

# Pratique de l'électronique

4<sup>e</sup> PARTIE  
voir H.P. n° 1788,  
n° 1789, n° 1790

Quelques dernières précisions et conventions, relatives aux tensions de décalage, aux courants de sortie, au potentiel de référence, et nous pouvons passer au stade expérimental, avec une appréciation du gain en continu.

## Les circuits linéaires

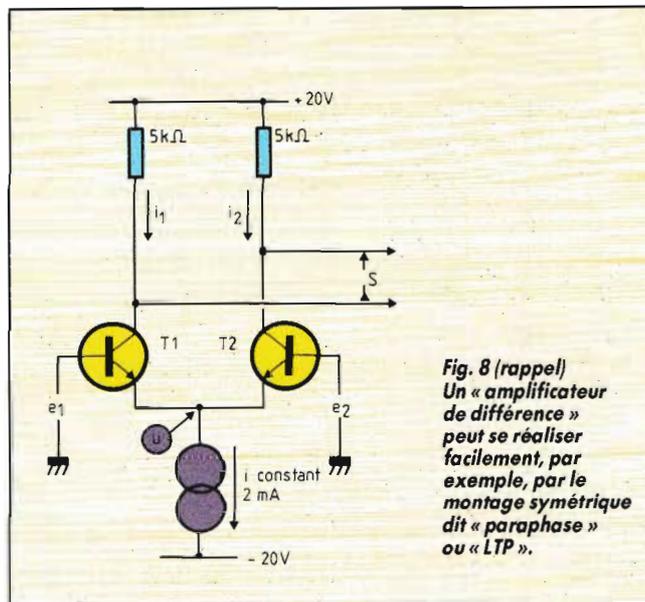


Fig. 8 (rappel)  
Un « amplificateur de différence » peut se réaliser facilement, par exemple, par le montage symétrique dit « paraphase » ou « LTP ».

### La tension d'offset

Pour en finir avec ce qui concerne l'entrée de l'amplificateur opérationnel, voyons le dernier défaut de cette entrée. On la réalise sous forme symétrique, souvent avec le montage de la figure 8, et l'on fait tout pour que la symétrie soit aussi poussée que possible. Nous avons vu, plus haut, que l'on s'était efforcé de rendre égaux les courants d'entrée.

Malheureusement, il y a un point sur lequel il est difficile de pousser la symétrie très loin : l'égalité des deux tensions  $V_{be}$  (tension base-émetteur) des deux transistors.

Etant donné l'énorme valeur du gain en tension de l'amplificateur opérationnel, si l'on veut tracer sa courbe de réponse, c'est-à-dire celle qui indique la variation de la tension de sortie  $V_o$  en fonction de  $e_1 - e_2$  (différence des tensions d'entrée), il faut, comme sur la figure 21, prendre une échelle graduée en millivolts pour l'axe des  $e_1 - e_2$ .

Pour tracer cette courbe, nous avons supposé que l'amplificateur opérationnel était alimenté par des tensions telles que les valeurs maximale et minimale de sa tension de sortie (correspondant à la saturation de l'amplificateur) soient de même valeur absolue, 10 V chacune.

On voit que les échelles de

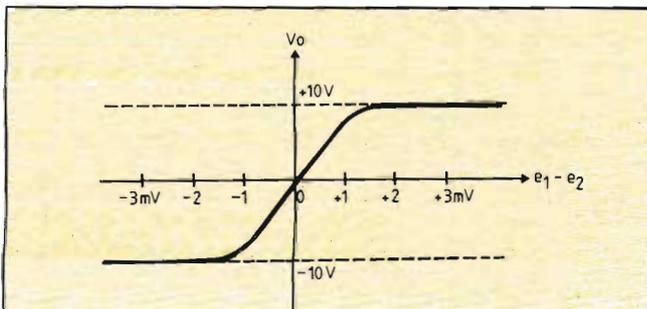
graduation des deux axes ne sont pas du tout les mêmes. Si l'on gradue l'axe des tensions d'entrée comme celui de la tension de sortie, la courbe aurait alors l'aspect de celle que représente la figure 22.

Mais revenons à notre courbe « à abscisses dilatées » de la figure 21. Elle est caractéristique d'un amplificateur opérationnel « parfait », où la symétrie de l'étage d'entrée a été poussée à son extrême limite.

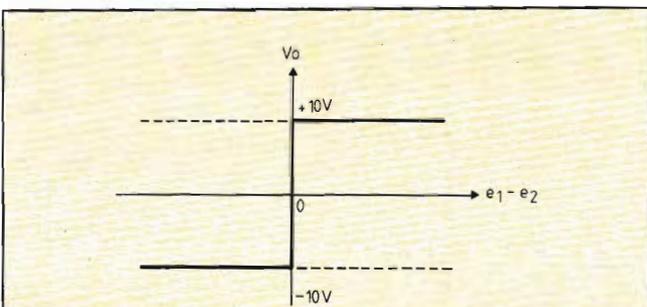
En réalité, la courbe que l'on peut relever sur un composant réel aura, par exemple, l'aspect qu'illustre la figure 23. On voit que le passage par zéro de la tension de sortie se fait pour une valeur de  $e_1 - e_2$  qui n'est pas nulle, mais égale ici à une certaine valeur  $u_o$ , positive ou négative, que l'on appelle « tension d'offset » (le terme « offset » est pris ici dans le sens de « décalage »). On voit que, du fait du très grand gain de l'amplificateur opérationnel, il se peut que, avec  $e_1 - e_2 = 0$ , selon le signe de la tension d'offset, la sortie soit « en butée basse » ou, comme c'est presque le cas sur la figure 23, « en butée haute ».

Dans les pires cas, cette tension d'offset est garantie inférieure (en valeur absolue) à 8 mV. Mais, dans les modèles sélectionnés, on garantit moins de 0,5 mV.

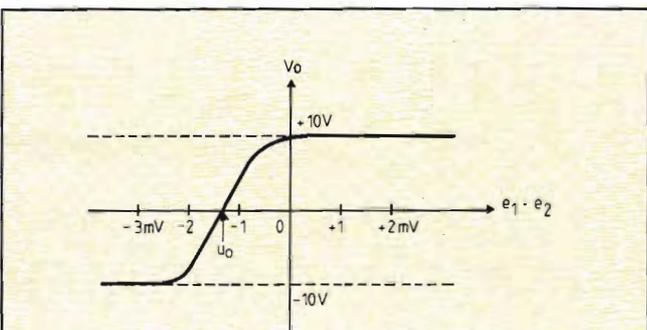
Précisons tout de suite qu'il y a une valeur presque plus importante que la tension d'offset elle-même : la variation de cette tension en fonction de la température. Il vaut mieux



**Fig. 21.** - Courbe de « réponse » (tension de sortie en fonction de la tension d'entrée  $e_1 - e_2$ ) d'un amplificateur opérationnel « parfait ». On ne peut la « détailler » que si l'axe horizontal est gradué en millivolts, l'axe vertical étant gradué en volts.



**Fig. 22.** - Si l'on prend les mêmes unités pour l'axe horizontal et pour l'axe vertical, la courbe de la figure 21, du fait de l'énorme gain de l'amplificateur opérationnel, devient un ensemble de trois droites.



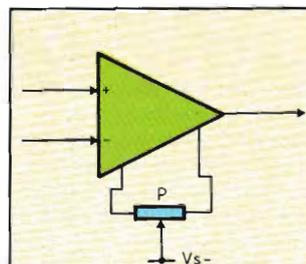
**Fig. 23.** - La courbe de la figure 21, tracée avec un amplificateur opérationnel non « parfait », montre qu'il y a un décalage  $u_o$  (offset), dû au manque de symétrie de l'étage d'entrée.

avoir un amplificateur opérationnel dont l'offset est de 5 mV, mais ne varie que de  $3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , qu'un modèle ayant une tension d'offset de 1,2 mV, variant de  $22 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Ici, la structure symétrique de l'étage d'entrée aide puissamment à réduire cette influence de la température, qui va donc se mesurer, on l'a vu, en **microvolts** par degré.

## La compensation d'offset

On trouve, dans beaucoup de recueils de caractéristiques, des montages qui permettent de compenser cette fâcheuse tension d'offset. De nombreux amplificateurs opérationnels sont munis de deux sorties spéciales, auxquelles on rac-

corde (fig. 24) les deux extrémités d'un potentiomètre, dont le curseur va au  $VS-$ . Par réglage de ce potentiomètre, on peut réduire à zéro cet « offset ». Tout semble donc pour le mieux dans le meilleur des mondes. Hélas ! ce serait trop beau. Le montage de la figure 24 arrive à annuler la tension d'offset, mais cette annulation n'est valable que pour une température donnée, pour des tensions d'alimentation données, et peut ne pas être stable dans le temps.



**Fig. 24.** - Sur certains amplificateurs opérationnels, on prévoit deux connexions, qui permettent, par un potentiomètre, de compenser l'offset. Mais ce n'est qu'un palliatif.

garanti avec un offset faible. Ce sera un peu plus cher, mais on obtiendra ainsi la sécurité que la compensation ne donne que passagèrement.

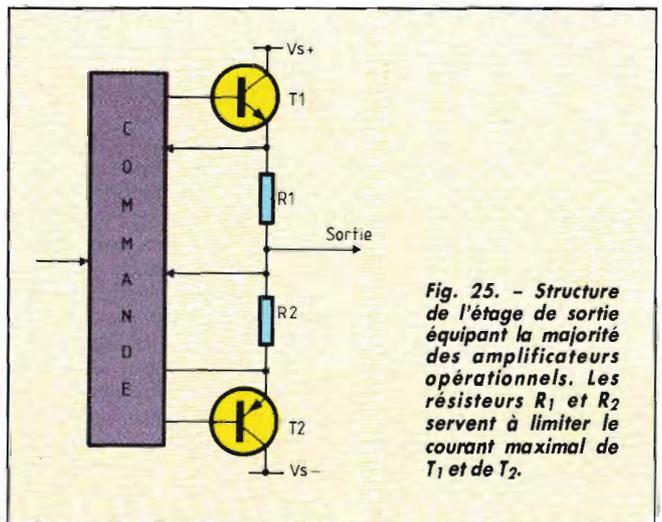
Il existe même un moyen de rendre l'offset presque nul : l'emploi d'un amplificateur opérationnel « à chopper », mais c'est assez complexe et nettement plus coûteux.

## Et la sortie ?

Jusqu'ici, nous nous sommes beaucoup occupé de l'entrée de notre amplificateur opérationnel, aussi serait-il temps de voir un peu comment est réalisée sa sortie.

On trouve presque toujours un montage qui évoque le « push-pull série » équipant presque tous les étages de sortie des amplificateurs audiofréquence, et dont la figure 25 donne une version simplifiée.

Ainsi, l'amplificateur opérationnel est capable de fournir une certaine intensité (courant « sortant ») par sa connexion de sortie : ce courant vient de  $VS+$  via  $T_1$ . De même, il peut consommer (courant « en-



**Fig. 25.** - Structure de l'étage de sortie équipant la majorité des amplificateurs opérationnels. Les résistances  $R_1$  et  $R_2$  servent à limiter le courant maximal de  $T_1$  et de  $T_2$ .

Il est bien préférable d'annuler l'offset par des méthodes qui introduisent une faible tension ajustable dans une des entrées, méthodes dont nous verrons des exemples plus loin.

Le mieux est, si l'offset est gênant, de choisir un modèle d'amplificateur opérationnel

trant ») un certain courant, qui ira vers  $VS-$  via  $T_2$ .

Les étages nommés « commande » agissent sur les bases des deux transistors de sortie, un N-P-N  $T_1$  et un P-N-P  $T_2$ , en faisant en sorte que ces deux transistors ne soient pas rendus passants en même temps. Les résistances  $R_1$  et  $R_2$

sont là, en général, pour permettre une limitation du courant maximal qui peut passer dans  $T_1$  ou dans  $T_2$ , c'est-à-dire de l'intensité « sortante » ou « entrante » dont nous avons parlé plus haut.

C'est là une précaution fort utile : il ne faut pas oublier qu'un amplificateur opérationnel est presque toujours monté avec un circuit de réaction négative, qui tend à maintenir à une valeur donnée le potentiel de la sortie.

Si cette dernière se trouve accidentellement connectée à la masse, ce système de limitation évite une destruction des transistors de sortie.

Dans l'ancêtre des ancêtres, le  $\mu A 709$  (eh oui ! il y a encore plus vieux que le 741 !), où il n'y avait pas ces circuits limiteurs, on disait pudiquement que l'amplificateur « supporte le court-circuit en sortie pendant 5 s ».

C'était là une façon détournée de dire que, s'il s'agissait d'un fil « baladeur », venant mettre accidentellement la sortie à la masse pendant une fraction de seconde, le composant n'était pas détruit. Mais, pour un court-circuit « franc et massif », la mort de l'amplificateur opérationnel était inévitable.

Si nous revenons sur la structure de l'étage de sortie, c'est pour expliquer un point souvent mal compris. On voit que cet étage est alimenté entre deux fils, nommés respectivement «  $VS+$  » et «  $VS-$  ». Ces notations viennent de « voltage supply » (tension d'alimentation).

Mais IL NE FAUT PAS CONCLURE que  $VS+$  soit forcément un point à potentiel positif, le fil  $VS-$  étant à potentiel négatif. La notation + et - signifie uniquement que le potentiel du fil  $VS+$  est positif par rapport à celui du fil  $VS-$ . Il doit y avoir, entre ces deux fils, une tension :

- supérieure à un certain minimum, sinon l'amplificateur opérationnel ne fonctionne pas correctement ;
- inférieure à un certain maximum, sinon on risque de détruire le composant.

Chose étrange, demandez à quelqu'un : « Sous quelle tension alimente-t-on un amplificateur opérationnel ? ». A

cette question - à peu près aussi intelligente que : « Quelle est la population d'une ville ? » - on obtient souvent une réponse, dans le genre de : « + 15 V et - 15 V », ou : « + 12 V et - 12 V », parce que ces cas se présentent souvent.

En fait, rien n'empêche de choisir  $VS+ = - 10 V$  et  $VS- = - 20 V$ , ou bien  $VS+ = + 40 V$  et  $VS- = + 20 V$ . Comment allons-nous donc choisir ces valeurs ?

Tout simplement en fonction de la plage de potentiel dont nous voulons disposer en sortie. Si l'on veut que la sortie puisse prendre un potentiel allant de + 2 V à + 17 V, il est assez logique de choisir  $VS- = 0$  et  $VS+ = + 20 V$ .

Comment arrive-t-on à ces valeurs ? Tout simplement en pensant au fait que les transistors  $T_1$  et  $T_2$  ne peuvent fonctionner que quand il reste une tension minimale à leurs bornes, soit environ 2 V ou 3 V. Si le potentiel de la sortie doit descendre jusqu'à + 2 V, il faut choisir  $VS-$  nul ou négatif. Pour que la sortie puisse monter à + 17 V, il faut que  $VS+$  soit supérieur à 19 V ou 20 V, d'où le choix de  $VS+ = + 20 V$ .

## Où met-on la masse dans le 709 ?

Dans le temps où l'auteur était chargé de répondre aux questions techniques posées par téléphone à une grande société réalisant des composants semi-conducteurs, il aurait souhaité enregistrer sur bande magnétique une réponse à cette question, tant elle était posée souvent. Le « 709 » était pratiquement le seul amplificateur opérationnel disponible, et son utilisation était bien moins simple que celle des modèles actuels. La réponse est : « Nulle part : l'amplificateur opérationnel a deux fils d'alimentation,  $VS+$  et  $VS-$ , ils doivent être portés à des potentiels que l'on choisit en fonction de ce que l'on veut faire. La masse n'est là que comme référence, comme potentiel zéro, et, sauf cas particulier, on ne la relie pas à une connexion de l'amplificateur. »

Il est normal qu'un tel langage choque certains, habitués, par exemple, à savoir que, dans tel circuit logique, on connecte la masse à la broche n° 7.

Le choix des valeurs de  $VS+$  et  $VS-$  est fait pour définir la « plage » de potentiel possible de la sortie.

En fait, il faut y ajouter l'influence de ces valeurs sur la plage de « mode commun » à l'entrée. Nous avons déjà vu de quoi il s'agissait, et, du fait du circuit d'entrée utilisé, ce mode commun est généralement limité à une plage assez voisine de la plage de tension de sortie.

C'est ainsi que, par exemple, si l'on désire que le potentiel de la sortie puisse aller de + 2 V à  $m + 17 V$ , il est possible de choisir  $VS+ = + 20 V$  et  $VS- = 0$ . Mais, si l'on désire, de plus, que l'amplificateur opérationnel puisse fonctionner avec les deux entrées au potentiel de - 1 V, il sera préférable de prendre  $VS-$  de - 5 V par exemple.

## Les amplificateurs « monotension »

On rencontre, dans les catalogues, des modèles d'amplificateurs opérationnels dits « monotension ». En effet, il y a bien des cas où la nécessité de disposer de deux tensions d'alimentation complique la tâche des utilisateurs.

On souhaite donc pouvoir utiliser un amplificateur opérationnel qui s'alimenterait avec le  $VS-$  à la masse et le  $VS+$  à + 20 V (par exemple).

Si on le fait avec un modèle classique (TL 071 par exemple), on devra se limiter à une plage de tensions de sortie de + 2 V à + 18 V, ce qui peut être gênant, mais surtout on devra se limiter à une plage de tensions d'entrée limitée à peu près par les mêmes valeurs, ce qui peut être encore plus gênant.

Aussi a-t-on étudié des modèles qui permettent un bon fonctionnement avec des entrées arrivant jusqu'au potentiel de  $VS-$  inclus (et même dépassé d'un demi-volt). Ainsi, un CA 3130 (encore lui) alimenté avec  $VS- = 0$  et  $VS+$

= + 15 V fonctionnera encore avec des tensions d'entrée  $e_1$  et  $e_2$  de - 0,5 V. Il a donc droit au qualificatif de « monotension ».

Notre sympathique CA 3130 fera mieux encore : vu la structure de son étage de sortie, qui n'est pas celle que l'on trouve sur la figure 25, il permet à sa sortie de prendre toute la gamme de potentiels comprise entre  $VS-$  (inclus) et  $VS+$  (inclus).

Il faut toutefois noter que plus le potentiel de la sortie est proche de  $VS+$ , moins on peut obtenir de courant « sortant » sur la connexion de sortie. De même, plus le potentiel de cette sortie est voisin de  $VS-$ , moins on peut faire « entrer » de courant par la connexion de sortie.

Donc, ce type d'amplificateur opérationnel, alimenté avec le  $VS-$  à la masse et le  $VS+$  à + 15 V pourra fonctionner avec des entrées descendant à un potentiel de 0,5 V (mais ne montant pas au-delà de + 12 V), et une sortie qui ira de 0 à + 15 V. C'est un cas presque unique.

## Où en sommes-nous ?

Ayant étudié l'étage d'entrée et celui de sortie, nous avons maintenant une idée plus claire de ce qui se passe dans un amplificateur opérationnel ; donc nous sommes plus aptes à l'utiliser correctement. Un point est encore à préciser. Certains reprochent aux constructeurs de ces composants de donner aussi peu de renseignements sur le gain en boucle ouverte (sans réaction négative) de leurs produits. Généralement, ils précisent une valeur minimale de gain, souvent 15 000, mais on sait que ce gain est normalement bien plus grand : des valeurs dépassant le million n'ont rien d'exceptionnel.

« Alors, disent les utilisateurs, le gain peut aller de 15 000 à 1 000 000 ! Vraiment, on est mal renseignés ! »

Mais il n'y a là rien qui devrait les choquer. La seule chose que l'on demande à un amplificateur opérationnel, en ce qui concerne son gain, est que

ce dernier soit GRAND. Donc, on indique sa valeur **minimale**, et tant mieux si la valeur réelle est bien plus élevée !

Signalons un point de notation. En général, les valeurs de gain sont données en « volts de sortie par millivolt d'entrée ». C'est une idée curieuse, mais presque tout le monde le fait, alors il faut considérer que le nombre donné comme gain est à multiplier par mille.

Donc, en raison de ce gain élevé, que l'on doit considérer presque toujours comme infini, on peut dire que l'amplificateur opérationnel a trois régimes de fonctionnement que l'on retrouve sur la courbe de la figure 22 :

- l'entrée  $e_1 - e_2$  est **néga-tive**, alors l'amplificateur est bloqué, en **butée basse** (partie horizontale de la courbe correspondant à  $V_o = -10V$ );

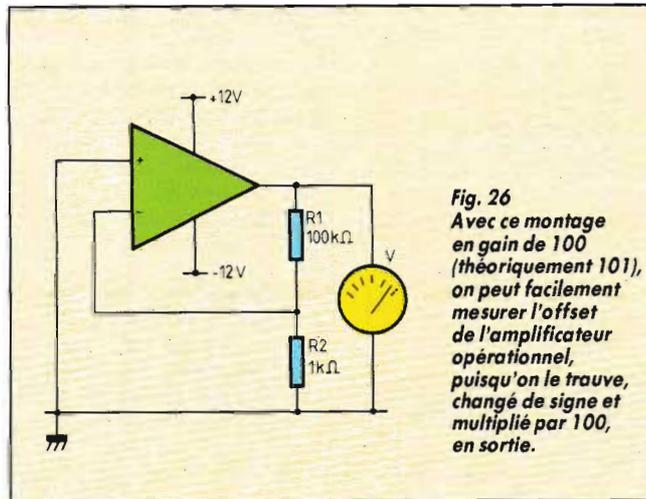
- l'entrée  $e_1 - e_2$  est **positive**, et l'amplificateur est bloqué en **butée haute**, sur la partie horizontale de la courbe, à droite de l'axe vertical;

- l'amplificateur n'est **pas bloqué**, la tension de sortie est entre la valeur maximale (butée haute) et la valeur minimale (butée basse), donc sur la partie verticale de la courbe, alors  $e_1 - e_2$  est pratiquement **nulle**.

C'est ce dernier mode de fonctionnement qui est le mode normal. Autrement dit, il faut toujours considérer que la tension d'entrée  $e_1 - e_2$  est nulle (ou quasi nulle).

On objectera tout de suite que, si cette tension est nulle, l'amplificateur ne sert à rien. Il convient de s'entendre : cette tension est **pratiquement nulle**, elle est limitée à quelques millivolts (et encore, le pluriel n'est pas toujours nécessaire).

Et c'est le circuit dans lequel l'amplificateur opérationnel est monté qui se chargera de maintenir cette tension à une valeur quasi nulle. On devra toujours trouver un chemin par où la tension de sortie réagit sur celle d'entrée, de façon que cette dernière soit ramenée à une valeur que l'on considérera comme nulle.



**Fig. 26**  
Avec ce montage en gain de 100 (théoriquement 101), on peut facilement mesurer l'offset de l'amplificateur opérationnel, puisqu'on le trouve, changé de signe et multiplié par 100, en sortie.

Si l'on se rappelle que le courant d'entrée est négligeable, on peut alors énoncer les deux « règles d'or » de l'emploi des amplificateurs opérationnels.

**1° Un amplificateur opérationnel maintient toujours, quand il le peut, le potentiel de son entrée « - » à la même valeur que celui de l'entrée « + ».**

**2° Les courants des entrées sont négligeables.**

Il faudrait que ces « règles d'or » soient affichées en grand dans les écoles techniques, qu'elles soient connues comme la table de multiplication. L'auteur a vu de très nombreux exemples de gens qui « séchaient » sur des problèmes d'amplificateurs opérationnels, alors que le simple rappel des « règles d'or » leur aurait donné immédiatement la solution.

Il paraît que « cela va sans dire ». Insistons en répondant que « cela va encore bien mieux en le disant » !

## Prise de contact avec le « monstre »

Nous pensons qu'une bonne façon de se rendre compte de la façon dont agit un amplificateur opérationnel est de relever la courbe de tension de sortie en fonction de celle d'entrée, autrement dit, celle des figures 22 et 23.

Les difficultés que l'on rencontrera dans cette entreprise se-

ront puissamment didactiques, aussi allons-nous décrire la façon de procéder.

Nous utilisons, par exemple, un TL 071, et nous voulons connaître sa tension d'offset. Nous avons supposé que l'amplificateur opérationnel était alimenté par du +12V et du -12V, comme c'est souvent (pas toujours) le cas.

L'entrée « + » de l'amplificateur est à la masse. Il est monté en gain de 100, car le diviseur  $R_1-R_2$  applique à l'entrée « - » le centième (ou presque, théoriquement 1/101) de la tension de sortie. S'il n'y avait pas d'offset, la tension de sortie serait nulle. En réalité, elle sera cent fois la tension d'offset changée de signe.

En effet, si, par exemple, nous lisons une tension e sortie de -0,21V, cela signifiera que,

en portant l'entrée « + » au potentiel de +2,1 mV, cette montée de 2,1 mV de l'entrée entraînera une montée cent fois plus grande du potentiel de la sortie, qui va donc monter à zéro. On aura donc zéro sur l'entrée « - » quand il y a +2,1 mV sur l'entrée « + ». L'offset est donc de +2,1 mV.

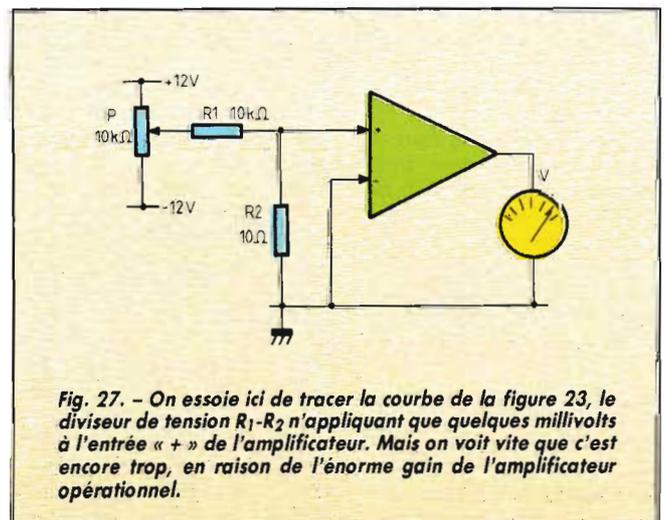
## Voyons un peu comment il réagit

Nous allons maintenant essayer de faire fonctionner l'amplificateur opérationnel dans sa zone de fonctionnement normal, c'est-à-dire non saturé (ni en butée basse ni en butée haute).

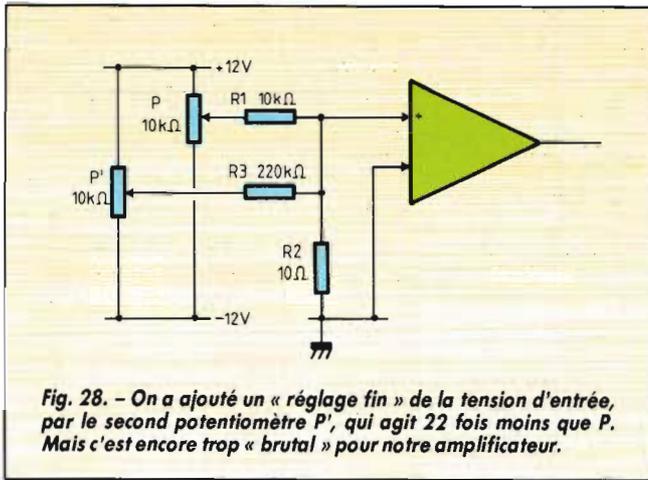
Nous nous doutons bien que, avec le gain qu'il a, il ne faudra pas « chatouiller » trop fort la tension de l'entrée « + » (nous avons mis l'entrée « - » à la masse). Donc, le montage de la figure 27 nous semble adéquat. Le voltmètre V, qui mesure la tension de sortie, est, de préférence, un modèle numérique.

Nous n'avons pas choisi ce type pour la précision, mais parce que ces modèles permettent la mesure des tensions positives et négatives sans commutation.

Avec un polymètre à cadre, à moins qu'il ne soit à zéro central - ce qui est rare - il faut inverser les fils dès que l'aiguille dévie à gauche du zéro. Le « numérique » ne nécessite pas cette inversion, et il nous



**Fig. 27.** - On essaie ici de tracer la courbe de la figure 23, le diviseur de tension  $R_1-R_2$  n'appliquant que quelques millivolts à l'entrée « + » de l'amplificateur. Mais on voit vite que c'est encore trop, en raison de l'énorme gain de l'amplificateur opérationnel.



**Fig. 28.** - On a ajouté un « réglage fin » de la tension d'entrée, par le second potentiomètre P', qui agit 22 fois moins que P. Mais c'est encore trop « brutal » pour notre amplificateur.

indique si la tension est positive ou négative, ce qui est bien commode.

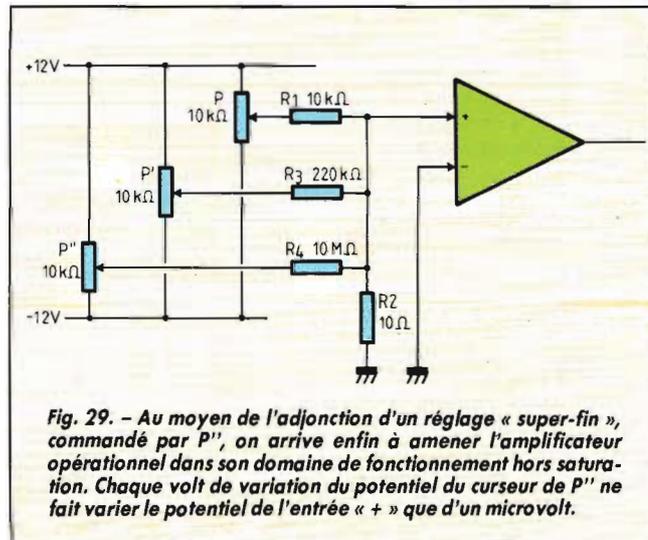
Pour ne pas « brusquer » l'entrée « + », nous l'attaquons à partir du curseur du potentiomètre P, dont le potentiel peut varier de -12 V à +12 V, par le diviseur de tension de rapport 1 000, R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub>. Nous avons choisi ce rapport pour pouvoir compenser un offset éventuel allant peut-être de -8 mV à +8 mV.

La première chose que l'on constate c'est que... nous n'arrivons pas à amener la tension de sortie à une valeur autre que la butée basse (-10 V environ) ou que la butée haute (+10,5 V environ).

Il y a, en effet, une position du potentiomètre P autour de laquelle la tension de sortie semble passer brusquement de -10 V à +10,5 V, comme s'il y avait un « basculement ». On a beau tourner le potentiomètre avec précaution, très lentement, le « saut » se produit.

L'utilisateur finit par se demander si on ne lui a pas fait une farce, en plaçant, dans un boîtier d'amplificateur opérationnel, un « trigger de Schmitt » ou autre circuit logique : il se demande s'il utilise réellement un circuit linéaire, dont la caractéristique principale est de permettre une variation progressive de la tension de sortie.

Qu'il se rassure : le circuit est bien linéaire, mais il commence à deviner à quel point son gain est énorme. S'il ne faut (nous verrons plus loin que c'est vrai) que quelques



**Fig. 29.** - Au moyen de l'adjonction d'un réglage « super-fin », commandé par P'', on arrive enfin à amener l'amplificateur opérationnel dans son domaine de fonctionnement hors saturation. Chaque volt de variation du potentiel du curseur de P'' ne fait varier le potentiel de l'entrée « + » que d'un microvolt.

microvolts à l'entrée pour faire passer la sortie de la butée basse à la butée haute, cela correspond à quelques millivolts sur le curseur du potentiomètre.

Or, ce curseur va de -12 V à +12 V, pour une rotation de, disons, 240°. Pour que son potentiel varie d'un millivolt, il faut le tourner d'un centième de degré !

### Seule solution : une « démultiplication »

Nous utiliserons donc P pour amener la tension d'entrée aussi près que possible de la valeur pour laquelle la sortie semble passer « brusquement » de la butée basse à la butée haute. Il faudra un

moyen de rendre notre commande plus douce.

Une démultiplication mécanique ne serait pas indiquée, et sa réalisation peut être délicate. Nous allons donc faire un « réglage fin », comme l'indique la figure 28.

Le second potentiomètre, P', agit 22 fois moins que P sur le potentiel de l'entrée « + ». Si, éventuellement, les lecteurs pensent que ce réseau de résistances est trop compliqué, qu'ils raisonnent en « intensités » : le potentiel de l'entrée « + » est toujours très faible. Le résistor R<sub>1</sub> peut envoyer en ce point un courant allant

potentiel de l'entrée « + ». Il se peut que, si l'on est très méticuleux, on arrive à amener la tension de sortie à une valeur autre que la butée basse ou la butée haute, mais on remarque que c'est encore difficile : cette tension réagit trop vite à la position du curseur de P'.

### Un « vernier de vernier »

Notre « vernier » a un peu amélioré les choses, mais pas suffisamment. Alors, pourquoi ne pas utiliser un réglage « super fin » en plus du réglage « gros » (P) et « fin » (P') ?

Aussitôt dit, aussitôt fait, et l'on en arrive à la figure 29.

Notre potentiomètre P'', via R<sub>4</sub>, de 10 MΩ, ne peut envoyer à l'entrée « + » qu'un courant de ±1,2 μA, ne provoquant qu'une variation de ±12 μV de cette entrée.

On procède comme plus haut : les curseurs de P' et de P'' sont mis bien à mi-course. On règle P aussi près que possible du « basculement » de la tension de sortie. On règle P' aussi près que possible du « basculement » (un peu moins brusque que quand il est provoqué par P), et l'on agit sur P''.

Cette fois, miracle ! On arrive à amener la tension de sortie à une valeur proche de zéro, en tout cas une valeur qui ne soit ni la butée basse, ni la butée haute.

Accessoirement, on peut mettre un autre voltmètre sur le curseur de P''. Pour chaque volt de variation du potentiel de ce curseur, le potentiel de l'entrée « + » varie de un microvolt. On peut alors apprécier le gain de l'amplificateur opérationnel.

Quand l'auteur de ces lignes a fait cet essai, il a commencé par ne pas en croire ses instruments : la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel variait de 1,2 V pour chaque volt de variation du potentiel du curseur de P'', c'est-à-dire pour chaque microvolt de variation de potentiel de l'entrée « + ». Le gain était de 1 200 000 !

(à suivre)

**J.-P. OEHMICHEN**