

II.1 Introduction :

L'amplificateur opérationnel (OP-AMP) est un bloc fondamental dans la conception des circuits intégrés analogiques et mixtes, il est le dispositif linéaire qui a toutes les propriétés requises pour l'amplification DC presque idéales et il est donc largement utilisé dans le conditionnement de signaux, le filtrage ou même pour effectuer des opérations mathématiques tels que l'addition, la soustraction, l'intégration et la différenciation. Ce chapitre est consacré à la présentation des amplificateurs opérationnels, leur principe de fonctionnement, leurs conceptions, leurs types ...etc. [18].

II.2 Historique :

Le terme « opérationnel » s'appliquait à l'origine à des amplificateurs qui étaient utilisés dans des circuits de calcul pour effectuer des opérations sur des grandeurs analogiques, (tensions ou courants) c'est-à-dire additions, soustractions, intégrations, etc ... C'est ce qu'on appelait le calcul analogique (ou simulation analogique).

Le domaine d'application des amplificateurs opérationnels s'est actuellement étendu et ils sont utilisés à bien d'autres fonctions que celles du calcul analogique aujourd'hui ils on les emplois dans la constitution :

- De chaînes de mesures.
- De systèmes de contrôle.
- D'asservissements.

II.3 Définitions d'amplificateur opérationnel :

Le mot amplificateur opérationnel en électronique analogique (aussi nommé ou ampli op, AO, AOP) s'appliquait à l'origine à des amplificateurs qui étaient utilisés dans des circuits de traitement analogique du signal dans le régime basse fréquence (Hz-Mhz), la résolution analogique des problèmes numériques en particulier les équations différentielles. Le développement des calculateurs numériques a rendu l'utilisation des calculateurs analogiques.

Le domaine d'application des amplificateurs opérationnels s'est actuellement étendu et ils sont utilisés à bien d'autres fonctions que celles du calcul analogique aujourd'hui. L'amplificateur opérationnel est un composant très présent dans les montages analogiques :

- Réalisation des filtres actifs.
- Amplification de signaux et instrumentation faible bruit.
- Réalisation de calculs analogiques.

- Contrôle et asservissement.
- Génération des signaux [19].

II.3.1 Symbol :

- ✓ symbole américain :

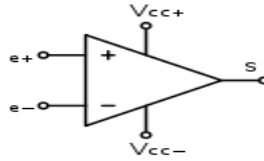


Figure II.1: symbole américain.

- ✓ symbole simplifié :

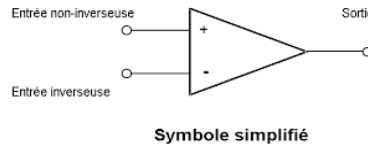


Figure II.2 : symbole simplifié.

- ✓ symbole européen :

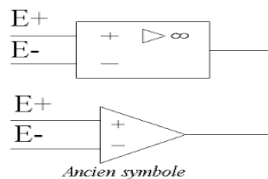


Figure II.3 symbole européen.

II.3.2 Principe :

A la base, l'AOP est un amplificateur différentiel, donc muni de deux entrées , l'une dite non inverseuse (V_+) et l'autre inverseuse (V_-), et d'une sortie (s) :

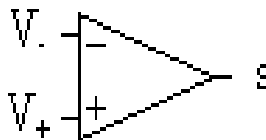


Figure II.4 : Symbole d'un amplificateur différentiel.

La fonction de transfert complète en continu (en pratique, A_{vd} et A_{vmc} dépendent de la fréquence) de cet amplificateur est donnée par la formule :

$$S = A_{vd}(V_+ \cdot V_-) + A_{vmc}\left(\frac{V_+ + V_-}{2}\right) \quad (II.1)$$

A_{vd} : est le gain en tension différentiel de l'amplificateur, et A_{vmc} le gain en tension de mode commun. Dans le cas d'un amplificateur parfait, on fait l'hypothèse que ces gains ne dépendent pas de la fréquence [19].

Les gains, ainsi que les impédances d'entrée et de sortie d'un L'amplificateur opérationnel doivent répondre à des critères précis. On peut donner un schéma équivalent de L'amplificateur opérationnel :

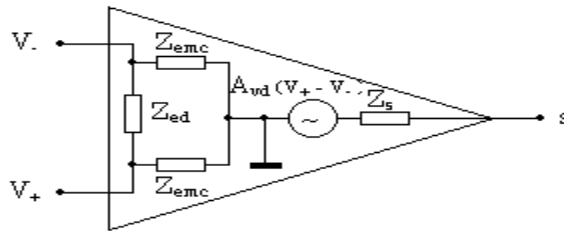


Figure II.5 : Schéma équivalent d'un AOP.

II.4 Amplificateur Opérationnel à Transconductance (OTA) :

L'amplificateur opérationnel à transconductance (OTA) est fondamentalement un L'amplificateur opérationnel sans buffer de sortie, qui utilisé seulement avec les charges capacitifs, un OTA peut être défini comme amplificateur où tous les nœuds sont basse impédance excepté les nœuds d'entrée, sortie.

II.4.1 Caractéristiques d'OTA :

Pratiquement tous les amplificateurs opérationnels ont la même structure interne : ce sont des circuits monolithiques dont une « puce » de silicium constitue le substrat commun. Ils comportent en entrée un amplificateur différentiel suivi d'un TAGE adaptateur d'impédance : l'amplificateur de sortie de type push-pull. Fonctionne en classe B. toutes les liaisons sont directs. Dans le cas idéal L'amplificateur opérationnel a un gain différentiel en tension infini, une impédance d'entrée l'infinie, et une impédance de sortie nulle, mais en réalité, un L'amplificateur opérationnel est caractérisé par :

II.4.2 Le gain de tension en boucle ouverte « A » :

Pour dès L'amplificateur opérationnel réel, des valeurs finies et typiques pour de basses fréquences est $A=10^3$ à 10^5 , correspondant à 60 au 100 dB.

II.4.3 La tension d'offset « V_{off} » :

Pour un OP-AMP idéal, si $V_+ = V_-$, $V_{off} = 0$, dans les dispositifs réel, la tension d'offset $V_{off} \neq 0$, se produira à la sortie pour les entrées sont court-circuitées, puisque V_{off} est directement proportionnel au gain, pour MOS L'amplificateur opérationnel, V_{off} est en général entre ± 2 à 10 mV. La figure II.6. Représente la tension d'offset [20].

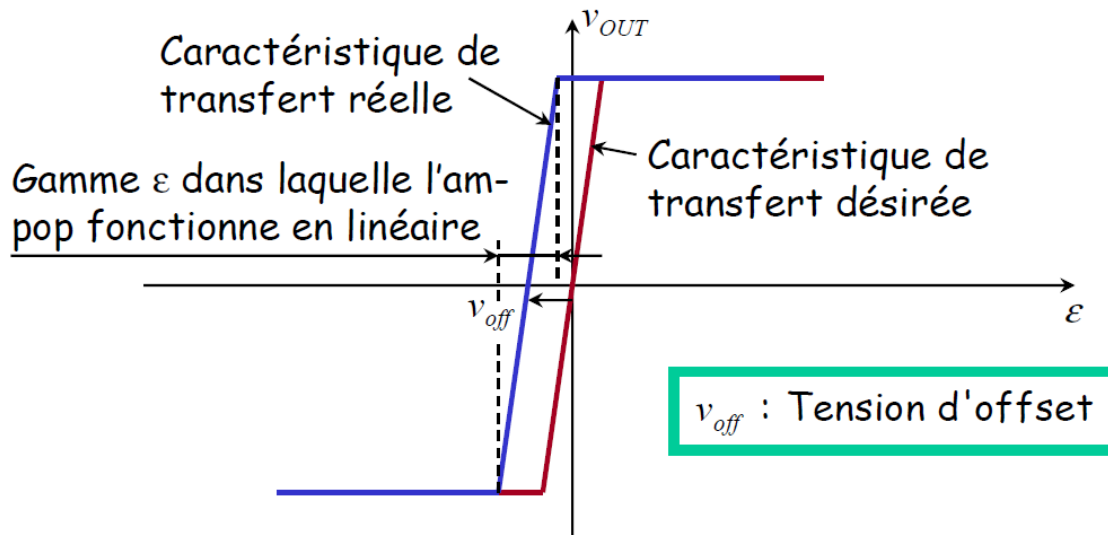


Figure II.6 : La tension d'offset.

II.4.4 Le taux de réjection du mode commun « CMRR » :

CMRR est défini par le rapport du gain en mode différentiel sur le gain en mode commun. AD/AC, les valeurs typiques de CMRR pour des amplificateurs CMOS sont dans l'intervalle 80 à 140 dB, le CMRR mesure combien L'amplificateur opérationnel peut diminuer le bruit, et par conséquent un grand CMRR est une condition important dans la conception des L'amplificateur opérationnel [21].

II.4.5 Vitesse de balayage (slew-rate) « SR » :

Lorsque l'amplificateur opérationnel est attaqué par de larges signaux, la différence de ces signaux ϵ peut devenir très élevée. L'amplificateur ne fonctionne alors plus dans sa zone linéaire. La vitesse maximale à laquelle sa sortie V_{out} peut varier est alors limitée par une vitesse

maximale appelée vitesse de balayage. La figure (II.7) représente graphiquement la vitesse de balayage.

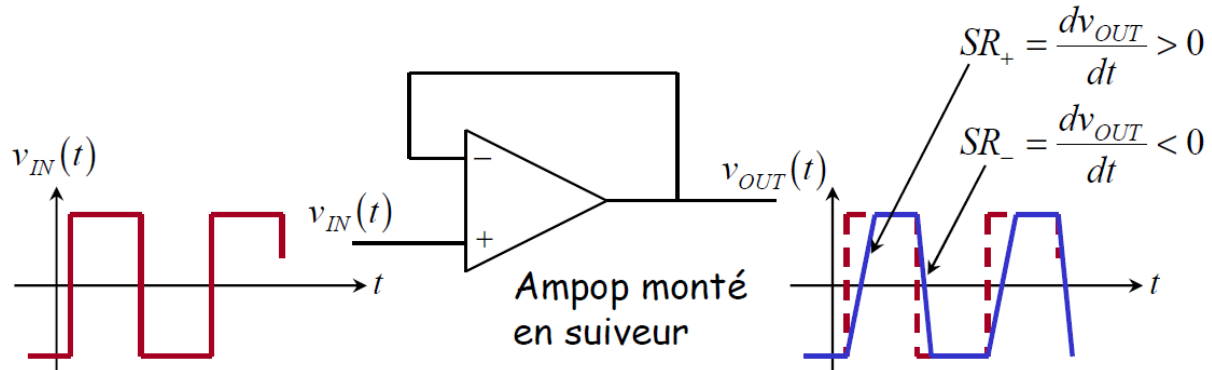


Figure II.7 : la vitesse de balayage.

II.4.6 L'impédance de sortie « Z_{out} » :

Pour CMOS L'amplificateur opérationnel réel, l'impédance de sortie non nulle, elle est habituellement dans la gamme de 0,1 à 5K pour L'amplificateur opérationnel avec un buffer [19].

II.4.7 Le bruit :

Les transistors **MOS** produit du bruit, qui peut être décrit en termes de source courante équivalente parallèlement au canal du dispositif, La source d'entrée de bruit équivalente est habituellement d'ordre du 10 à 50 μV , contrairement pour les l'amplificateur opérationnel bipolaires au 3 à 5 μV .

II.4.8 Le taux de réjection de l'alimentation «PSRR » :

On peut le définir comme le rapport de gain différentiel sur le gain de bruit d'alimentation qui provoqué le signal de sortie, **PSRR** habituellement dans la gamme de 60 à 150 dB.

II.4.9 La dissipation d'énergie :

Les valeurs typiques pour les **CMOS** L'amplificateur opérationnel sont de 0,25 à 10mV.

II.5 Différentes configurations d'OTA :

Dans cette partie, on présentera les cinq architectures de base d'amplificateur opérationnelle à transconductance OTA, les plus utilisées.

II.5.1 L'OTA à un seul étage :

Cette configuration est montrée dans la figure (II.8), C'est la configuration **d'OTA** la plus simple, sa vitesse peut être très haute. Les inconvénients de cette configuration sont que le gain est plus bas et l'impédance de sortie est relativement basse.

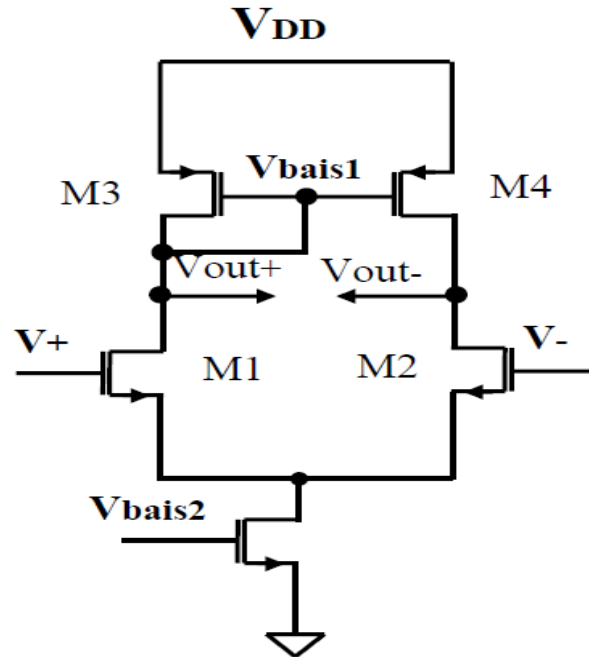


Figure II.8 : l'OTA à un seul étage.

II.5.2 L'OTA à deux étages :

En ajoutant un autre étage à l'OTA simple étage pour obtenir un amplificateur à deux étages comme montre en la figure (II.9). Cette modification augmente le gain et l'impédance de sortie et le système devient plus complexe. La complexité réduite la vitesse de l'OTA, le circuit de compensation (RC, Cc) est également incluse pour assurer la stabilité de système [18].

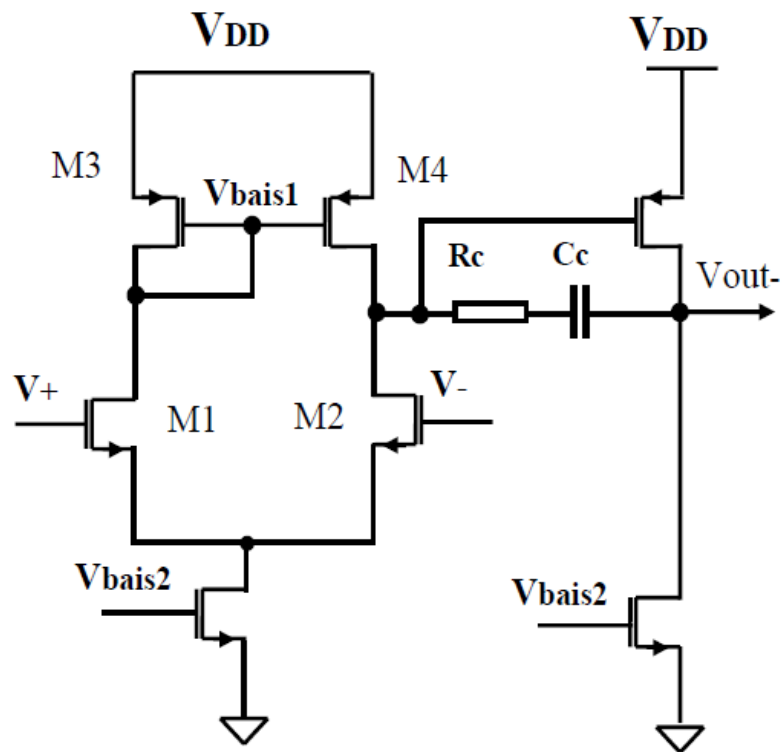


Figure II.9 : l'OTA à deux étages.

II.5.3 L'OTA Télescopique cascode :

Cette configuration est montrée sur le schéma (II.10). La raison pour laquelle le gain de l'OTA en une seule étage est basse que l'impédance de sortie est basse. Pour augmenter l'impédance de sortie on a ajouté quelques transistors en cascode à l'étage de sortie

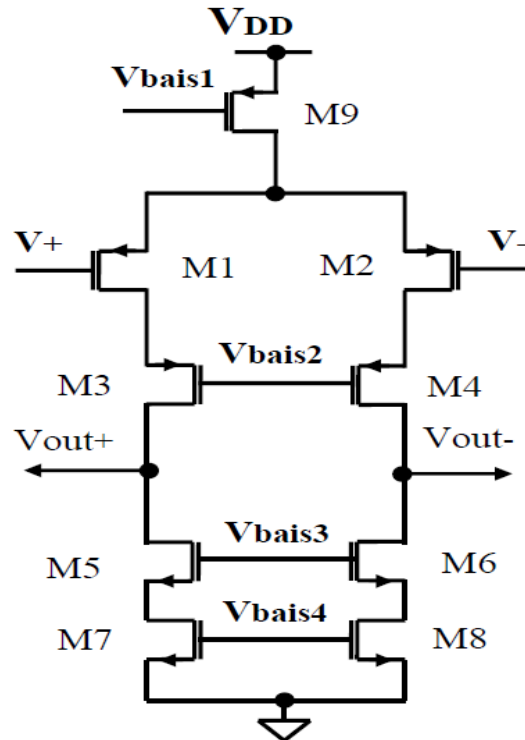


Figure II.10 : l'OTA télescopique cascode.

II.5.4 L'OTA Cascode Régulé :

La configuration Cascode réglé peut être employée pour augmenter plus le gain en tension sans rendement décroissant oscillation de tension [19]. L'inconvénient majeure de cette configuration est que ces amplificateurs supplémentaires pourraient réduire la vitesse de l'amplificateur global. Par conséquent, ils devraient être conçus pour avoir une grande largeur de bande passante. Le schéma (II.11) montre cette configuration.

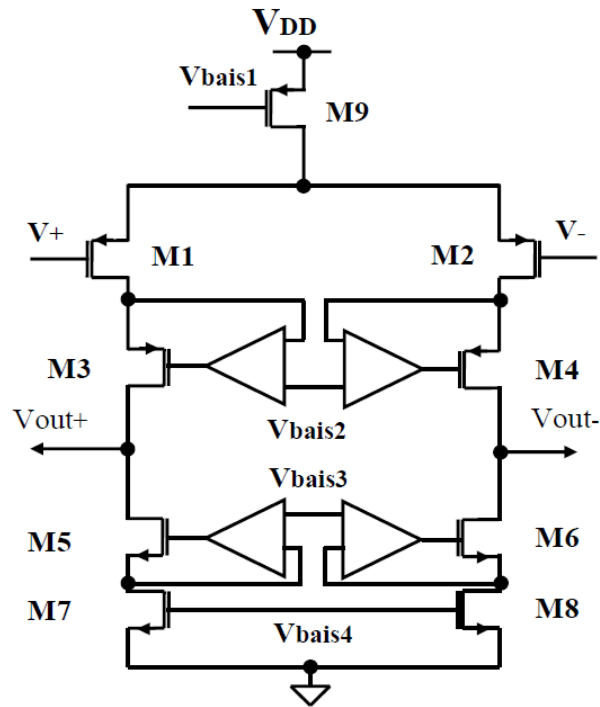


Figure II.11 : l'OTA cascode réglé.

II.5.5 L'OTA folded cascode :

L'amplificateur folded cascode est compromis entre l'amplificateur à deux étages et l'amplificateur télescopique cascode, l'OTA folded cascode est caractérisé par un gain inférieur que l'amplificateur à deux étages et sa vitesse est inférieure que le cascode télescopique .La configuration folded cascode est montrée sur le schéma (II.12) [18].

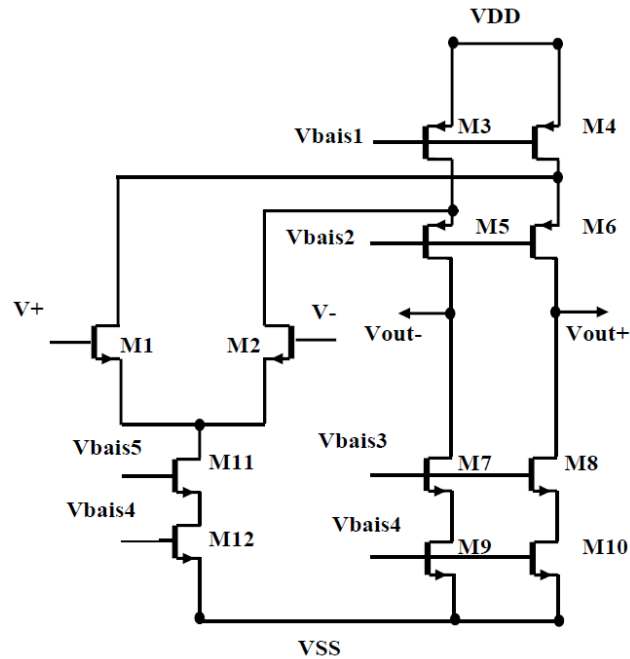


Figure II.12 : Folded cascode OTA.

II.6 Conclusion :

Nous avons passé en revue, dans ce chapitre, l'amplificateur opérationnel, nous avons montré leur symbole et son model, les différentes caractéristiques qui influent sur leur fonctionnement, ainsi que les principaux types des OTA. Le prochain chapitre sera consacré à l'OTA Miller.