

AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL “RÉEL” - TP1

1. Principe

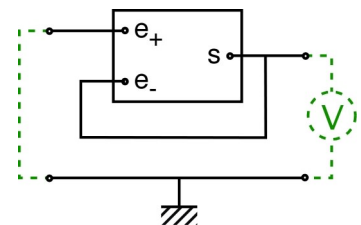
- L'amplificateur opérationnel (A.O.) “idéal” est caractérisé par :
 - ◊ des courants d'entrée (ou “courants de polarisation”) I_+ et I_- nuls (résistances d'entrée infinies) ;
 - ◊ une différence de potentiel entre les deux entrées $\varepsilon = V_+ - V_-$ nulle en mode linéaire ;
 - ◊ une tension de sortie $v_s = \pm A$ (tension d'alimentation) en mode “saturé” ;
 - ◊ une résistance de sortie nulle (générateur de tension parfait).
- L'amplificateur opérationnel “réel” correspond à une description plus complète, qui peut être caractérisée par les “défauts principaux” suivants :
 - ◊ des courants de polarisation très faibles mais non nuls (de l'ordre du nanoampère) ;
 - ◊ une différence de potentiel ε telle que, en mode linéaire : $v_s = \mu \varepsilon$ avec $\mu \approx 10^5$ à 10^6 ;
 - ◊ une tension de sortie $v_s = \pm A$ en mode “saturé en tension” ;
 - ◊ une tension de décalage des entrées, si le réglage de l'A.O. n'est pas exact : $v_s = \mu \cdot (\varepsilon + V_{de})$; ce qui peut aussi s'écrire : $v_s = \mu \varepsilon + V_{ds}$ (c'est-à-dire $v_s \neq 0$ pour $\varepsilon = 0$) ;
 - ◊ une “vitesse de balayage” en sortie $\frac{dv_s}{dt} = \pm \beta$ (avec $\beta \approx 10^6$ à 10^7 V.s^{-1}) en mode “saturé en balayage” ;
 - ◊ une caractéristique de sortie de la forme : $v_s = \pm(A - \rho I_s)$ (avec $\rho \approx 350 \Omega$) en mode “saturé en courant de sortie”.

2. Manipulations

2.1. Tension de décalage des entrées

- Réaliser un montage suiveur de tension et le raccorder au potentiel de la masse ($V_e = 0$).

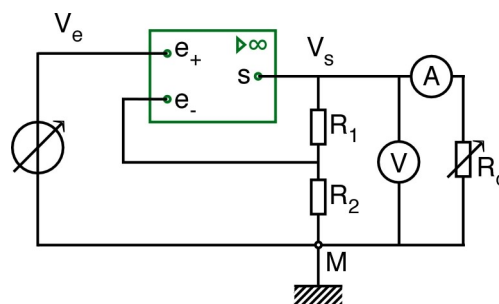
• Si les entrées sont bien “équilibrées” on doit obtenir $V_s = 0$ mais en réalité la moindre dissymétrie de fabrication entre les deux entrées provoque entre elles une différence de potentiel “interne” à l'A.O. (V_{de}). Par suite, on observe généralement $V_s = V_{ds} = \mu V_{de} \neq 0$.



- Si l'A.O. dispose d'un bouton de compensation du décalage (souvent une petite vis sur le “circuit intégré”), ajuster sa position pour annuler la tension de décalage V_{ds} mesurée en sortie.

2.2. Limitation en courant de sortie

- Réaliser un montage “amplificateur non inverseur” branché en entrée sur un générateur de tension réglable et branché en sortie sur un résistor “de charge” réglable, en série avec un ampèremètre.



• Le potentiel de sortie “idéal” V_{s0} doit pouvoir être réglé entre 0 et $+A$ (\approx tension d'alimentation de l'A.O.) ; si l'alimentation réglable est un GBF limité à 10 V alors que $A \approx 15$ V, il suffit d'utiliser un montage amplificateur de gain $G = \frac{R_1+R_2}{R_2} = 2$ avec $R_1 = R_2 = 100$ k Ω .

♦ remarque : il faut s'assurer que le courant circulant dans R_1 et R_2 est négligeable en comparaison de celui circulant dans la résistance de charge R_c ; donc se limiter à des valeurs $R_c \leq 5$ k Ω .

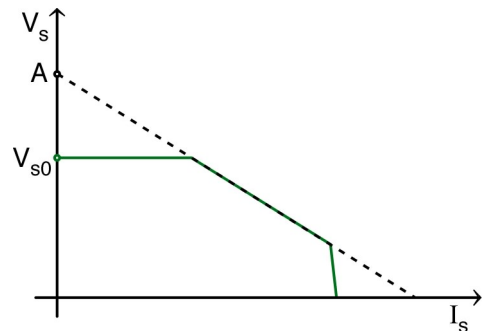
• Brancher un voltmètre en parallèle sur la sortie, en disposition “courte dérivation” (on peut utiliser un voltmètre “idéal” pour négliger le courant qui le traverse, alors qu'on ne dispose pas d'ampèremètre idéal).

• Pour une valeur initiale V_{s0} donnée (par exemple 12 V), mesurée avec $R_c = \infty$ (en débranchant R_c), mesurer V_s en fonction du courant de sortie I_s (qui augmente au fur et à mesure qu'on diminue R_c).

• La courbe de variation a généralement l'allure ci-contre (dépendant plus ou moins du modèle d'A.O. utilisé).

Pour I_s faible la sortie est un générateur de tension parfait (V_s indépendant de I_s , ce qui correspond à une résistance de sortie nulle) ; mais quand I_s croît, on observe une saturation en tension de la forme : $V_s = \pm(A - \rho I_s)$ ce qui revient à considérer que le modèle idéal est en réalité limité en courant.

Déterminer la valeur de ρ (usuellement $\rho \approx 350$ Ω).



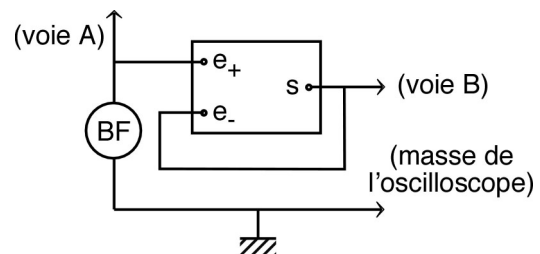
♦ remarque : on remarque en outre généralement un “effondrement” de la tension pour les plus grandes valeurs du courant.

• Reprendre l'expérience pour plusieurs valeurs initiales V_{s0} (par exemple 10 V, 8 V, 6 V, 4 V, 2 V) et vérifier que la droite de limitation est en première approximation indépendante de la valeur V_{s0} choisie.

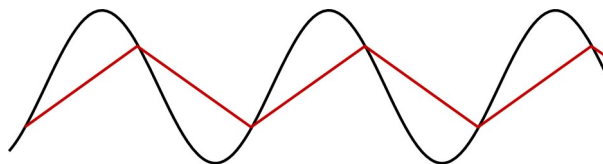
2.3. Saturation en balayage de tension

• Réaliser un montage “suiveur de tension” branché en entrée sur un générateur sinusoïdal (BF).

• Relier l'entrée et la sortie du montage aux deux voies d'un oscilloscope, en choisissant le même calibre pour voir les deux courbes superposées.



• Pour une amplitude donnée du générateur B.F. (par exemple 10 V), augmenter progressivement la fréquence jusqu'à observer $V_s \neq V_e$.



Quand la dérivée $\frac{dv_s}{dt}$ atteint une limite $\pm\beta$, avec $\beta \approx 10^6$ à 10^7 V.s⁻¹, les variations sont limitées à cette vitesse de balayage maximum. Mesurer β et noter la fréquence à partir de laquelle on observe cet effet.

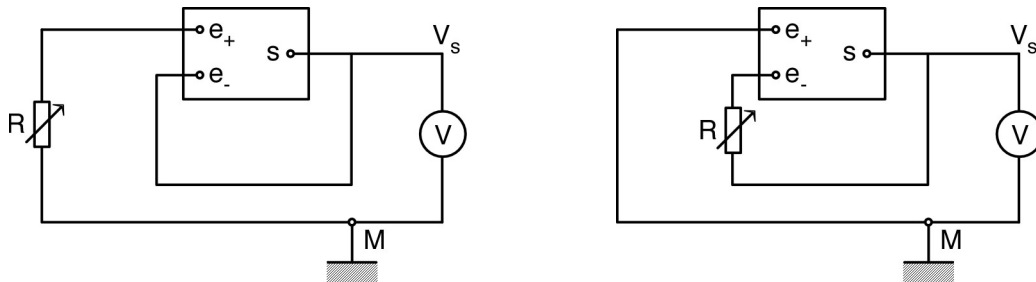
• Changer l'amplitude d'entrée (par exemple 8 V, puis 6 V) et vérifier que la pente limite β est toujours la même, mais que l'effet n'apparaît que pour des fréquences plus grandes (si on diminue l'amplitude, on peut d'autant augmenter la fréquence avant d'atteindre la pente limite).

2.4. Courants de polarisation

• Première méthode : si l'A.O. est de fabrication "ancienne" (≈ 1990), les courants de polarisation sont assez grands ; il suffit alors de réaliser un montage quelconque (par exemple un suiveur de tension, ou un amplificateur non inverseur) et d'insérer un microampèremètre dans les circuits d'entrée e_+ ou e_- (selon qu'on étudie I_+ ou I_-).

♦ remarque : les courants I_+ et I_- sont approximativement égaux ; tous deux dans le sens "entrant".

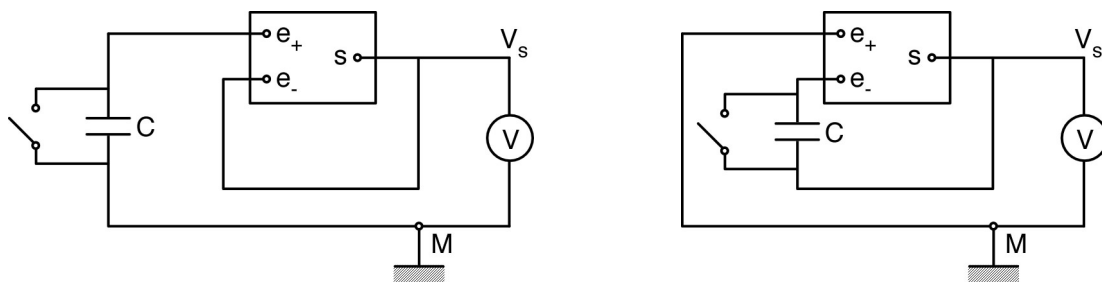
• Deuxième méthode : si les courants de polarisations sont trop faibles pour être mesurés par la méthode précédente, on peut réaliser le montage suivant, en insérant un résistor réglable de résistance $R \approx 0$ à $1\text{ M}\Omega$ dans les circuits d'entrée e_+ ou e_- .



♦ remarque : les A.O. modernes ont des courants de polarisation très faibles ($\approx 10\text{ pA}$ pour les plus évolués) ; les mesures sont alors TRÈS sensibles aux effets parasites électrostatiques : il faut en particulier "blinder" soigneusement le montage et même éviter de bouger au voisinage des circuits, surtout si l'air est sec et si on porte des vêtements en fibres synthétiques.

• Le second montage étant "suiveur de tension" avec l'entrée à la masse, on doit en principe obtenir $V_s = 0$ quel que soit R si le courant de polarisation I_- est nul (la tension de décalage V_{de} est normalement négligeable ou compensée). Mesurer V_s en fonction de R : pour I_- à peu près indépendant de V_s , on obtient une droite passant par l'origine : $V_s \approx R I_-$; en déduire I_- . Procéder de façon analogue pour mesurer I_+ .

• Troisième méthode : si les courants de polarisations sont encore trop faibles pour être mesurés par la méthode précédente, on peut procéder en insérant dans les circuits d'entrée e_+ ou e_- un condensateur de capacité $C \approx 0,02$ à $20\text{ }\mu\text{F}$ (d'autant plus petite que I_+ ou I_- le sont).



• Le montage étant "suiveur de tension" et l'interrupteur étant initialement fermé, avec donc l'entrée à la masse, on doit en principe obtenir $V_s = 0$. Ouvrir alors l'interrupteur et mesurer V_s en fonction du temps. Pour I_+ à peu près indépendant de V_s , on obtient une droite passant par l'origine : $V_s \approx -\frac{1}{C} \int I_+ dt = -\frac{I_+}{C} t$; en déduire I_+ . Procéder de façon analogue pour mesurer I_- .

AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL “RÉEL” - TP1

Matériel

Pour chaque groupe (8 groupes)

1 oscilloscope
1 A.O. (à décalage réglable) avec alimentation
1 petit tournevis (si besoin pour décalage)
3 adaptateurs BNC
1 raccord “en T” BNC
1 générateur BF
1 fréquencemètre (sauf si le BF en a un)
12 fils (des longs et des courts)
2 câbles coaxiaux (BNC d'un seul côté)
2 câbles coaxiaux (BNC des deux côtés)
2 contrôleurs électroniques
condensateurs divers de 10 à 100 nF
1 boîte de condensateurs 0,1 à 1 μ F
1 boîte de condensateurs 1 à 10 μ F
résistors divers de 100 Ω à 1 M Ω
1 boîte de résistors $\times 1$ à $\times 1000 \Omega$
1 boîte de résistors $\times 100 \text{ k}\Omega$

Au bureau

1 capacimètre
1 A.O. (à décalage réglable) avec alimentation