

Mesure des caractéristiques en boucle ouverte d'un amplificateur opérationnel

par V. ORSINI et M. CARON,
Lycée Dumont-d'Urville, Toulon.

L'introduction de l'électronique dans les nouveaux programmes des classes préparatoires entraînera la création et la mise au point de nouveaux montages de T.P. A cette occasion, nous pensons servir certains de nos Collègues en décrivant le montage que nous avons réalisé pour l'étude des caractéristiques d'un amplificateur opérationnel (A.O.) et de ses principales applications.

I. CHOIX DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL.

L'A.O. retenu est le TL071 de Texas Instruments, c'est un composant utilisant des transistors à effet de champ à jonction sur ses entrées. Cette particularité assure de bonnes caractéristiques de bruit, tant au niveau des courants que des tensions, surtout aux basses et aux très basses fréquences. Cette qualité se révèle vite indispensable pour des tracés de caractéristiques à très basses fréquences, sinon en continu.

Certes, la valeur de l'impédance différentielle d'entrée est considérable (de l'ordre de $10^6 \text{ M}\Omega$) et ne se prête guère à mesure. Mais cela est une qualité appréciable car les boucles de rétroaction fonctionnent avec des conditions d'impédance quasi idéales.

En régime linéaire et pour l'essentiel de son comportement en T.P., l'A.O. peut être décrit par le schéma équivalent de la fig. 1, qui nous permettra aussi de définir les notations utilisées :

v_e et v_s respectivement tension différentielle d'entrée et tension de sortie ;

μ amplification en tension en boucle ouverte ;

v_d tension de commande du générateur de tension μv_d ;

Z_e et Z_s respectivement impédance différentielle d'entrée et impédance de sortie ;

V_D tension de décalage d'entrée ou tension d'offset ;

$V = f(I)$ f.é.m. du générateur de tension commandé par le courant I et schématisant le circuit de compensation de la tension d'offset [$I = 0 \Rightarrow V = 0$].

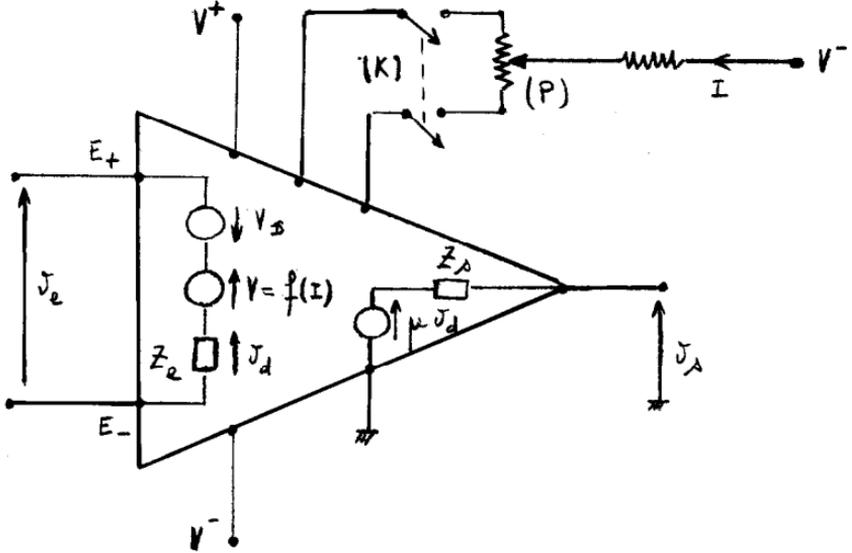


Fig. 1

II. SCHEMA DU MONTAGE EXPERIMENTAL.

Le montage effectué est représenté fig. 2. On y trouve une alimentation stabilisée à sorties symétriques ± 12 V, servant à l'alimentation de l'A.O. et à la réalisation d'une alimentation secondaire ajustable entre -12 V et $+12$ V.

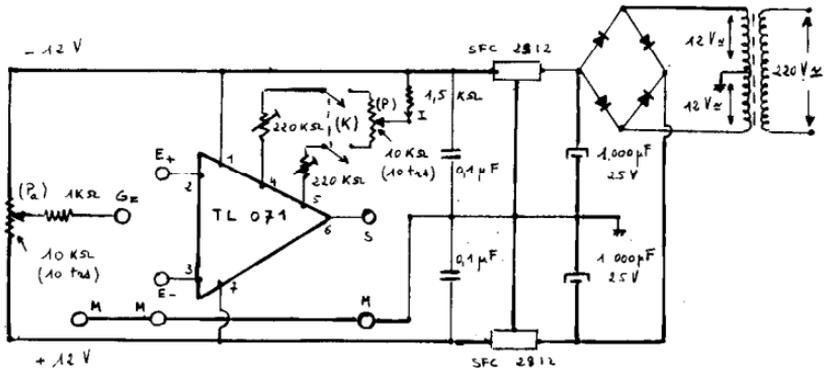


Fig. 2

Les composants S.F.C. 2812 et S.F.C. 2912 de Thomson-Efcis sont des stabilisateurs de tension intégrés, indispensables lorsqu'on utilise l'alimentation ajustable dans un circuit de mesure.

Le potentiomètre (P) permet le contrôle du courant I d'alimentation du circuit de compensation et surtout son partage sur les électrodes de source des deux transistors d'entrée.

Quant au potentiomètre (Pa) il permet d'ajuster la tension de l'alimentation secondaire à la valeur souhaitée.

Ces 2 potentiomètres sont à 10 tours afin d'avoir souplesse et précision dans les réglages.

III. UN EXEMPLE D'UTILISATION.

La mesure de la tension d'offset V_D puis sa compensation, le relevé de la caractéristique statique $v_s = f(v_d)$ en boucle ouverte ainsi que le tracé des variations du gain en boucle ouverte avec la fréquence, sont des expériences réalisables avec le seul circuit présenté fig. 3.

Les graphes obtenus permettent ensuite d'avoir le gain en continu et en boucle ouverte, les limites du domaine de fonctionnement linéaire, la fréquence de coupure à -3 dB, l'atténuation caractéristique du gain avec la fréquence, la fréquence de gain nul, le produit amplification - bande passante.

On dispose ainsi d'un ensemble de mesures et de calculs pouvant très largement constituer le contenu d'une séance de T.P.

IV. MESURE DE LA TENSION D'OFFSET.

Le circuit de la fig. 3 étant réalisé, on ouvre l'interrupteur (K) de façon à ne pas alimenter le circuit de compensation d'offset [$I = 0 \Rightarrow V = 0$].

On relie ensuite la borne E à l'alimentation continue ajustable ± 12 V et on règle v_g pour avoir $v_s = 0$.

La mesure du potentiel de la borne A, soit v_{a1} , permet le calcul de la tension d'offset $V_D \approx v_{a1}/1000$.

Variante : L'interrupteur (K) étant ouvert et la borne E en l'air, on mesure la tension de sortie, soit v_{s2} .

On a aussitôt la tension d'offset par $V_D = v_{s2}/1100$.

Cette méthode qui utilise l'A.O. pour amplifier sa propre tension d'offset, est moins pédagogique que la précédente qui a l'avantage d'être plus élémentaire dans son principe.

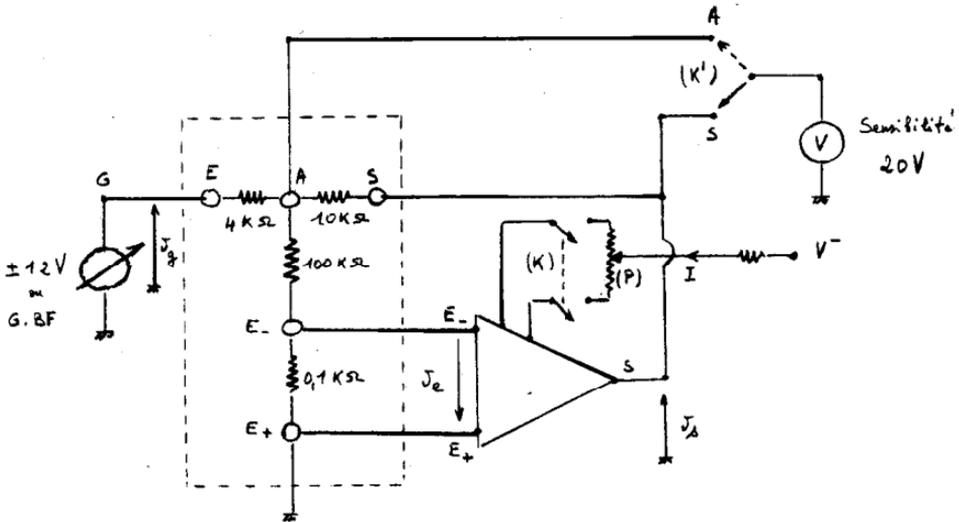


Fig. 3

V. COMPENSATION DE LA TENSION D'OFFSET.

On ferme l'interrupteur (K) d'alimentation du circuit de compensation d'offset et on place la borne E à la masse. On règle ensuite par le potentiomètre (P) l'alimentation du circuit de compensation de façon à obtenir $v_s = 0$.

Vérifier que l'on a simultanément $v_s = 0$ et $v_a = 0$ de telle sorte que $V_D + V = 0$.

Ne plus toucher au potentiomètre (P) car la tension d'offset V_D est maintenant compensée par $V = f(I)$ et pour la suite de la manipulation $v_d = v_e$.

VI. CARACTERISTIQUE $v_s = f(v_d)$ EN BOUCLE OUVERTE.

La compensation d'offset étant effectuée, on relie la borne E à l'alimentation continue ajustable ± 12 V.

En agissant sur (P_a) on fait varier v_s régulièrement d'une valeur de saturation à l'autre.

Pour chaque valeur de v_s , on relève la valeur associée v_a de la borne A et on en déduit celle correspondante de $v_d \approx v_a/1000$.

Le tracé de la caractéristique statique $v_s = f(v_d)$ en boucle ouverte, doit s'effectuer ensuite à grande échelle (fig. 4). On en déduit facilement l'amplification en tension continue en boucle ouverte :

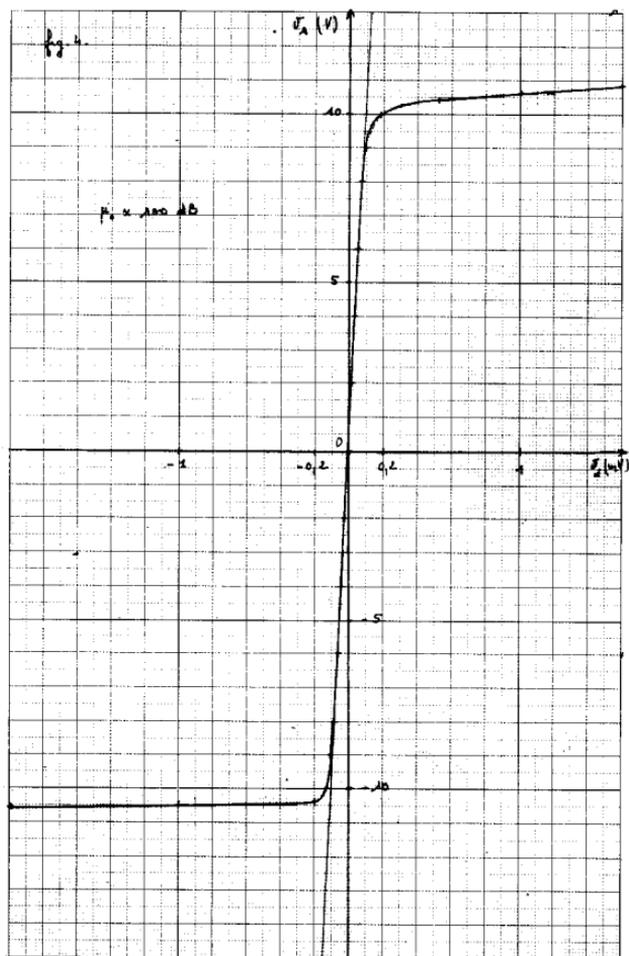


Fig. 4

$$\mu(0) = \frac{dv_s}{dv_d} = \mu_0 \approx 100\,000$$

et le gain en continu de l'A.O. en boucle ouverte :

$$G_0 = 20 \log(\mu_0) \approx 100 \text{ dB.}$$

On peut aussi relever les valeurs de saturation $V_{s\text{ sat}}^-$ et $V_{s\text{ sat}}^+$ de la tension de sortie v_s et celle $V_{d\text{ sat}}^-$ et $V_{d\text{ sat}}^+$ de la tension différentielle d'entrée $v_d = v_e$.

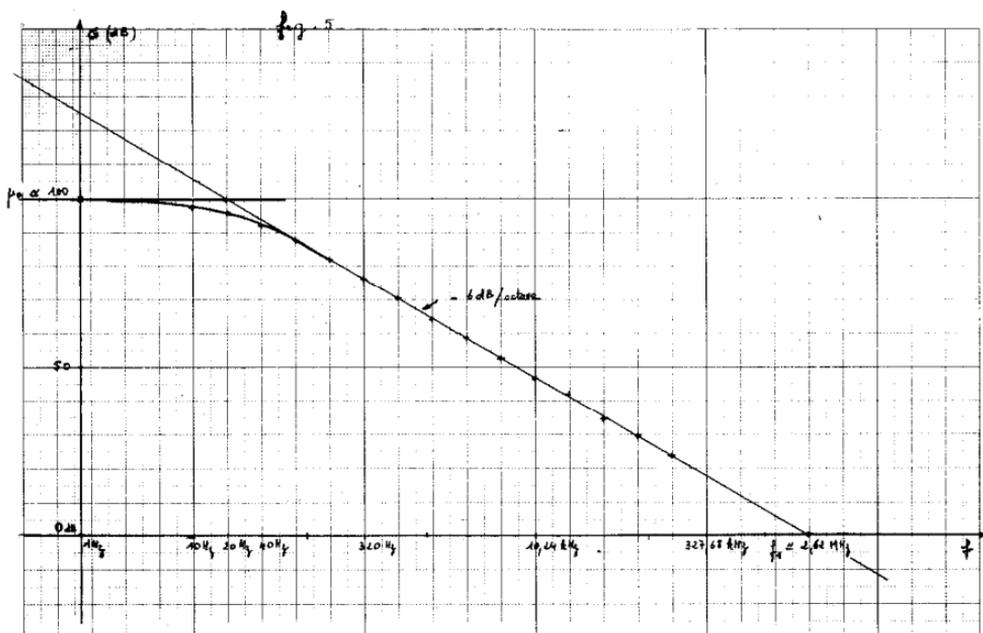


Fig. 5

VII. VARIATION DU GAIN EN BOUCLE OUVERTE AVEC LA FREQUENCE.

On remplace le générateur de tension continue ± 12 V par un générateur de tension sinusoïdale servant à régler la valeur efficace de v_s et de v_a soit V_s et V_a ; d'où le gain en tension $G(f)$:

$$G(f) = 20 \log \mu(f) = 20 \log \frac{V_s}{V_d} = 20 \log \frac{1000 V_s}{V_a}.$$

Dans la bande atténuée, il est avantageux d'échelonner les fréquences par octave.

Le tracé des variations du gain avec la fréquence, permet de vérifier la pente caractéristique de -6 dB/octave dans la bande atténuée.

Faute de posséder un générateur permettant d'atteindre la bande de fréquence des mégahertz, nous avons dû extrapoler le tracé obtenu pour avoir la fréquence f_1 de gain nul. La valeur obtenue est en accord avec celle fournie par le constructeur pour le produit amplification - bande passante.

La fréquence f_0 de coupure à -3 dB, permet de vérifier que :

$$\mu(0) \cdot f_0 \simeq 1 \cdot f_1.$$

VIII. CONCLUSION.

Toutes les caractéristiques en boucle ouverte de l'A.O. ont été obtenues avec un montage dans lequel il était en fait asservi. Il a été indispensable de procéder ainsi, pour éviter qu'il ne se mette en butée dans un de ses états de saturation, dès la première tension parasite appliquée entre ses bornes d'entrée.

L'essentiel réside dans le choix d'une bande de rétroaction préservant la possibilité d'une mesure suffisamment précise de la tension différentielle d'entrée.
