

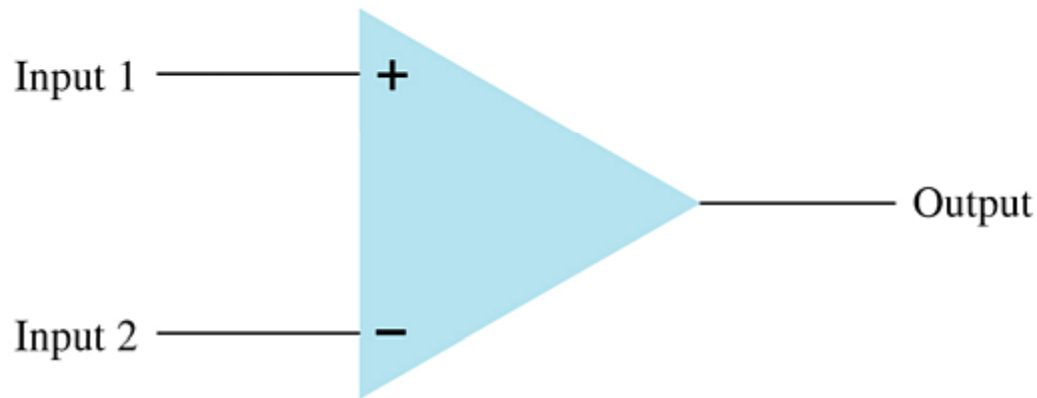
MIC 4120

CHAPITRE 10

AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS

Avec permission de Pearson Prentice Hall

L'amplificateur Opérationnel (AOP)



Un amplificateur opérationnel, ou AOP, est un amplificateur différentiel à très haut gain avec une très haute impédance d'entrée. (typiquement de quelques méga-Ohms) et une très basse impédance de sortie (moins de 100 Ohms).

A noter que l'AOP comporte deux entrées et une sortie.

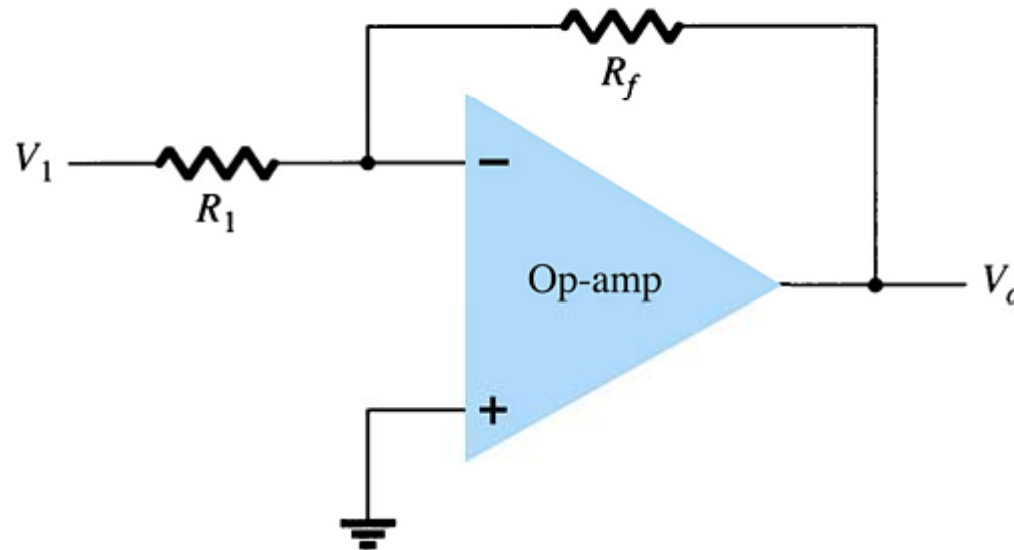
Gain de l'AOP

Les AOPs comportent un gain très grand. Ils peuvent être connectés en boucle ouvert ou fermé.

Boucle ouverte fait référence a la configuration qui ne comporte contre-réaction de la sortie vers l'entrée. Dans la configuration a boucle ouverte le gain peut excéder 10,000.

Boucle fermée fait référence à la configuration qui réduit le gain. Afin de contrôler le gain d'un AOP il doit comporter de la contre-réaction. Cette contre-réaction est négative. Une contre-réaction négative réduit le gain et améliore plusieurs caractéristiques de l'amplificateur.

AOP inverseur



- Le signal est appliqué à l'entrée négative (-)
- L'entrée positive (+) est mise à la masse.
- La résistance R_f est la **résistance de contre-réaction**. Elle est connectée entre la sortie et l'entrée négative. Ceci est appelé *contre-réaction négative*.

Gain de l'AOP inverseur

Le gain peut être calculé à partir des résistances externes: R_f et R_1

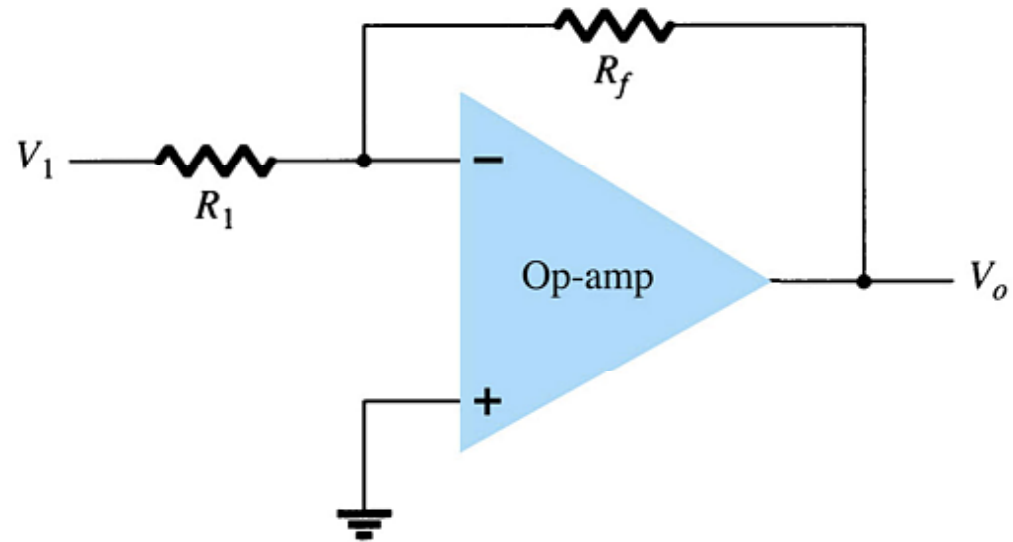
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_1}$$

Gain unitaire—le gain en tension est 1 $R_f = R_1$

$$A_v = \frac{-R_f}{R_1} = -1$$

Le signaux d'entrée et sortie sont déphasés de 180°

Gain Constant — R_f est un multiple de R_1

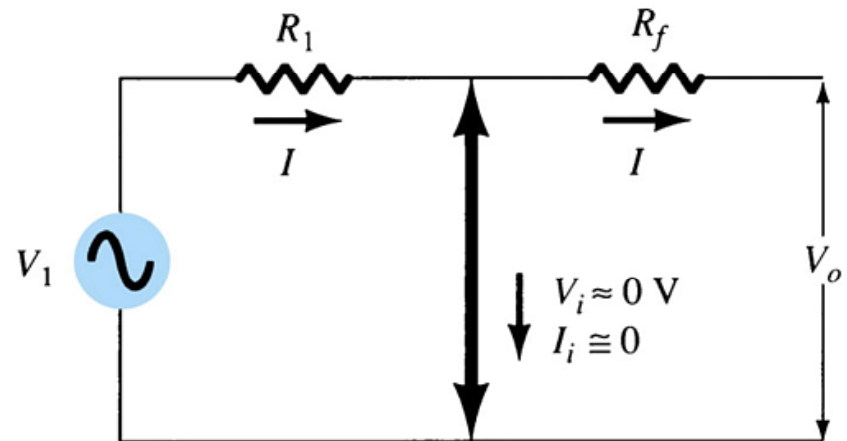
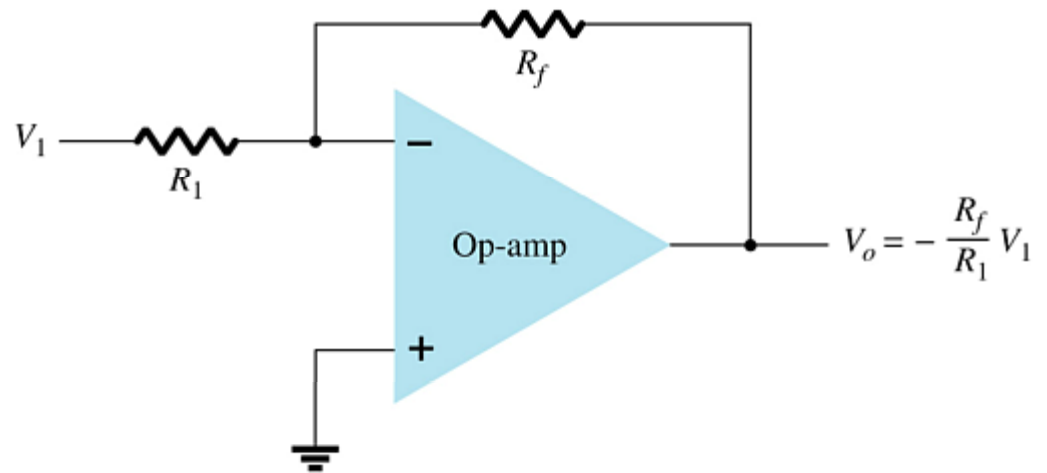


Masse Virtuelle

La compréhension du concept **masse virtuelle** nous permet de mieux comprendre le fonctionnement de l'AOP.

L'entrée positive est reliée à la masse. L'entrée négative est aussi à 0 V pour un signal CA.

L'AOP comporte une très haute impédance d'entrée de façon que, même avec un gain très haut il n'y a pas de courant dans l'entrée négative, c.à.d. il n'y a pas de tension entre l'entrée négative et la masse. Tout le courant est à travers R_f .



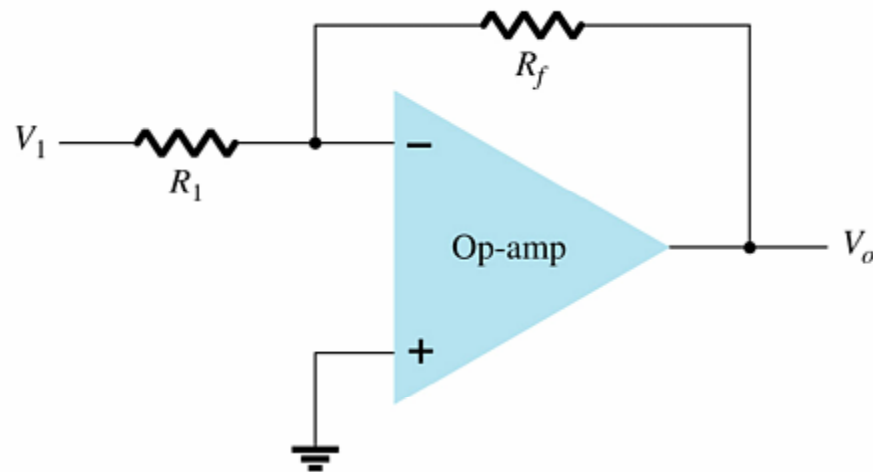
Circuits AOP Pratiques

Amplificateur Inverseur
Amplificateur non-inverseur
Suiveur d'entrée unitaire
Amplificateur Additionneur
Intégrateur
Différentiateur

AOPs inverseur/non-inverseur

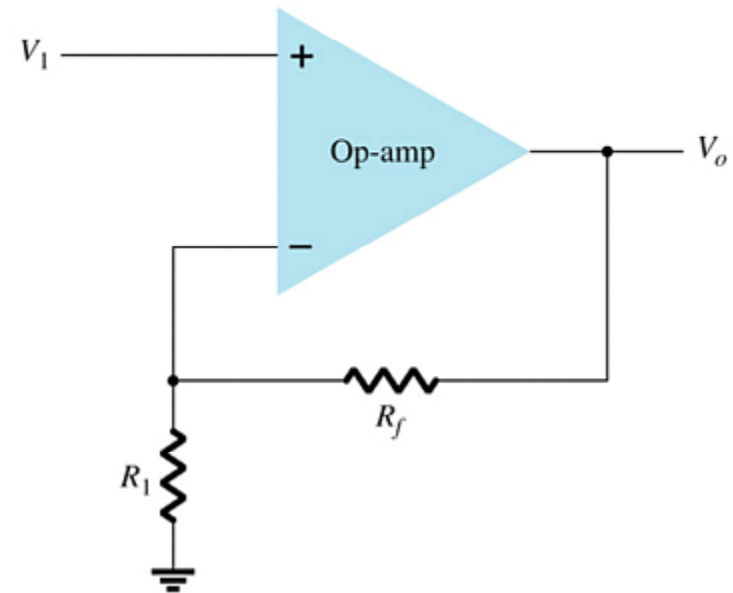
Amplificateur inverseur

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_1$$



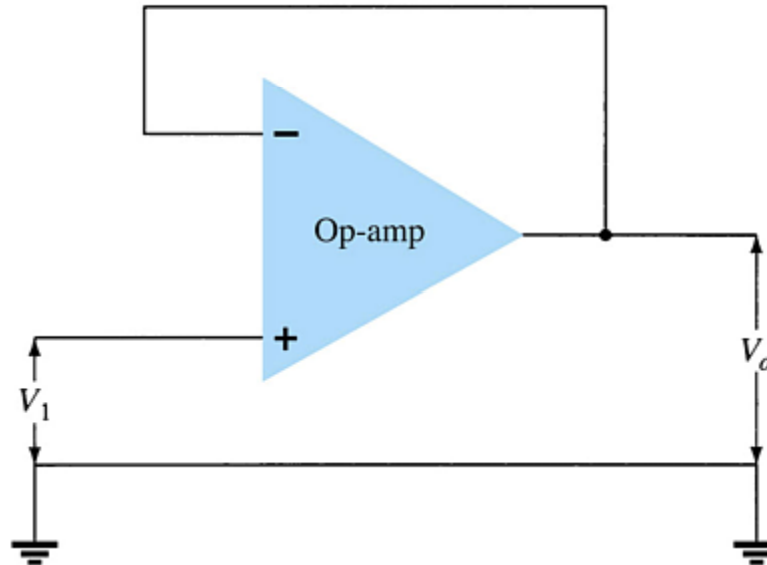
Amplificateur non-inverseur

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_1$$



Suiveur d'entrée unitaire

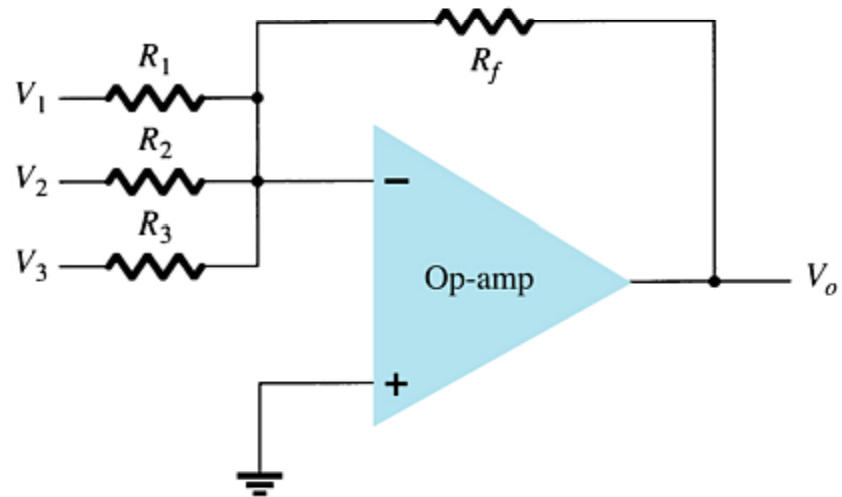
$$V_o = V_1$$



Amplificateur Additionneur

Puisque l'AOP comporte une très haute impédance d'entrée, les entrées multiples sont considérées comme des entrées indépendantes.

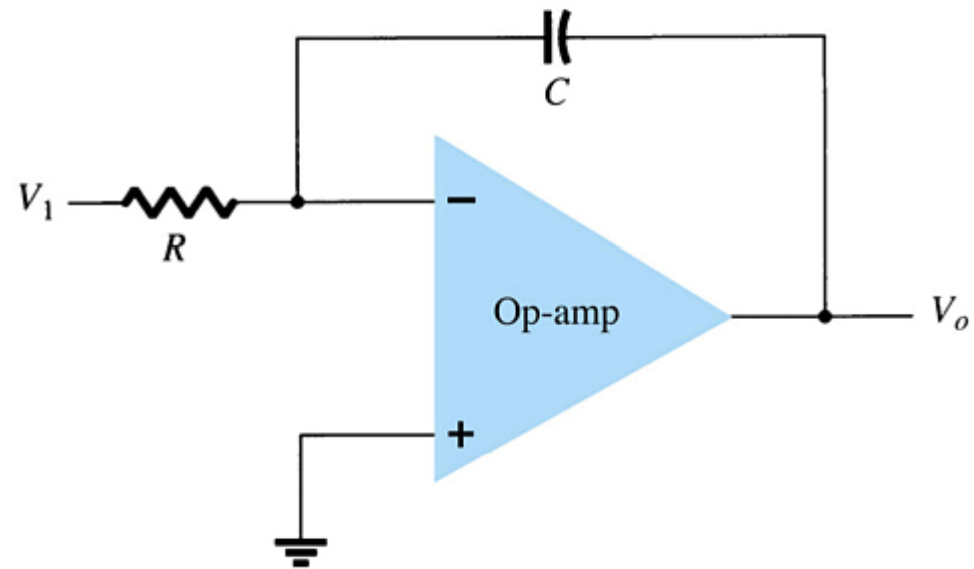
$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3\right)$$



Intégrateur

La sortie est l'intégrale de l'entrée. Intégration est l'opération d'ajouter la superficie par-dessous une onde ou par-dessous une courbe pour une période de temps. Ce circuit est utilisé comme filtre passe-bas.

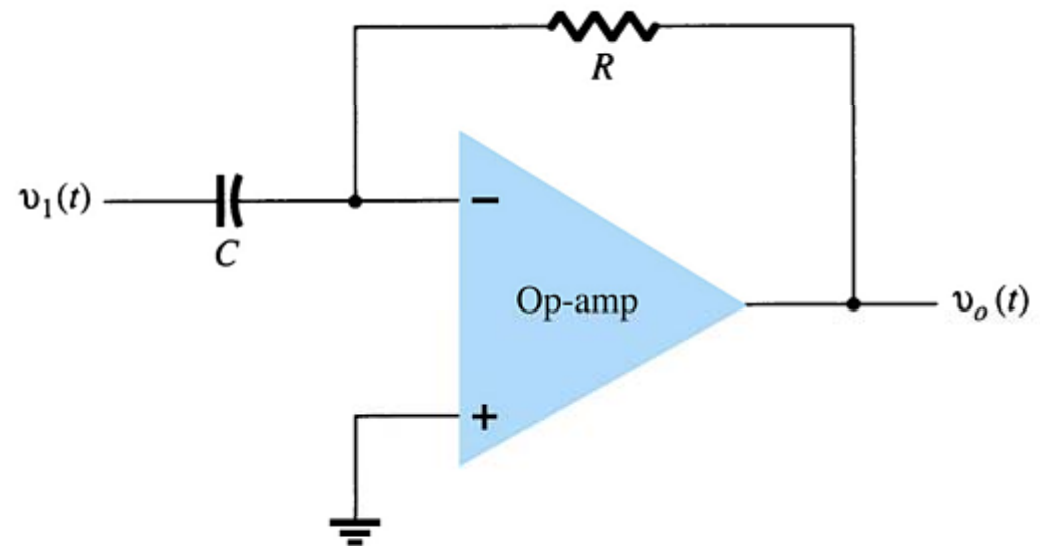
$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int v_1(t) dt$$



Différentiateur

Le différentiateur produit la dérivée de l'entrée. Ce circuit est utilisé comme filtre passe-haut.

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_1(t)}{dt}$$



Spécifications des AOP— Tension de décalage (off-set)

Même quand la tension d'entrée est zero, l'on peut avoir en sortie une tension de décalage ou **offset**. Les causes suivantes peuvent causer le offset:

- Tension de décalage d'entrée
- Courant de décalage d'entrée
- Tension et courant de décalage d'entrée.
- Courant de polarisation d'entrée

Tension de décalage d'entrée (V_{IO})

Les spécifications d'un OAP indiquent une tension de décalage d'entrée. (V_{IO} ou input offset voltage).

L'effet de cette tension sur la sortie peut être calculé comme suit.

$$V_{o(\text{offset})} = V_{IO} \frac{R_1 + R_f}{R_1}$$

Tension de Décalage de sortie causée par un courant de décalage d'entrée. (I_{IO})

S'il y a une différence entre les courants de polarisation pour le même signal appliqué, cela peut aussi causer une tension de décalage en sortie: R_f*

- Le courant de décalage d'entrée (I_{IO}) se trouve dans la page de spécifications de l'AOP.
- L'impact sur la sortie peut être calculé comme suit:

$$V_{o(\text{offset causé par } I_{IO})} = R_f * I_{IO}$$

Décalage total causé par V_{IO} et I_{IO}

Les AOPs peuvent comporter une tension de décalage de sortie causée par les deux facteurs V_{IO} et I_{IO} . La tension de décalage totale de sortie est la somme de l'effet des deux.

$$V_o(\text{offset}) = V_o(\text{offset causé par } V_{IO}) + V_o(\text{offset causé par } I_{IO})$$

Paramètres de Fréquence

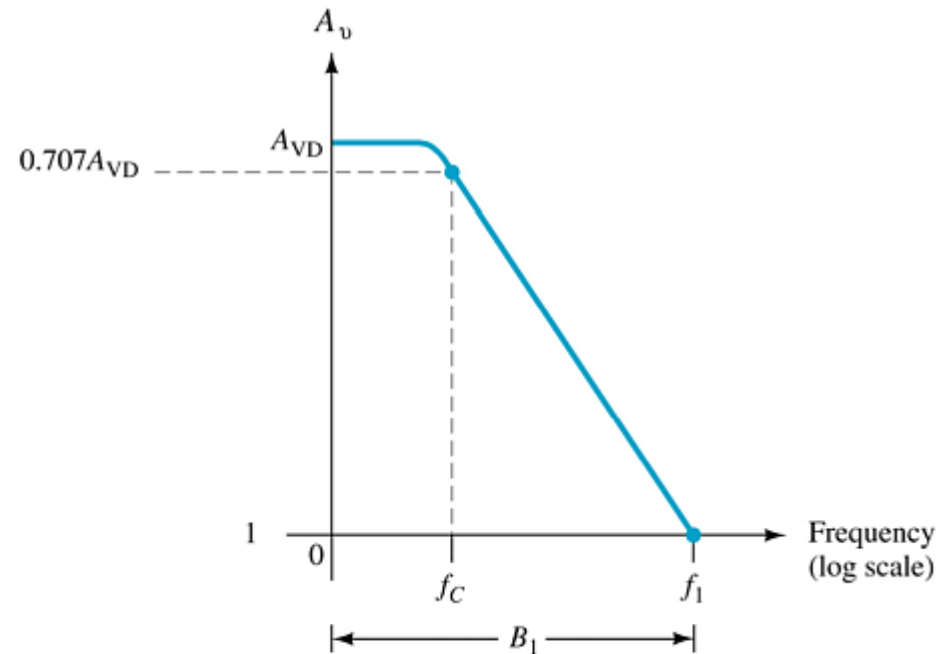
Un AOP est un amplificateur a bande large. Les paramètres suivants affectent la largeur de bande passante de l'AOP:

- **Gain**
- **Taux de descente**

Gain et Bande Passante

La réponse en haute fréquence de l'AOP est limitée par la circuiterie interne. Le graphique adjacent montre le gain à boucle ouvert (A_{OL} or A_{VD}). C'est à dire que le AOP fonctionne au plus haut gain sans aucune résistance de réaction.

En boucle ouverte, le AOP comporte une bande passante étroite. La bande passante augmente en boucle fermée mais le gain diminue.



Vitesse de montée du signal de sortie (Slew Rate SR)

Slew rate (SR) ou Vitesse Maximale de montée du signal de sortie est le taux maximum auquel un AOP peut faire varier le signal de sortie sans distortion.

$$SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t} \quad (\text{in } V/\mu s)$$

Le taux SR est donné dans les spécifications comme le taux en V/μs.

Fréquence maximale du signal

La vitesse de montée du signal de sortie détermine la fréquence la plus haute de l'AOP sans distortion.

$$f \leq \frac{SR}{2\pi V_p}$$

Avec V_p = tension de crête.

Spécifications typiques de l'AOP

Autres valeurs trouvées dans les spécifications des AOPs sont:

- **Valeurs Absolues**
- **Caractéristiques électriques**
- **Performance**

Valeurs Absolues

**Voici des valeurs
maximales typiques
pour l'AOP:**

Absolute Maximum Ratings	
Supply voltage	6.22 V
Internal power dissipation	500 mW
Differential input voltage	6.30 V
Input voltage	6.15 V

Caractéristiques électriques

TABLE 13.2 mA741 Electrical Characteristics: $V_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

Characteristic	MIN	TYP	MAX	Unit
V_{IO} Input offset voltage		1	6	mV
I_{IO} Input offset current		20	200	nA
I_{IB} Input bias current		80	500	nA
V_{ICR} Common-mode input voltage range	± 12	± 13		V
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	± 12	± 14		V
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	20	200		V/mV
r_i Input resistance	0.3	2		M Ω
r_o Output resistance		75		Ω
C_i Input capacitance		1.4		pF
CMRR Common-mode rejection ratio	70	90		dB
I_{CC} Supply current		1.7	2.8	mA
P_D Total power dissipation		50	85	mW

Note: Cettes valeurs s'appliquent à des conditions de circuits particulières, et souvent elles incluent le minimum, le maximum et la valeur typique.

CMRR

Une valeur qui s'applique uniquement aux AOPs est le CMRR ou *common-mode rejection ratio*.

Du fait que le AOP comporte deux entrées qui s'opposent en phase (positive ou non-inverseur et negative ou inverseur) tout signal commun à ces deux sera annullé.

Le CMRR est une mesure de la capacité de l'AOP d'annuler les signaux de mode commun.

Performance de l'AOP

Les spécifications vont souvent inclure des graphiques qui indiquent la performance de l'AOP sur une plage étendue de conditions.

