

LA PRATIQUE DE LA CONTRE-RÉACTION

Par L. CHRÉTIEN, Ingénieur E. S. E.

Le principe même de la contre-réaction ou réaction négative a été étudié dans un article paru le mois dernier.

Il y a contre-réaction dans un amplificateur quand on réintroduit, à l'entrée, une tension en provenance du circuit de sortie de l'amplificateur.

Cette composante se retranchant de la tension d'entrée, il en résulte que le gain devient plus faible. Mais l'amplificateur acquiert alors des propriétés nouvelles fort intéressantes.

Nous avons, en effet, montré que, s'il s'agit d'une réaction de tension, le gain tend à devenir indépendant de l'amplitude et de la fréquence de la tension d'entrée. En d'autres termes, les distorsions de fréquence et d'amplitude sont supprimées ou, tout au moins, fortement atténuées.

Dans l'article déjà cité, nous avons exposé par quel mécanisme physique cette correction était obtenue. Enfin, nous avons montré qu'on peut aussi utiliser la contre-réaction pour modifier à volonté la courbe de réponse de l'amplificateur.

Le procédé de la contre-réaction est donc plein d'intérêt. Encore faut-il savoir comment l'employer. C'est ce que nous allons exposer maintenant...

Une question fort vaste.

Remarquons, pour commencer, que notre premier article n'a pas épuisé le sujet. Il s'en faut même de beaucoup. Sur ce thème de la *réaction*, on pourrait rédiger plusieurs savants volumes... Il importe donc de n'avoir aucune illusion là-dessus : nous avons examiné tout simplement les grandes lignes de la question.

Pour être complet, il aurait fallu poser le problème de la *réaction* en général, celle-ci pouvant être positive ou négative. Nous aurions ainsi reconnu qu'il y a une sorte de continuité entre les réactions des deux signes. Une réaction négative aplatit les bosses d'une courbe de réponse d'un amplificateur, alors qu'une réaction positive, au contraire, les exagère. C'est pour cette raison qu'on doit soigneusement l'éviter dans la construction des amplificateurs... Mais il n'est pas toujours facile de la supprimer entièrement.

Ce qui complique encore la situation, c'est que, en général, un amplificateur introduit entre les tensions d'entrées et les tensions de sortie une rotation de phase qui varie avec la fréquence. Il en résulte que la réaction interne peut être positive pour certaines fréquences, nulle pour certaines et négatives pour d'autres...

Une étude complète de la question nous aurait montré qu'il peut éventuellement être avantageux de combiner la réaction positive et la réaction négative. Toutefois, la réalisation de tels montages pose de redoutables problèmes.

Nous nous en tiendrons donc, pour le moment, à des indications pratiques très simples et d'une application facile.

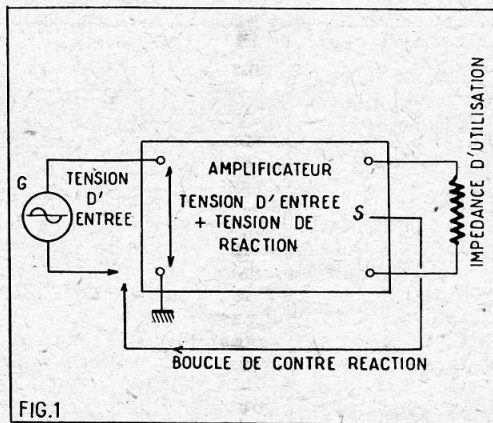


Fig. 1. — Schéma synoptique général d'un amplificateur à réaction. Ce montage est caractérisé par l'existence d'une boucle de réaction qui ramène à l'entrée une tension en provenance du circuit de sortie ou d'utilisation.

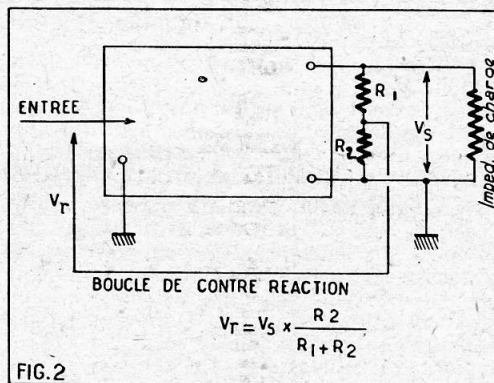


Fig. 2. — Principe d'un amplificateur à contre-réaction de tension. La tension de contre-réaction est proportionnelle à la tension de sortie. L'effet de la contre-réaction tend à maintenir une tension constante entre les extrémités de l'impédance de sortie.

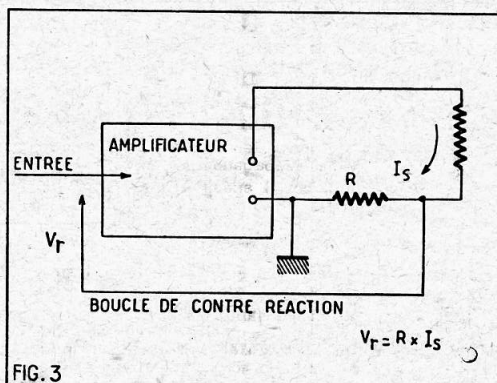


Fig. 3. — Principe d'un amplificateur à contre-réaction d'intensité. La tension de contre-réaction est proportionnelle à l'intensité de sortie. L'effet de la contre-réaction tend à maintenir une intensité constante dans l'impédance d'utilisation.

Contre-réaction de tension et d'intensité.

On peut représenter schématiquement un amplificateur à contre-réaction comme nous l'avons indiqué sur la figure 1.

La tension fournie par le générateur G n'atteint pas tout entière l'entrée de l'amplificateur. Elle se compose avec la tension de contre-réaction en provenance du circuit de sortie de l'amplificateur.

Notre schéma met bien en évidence la caractéristique essentielle des circuits réactifs : l'existence d'une boucle de contre-réaction.

C'est à dessein que le schéma de la figure 1 ne précise pas de quelles manières est obtenue la tension de contre-réaction. Il y a, en effet, plusieurs solutions possibles.

* *

Considérons, par exemple, la figure 2. La tension de contre-réaction est une fraction de la tension de sortie. Elle est prise au point intermédiaire d'un diviseur de tension constitué par les deux résistances R_1 et R_2 . Elle est donc égale à

$$V_r = V_s \times R_2 / R_1 + R_2$$

Elle est proportionnelle à la tension de sortie V_s . On dit qu'il s'agit d'une contre-réaction de tension.

Reportons-nous maintenant à la figure 3. La résistance d'une contre-réaction est placée en série avec l'impédance de charge ou d'utilisation. Celle-ci étant parcourue par une certaine intensité de courant I_s , il en résulte que la tension de contre-réaction est :

$$V_r = I_s \times R$$

Elle est donc proportionnelle à l'intensité de sortie. On dit alors qu'il s'agit d'une contre-réaction d'intensité.

Si l'on considère la correction des différentes distorsions, les deux types de contre-réaction sont équivalents. Toutefois, les résultats sont très différents en ce qui concerne le comportement de l'amplificateur dans certaines circonstances. Un exemple pratique nous permettra immédiatement de saisir la différence.

Supposons (comme c'est généralement le cas) que l'impédance d'utilisation soit un haut-parleur.

L'impédance d'un haut-parleur parfait devrait être constante. Mais il n'en est pas ainsi, en pratique.

Il y a une augmentation régulière d'impédance avec la fréquence et, surtout, il y a des résonances mécaniques parasites qui se traduisent par des résonances électriques; c'est-à-dire des augmentations d'impédance pour certaines bandes de fréquences. L'étage de sortie fournit généralement une tension qui est proportionnelle à l'impédance. En conséquence, quand il y a une résonance, il y a une augmentation de tension V_s entre les extrémités de la charge.

a) Cas de la contre-réaction de tension.

Dans ce cas, il y a nécessairement une augmentation de tension de contre-réaction (voir fig. 2). Il en résulte ainsi une diminution du gain de l'amplificateur. En consé-

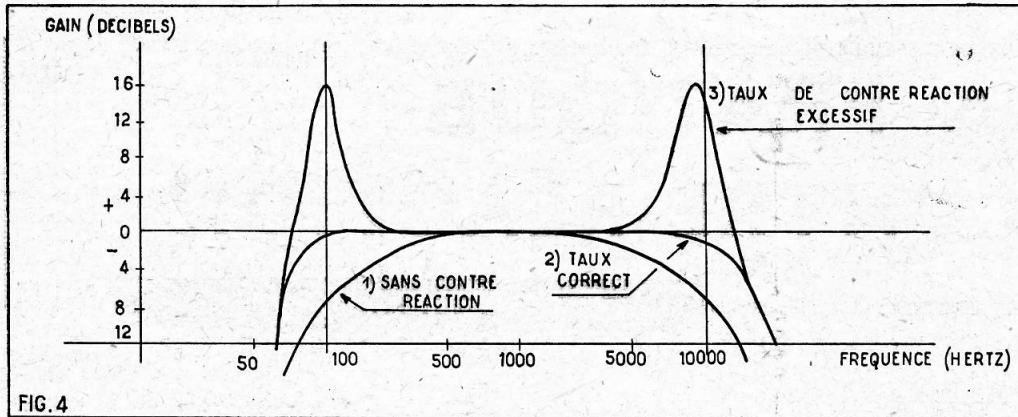


FIG. 4. — La courbe de réponse du même amplificateur :

1. Sans contre-réaction ;
2. Avec une contre-réaction modérée ;
3. Avec une contre-réaction excessive.

Les trois courbes ont été ramenées au même niveau pour rendre la comparaison plus facile.

quence, l'effet de la résonance est atténué. Il peut même être pratiquement supprimé si le taux de réaction r (voir précédent article) est assez élevé...

b) Cas de la contre-réaction de tension.

L'augmentation d'impédance due à la résonance se traduit par une diminution d'intensité dans l'impédance d'utilisation. La tension de contre-réaction qui est proportionnelle à cette intensité devient ainsi plus petite, et il en résulte une augmentation du gain de l'amplificateur. En conséquence, l'effet de la résonance est augmenté... ce qui nuit évidemment à la qualité de reproduction de l'ensemble.

On pourrait résumer la situation en disant que, dans le premier cas, la réaction négative tend à maintenir constante la tension fournie par l'amplificateur. Dans le second cas, c'est l'intensité qui est maintenue invariable.

En considérant les choses sous un autre angle, on peut dire que, dans le premier cas, on est en présence d'une diminution de la résistance interne du système, alors que dans le second il s'agit d'une augmentation. Or, pour amortir les résonances parasites du haut-parleur, il y a tout intérêt à l'alimenter avec une source à résistance interne aussi faible que possible... C'est donc la contre-réaction de tension qui apparaît ici comme la plus intéressante. Ce résultat, obtenu par le raisonnement simple, qu'on vient de lire est parfaitement confirmé par des essais pratiques.

C'est donc spécialement vers la contre-réaction de tension que nous allons porter maintenant notre attention. Il semble toutefois intéressant de remarquer que, dans certains cas, la contre-réaction d'intensité peut présenter beaucoup d'intérêt... Nous pourrions être amené à l'utiliser, par exemple, s'il s'agissait d'un amplificateur de mesure.

Quelques remarques fort importantes.

Avant de discuter quelques schémas, il est essentiel de faire quelques remarques dont l'importance est capitale pour la mise au point des amplificateurs à contre-réaction.

1. Les bienfaits apportés par la contre-réaction deviennent théoriquement de plus en plus grand au fur et à mesure qu'on augmente le taux de contre-réaction. On pourrait être tenté d'adopter ainsi, d'emblée, un taux de contre-réaction énorme... Mais on risquerait de grosses déceptions.

En effet :

a) Augmenter la contre-réaction, c'est diminuer le gain. Or, la première vertu d'un amplificateur c'est, encore, d'amplifier ;

b) On pourrait aussi constater qu'un taux de contre-réaction excessif donne en définitive des mauvais résultats.

Au lieu d'une courbe de réponse corrigée, comme sur la figure 4 (2), on peut fort bien obtenir la courbe figure 4 (3).

C'est qu'en effet, si l'opposition de phase entre la tension d'entrée et la tension de réaction est bien réalisée pour les fréquences moyennes la rotation de phase présente pratiquement dans tout amplificateur rend la réaction de moins en moins négative à mesure qu'on s'écarte du centre de la bande passante de l'amplificateur.

Il en résulte une augmentation du gain accompagnée de distorsion...

c) Bien mieux, il est fort possible que la réaction change complètement de signe et devienne positive.

Ainsi, le gain augmente encore. Si le facteur de réaction rG (voir article précédent) devient égal à 1, l'amplificateur devient le siège d'oscillations. En d'autres termes, il accroche... Ce n'est plus un amplificateur, c'est un oscillateur...

d) Quand le fonctionnement d'un amplificateur est défectueux, il ne faut pas compter sur la contre-réaction pour arranger les choses. Le défaut de fonctionnement est généralement accompagné d'une importante rotation de phase. Dans ces conditions, l'application de la contre-réaction devient fort aléatoire. Le remède risque d'être pire que le mal...

En conséquence, il ne faut appliquer de contre-réaction qu'à des amplificateurs qui sont déjà parfaitement mis au point. Nous recommandons aux lecteurs de *Radio-Plans* de faire, d'abord, une mise au point com-

plète de l'appareil en supprimant la bouche de contre-réaction. C'est après cette mise au point seulement qu'on pourra réaliser le couplage réactif ;

e) La contre-réaction n'augmente pas la puissance maximum que peut fournir un amplificateur : tout au contraire. Le procédé permet de diminuer et même, pratiquement, de supprimer la distorsion, à condition que l'amplificateur ne fournisse qu'une fraction de sa puissance maximum.

A mesure que la puissance fournie est plus voisine de ce maximum, l'avantage présenté par la contre-réaction diminue. La situation s'inverse pour une certaine puissance. Il est alors plus avantageux de ne pas utiliser de contre-réaction.

Nous donnons deux courbes tout à fait typiques sur la figure 5. L'une d'elle est relative à un amplificateur pouvant fournir une puissance modulée d'environ 6,5 W avec un taux de distorsion de 10 %.

En appliquant un taux de réaction raisonnable, l'amélioration est considérable pour les puissances faibles. Sans contre-réaction, la distorsion atteint 5 % quand l'amplificateur fournit 5 W. Une telle distorsion est déjà nettement perceptible à une oreille un peu entraînée. Il n'est pas besoin d'avoir recours à un distorsiomètre...

La même puissance est obtenue avec 1 % de distorsion quand on applique la contre-réaction. Or, 1 % de distorsion est tout à fait négligeable, c'est tout à fait imperceptible.

En revanche, pour 6 W, l'amplificateur normal présente un taux de distorsion d'environ 8 %... alors que celui de l'amplificateur réactif est supérieur à 10 %.

En conséquence, pour profiter des avantages de la contre-réaction, il faut faire largement les choses. Il faut :

- a) Prévoir un gain beaucoup plus grand que celui qui serait strictement nécessaire ;
- b) Prévoir une puissance largement supérieure à celle dont on a besoin.

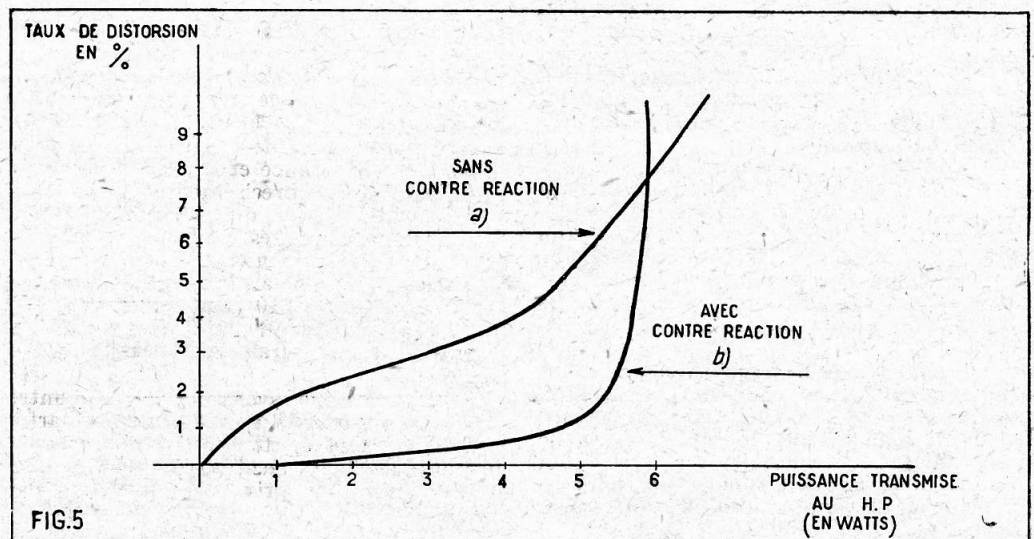
Notons, en passant, que les deux choses sont distinctes : il ne faut pas confondre le gain et la puissance maximum que peut

FIG. 5. — Courbe de distorsion produite par un même amplificateur en fonction de la puissance utile ;

- a) Sans contre-réaction ;
- b) Avec contre-réaction.

Le bénéfice amené par la contre-réaction est considérable pour les puissances faibles et moyennes. Mais quand on arrive au voisinage de la puissance maximum que peut supporter l'amplification la situation s'inverse.

Il ne faut donc jamais utiliser un amplificateur à contre-réaction en régime de surcharge.



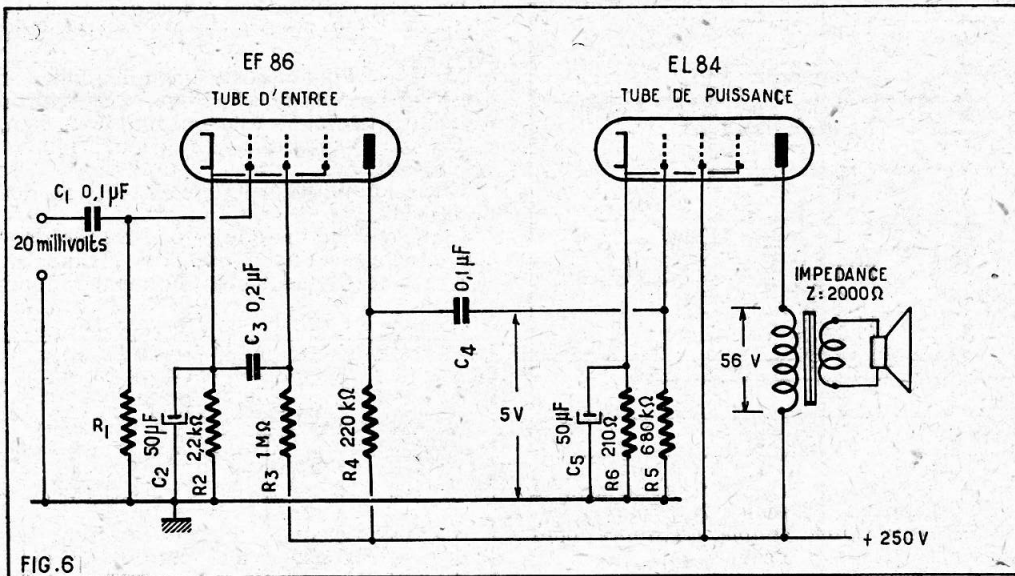


FIG. 6.

FIG. 6. — Un montage typique d'amplificateur utilisant un tube penthode EF86 comme tube amplificateur de tension et une penthode finale EL84.

fournir un amplificateur pour un taux donné de distorsion ;

f) Nous avons reconnu que la contre-réaction avait pour effet d'uniformiser le gain de l'amplificateur pour toutes les fréquences. Qu'advierait-il, dans ces conditions, si nous disposions quelque part un *contrôle de tonalité* qui produirait précisément l'action contraire, c'est-à-dire qui favorise certaines fréquences ?

C'est très simple : l'action du contrôle de tonalité sera annulée dans la mesure où le taux de contre-réaction sera suffisant.

Il faut donc bien se garder de prévoir de tels dispositifs à l'intérieur de la boucle de contre-réaction : ils seraient sans action.

S'il est nécessaire de modifier la courbe de transmission ou de réponse de l'amplificateur, il faut agir soit avant, soit après la boucle de contre-réaction.

Nous avons reconnu dans le précédent article qu'on pouvait aussi utiliser pour cela la contre-réaction elle-même en rendant le taux de contre-réaction variable avec la fréquence.

Contre-réaction dans l'étage final.

Quelques chiffres.

Dans un amplificateur normal, c'est toujours dans l'étage final que se produit la distorsion. Il est facile d'en comprendre la raison : c'est seulement dans cet étage que se produisent les grandes variations d'amplitude. Considérons, par exemple, un amplificateur tout à fait classique, comme celui qui équipe la plupart des récepteurs normaux ou qui consulte la partie basse fréquence d'un téléviseur.

Avec les valeurs indiquées sur le schéma, le tube EL84 (alias 6BQ5) peut fournir environ 4,2 W modulés avec une distorsion de 10 %. Notez qu'une telle puissance est beaucoup plus grande que ce qu'une oreille normale peut supporter dans un appartement de grandeur normale...

Quand l'impédance de charge est de 7.000 Ω, cela suppose que l'amplitude efficace d'une tension sinusoïdale dans le circuit d'anode est telle que l'on ait : $4,2 = (V)^2 / 7000$.

D'où l'on peut déduire que cette valeur V_{eff} est de :

$$V = \sqrt{7000 / 4,2} \quad \text{soit environ } 40 \text{ V.}$$

La valeur de crête est donc de $40 \times 1,4 = 56 \text{ V}$ environ.

C'est donc tout à fait considérable. Il est en effet évident que les variations de crête à crête représentent le double, c'est-à-dire près de 120 V.

Mais pour obtenir ce résultat, il suffit que la tension d'attaque de grille atteigne 3,5 V en valeur efficace. La valeur de crête correspondante est de $3,5 \times 1,4$ soit environ 5 V. Or, le tube EF86 peut fournir une tension efficace de 46 V avec une distorsion de 5 %... On est donc bien loin du compte. On peut considérer, dans ces conditions, que la distorsion fournie par le tube EF86 est tout à fait négligeable.

Il est intéressant de rechercher quelle doit être la tension d'entrée entre les extrémités de R1 pour obtenir le fonctionnement de l'amplificateur à pleine puissance. Cela nous renseigne sur les possibilités d'introduire la contre-réaction dans un tel amplificateur.

Dans ces conditions indiquées par le schéma de la figure b) le gain de l'étage EF86 atteint 180. En conséquence, pour obtenir une valeur efficace de 3,5 V à la sortie, il suffit d'une tension d'entrée de : $3,5 / 180$, soit environ 20 millivolts.

Ces chiffres montrent bien que c'est dans l'étage final que se produit exclusivement la distorsion. Il est donc parfaitement raisonnable de n'appliquer la contre-réaction que dans les seuls circuits de la lampe de puissance.

Un schéma fort simple de réaction négative d'intensité.

S'il s'agissait d'une contre-réaction d'intensité, la solution serait fort simple. Il suffirait, en effet, de supprimer le condensateur de découplage de la cathode, c'est-à-dire le condensateur C5 de la figure 6.

Le courant anode-cathode traverse en effet cette résistance et le rôle du condensateur C5 c'est précisément d'annuler la tension alternative qui se produit entre ses deux extrémités. Notons, d'ailleurs, que le taux de contre-réaction ne serait pas très grand. Sa valeur serait évidemment de $210 / 7000 + 210$, soit environ $3 / 100$ ou 3 %. On pourrait artificiellement l'augmenter mais ce serait au détriment de la simplicité.

Malgré les inconvénients de la contre-réaction d'intensité, ce montage est parfois employé... sans doute parce que, non seulement il ne coûte rien, mais permet même d'économiser le prix d'un condensateur de 50 μF.

Un schéma presque aussi simple de contre-réaction de tension.

Entre les tensions d'entrée et de sortie d'un tube amplificateur attaqué par la grille, il y a un déphasage de 180°... c'est-à-dire opposition de phase. En reliant la grille et l'anode d'un tube amplificateur au moyen d'une résistance on introduit donc un couplage de contre-réaction. La tension ainsi reportée est proportionnelle à la tension de sortie. C'est donc bien une contre-réaction de tension.

Mais les potentiels continus de la grille et de l'anode sont fort différents. La résistance serait donc parcourue par un courant continu et, d'autre part, le potentiel de grille serait ramené vers des valeurs positives. Il est facile toutefois de bloquer la composante continue au moyen d'un condensateur. On arrive ainsi au schéma figure 7.

On peut encore simplifier ce schéma. Le condensateur C7 joue le même rôle que le condensateur de liaison C4. Il en résulte

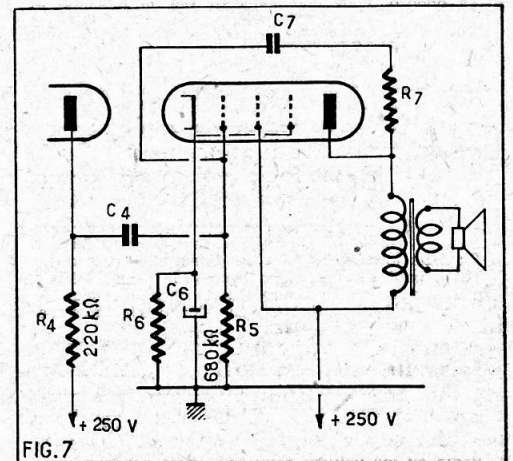


FIG. 7.

FIG. 7. — Un schéma très simple pour appliquer une contre-réaction de tension à l'étage de puissance. Il suffit, en effet, d'ajouter R7 et C7. Le taux de contre-réaction pour une valeur donnée de R4 et de R5 dépend de la valeur choisie pour R7. A noter qu'en choisissant correctement C7 on peut obtenir une augmentation de gain du côté des basses fréquences.

qu'on peut réaliser tout simplement le schéma de la figure 8. On obtient le bénéfice de la contre-réaction au prix d'une simple résistance R7.

Ce procédé extrêmement simple peut être employé pour ajouter la contre-réaction à un amplificateur qui ne comportait pas ce perfectionnement.

Détermination du taux de contre-réaction.

Quelle valeur faut-il donner aux éléments pour obtenir un taux de contre-réaction donné.

Il est facile de le déterminer.

La tension reportée à l'entrée dépend d'un diviseur de tension qui comporte R7 comme première branche. La seconde branche est constituée par R4 et R5, qu'il faut considérer comme étant en parallèle. En effet, l'impédance du condensateur C4 est négligeable.

La résistance équivalente à R4 et R5 est :

$$R_r = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}$$

Le taux de contre-réaction est alors :

$$r = \frac{R_r}{R_r + R_7}$$

RÉALISEZ VOS MONTAGES RADIO

HAUTE et BASSE FRÉQUENCE

et APPRENEZ UN MÉTIER...

les COURS

POLYTECHNIQUES
de FRANCE

VOTRE ÉCOLE D'ÉLECTRONIQUE se met à
VOTRE DISPOSITION

3 MOIS SUFFISENT...

NOTRE COURS DE
MONTEUR-CABEUR

Dès la première leçon, vous commencerez le câblage
et la réalisation de l'un de vos CINQ montages.

OU NOTRE COURS DE
RÉGLEUR-ALIGNEUR

Là encore, vous commencerez par le montage et
nous vous initierons de plus à la mise au point, aux
réglages et à l'alignement.

PARMI LE

6 COURS DIFFÉRENTS

vous trouverez certainement celui qui correspond à
vos ambitions :

NOTRE COURS
AGENT TECHNIQUE

Niveau « Sous-Ingénieur-Électronicien »
Examine tous les aspects de l'Électronique et de la
Radio par l'explication pratique et le calcul. Débute
par une section « Mathématiques » importante, de
l'Algèbre du second degré au Calcul des Imaginaires.

OU NOTRE COURS SPÉCIAL
« MATHS » RADIO

Développe, sous l'aspect électronique : l'Algèbre, la
Trigonométrie. Calcul intégral et imaginaire.
Pour ceux qui connaissent bien la pratique de la
Radio ou qui veulent rafraîchir leurs connaissances
mathématiques.

OU NOTRE COURS PRATIQUE DE
TECHNICIEN RADIO

Un enseignement complet de l'Électricité, de l'Élec-
tronique et de la Radio sous un angle pratique.
Convient même aux débutants.

NOTRE COURS DE
RADIO-PROFESSIONNELLE

Pour ceux qui possèdent de bonnes notions d'Élec-
tricité (sans « Maths »), et que seule la Radio Pratique
intéresse.
Rappelle seulement les éléments d'Électronique et
approfondit tous les aspects de la Radio, du tube à
vide jusqu'au dépannage.

**4 VERSIONS DE TRAVAUX
PRATIQUES**

- 1 RÉCEPTEUR 5 LAMPES
 - 1 RÉCEPTEUR 7 LAMPES
 - 1 RÉCEPTEUR À TRANSISTORS
- et surtout notre Cycle complet
qui vous fera réaliser :

5 MONTAGES DIFFÉRENTS

dont un AMPLIFICATEUR BF - HI-FI

**12 FORMULES DE PAIEMENT
À VOTRE CHOIX**
suivant vos possibilités.

Dans cette annonce, nous vous donnons seulement
quelques indications. Tous les détails sur ces divers
cours sont contenus dans notre DOCUMENTATION F
qu'il vous suffira de demander,
sans engagement de votre part aux



**COURS POLYTECHNIQUES
DE FRANCE**

(Service 519).

67, boulevard de Clichy,
PARIS-9^e

Bien spécifier pour éviter toute erreur,
« SERVICE 519 » S.V.P.

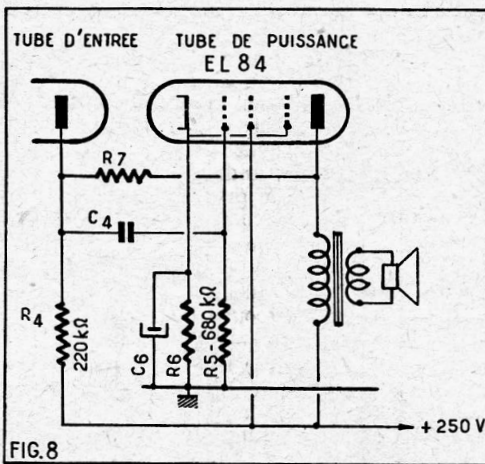


FIG. 8

FIG. 8. — Le résultat est équivalent à
celui que fournit la figure 7. Il suffit, cette
fois, d'ajouter une simple résistance pour
obtenir l'effet de contre-réaction.

Si l'on veut connaître R7 pour obtenir
un taux de contre-réaction donnée, le
calcul donne :

$$R_7 = R_r \frac{(1-r)}{r}$$

Dans le cas de la figure 8, nous désirons
réaliser par exemple un taux de contre-
réaction de 10 %. La valeur de Rr est de :
 $680 \times 220 / 680 + 220$, soit environ
170 kΩ.

En conséquence, il faut prendre R, telle
que :

$$R_7 = 170 \left(\frac{(1-0,1)}{0,1} \right) \text{ k}\Omega$$

c'est-à-dire 1,5 MΩ environ.

Il est évident que cette résistance doit
être notablement plus élevée que R4, si
l'on ne veut pas perturber le fonctionnement
de l'amplificateur.

Remarquons encore que, dans le schéma
de la figure 7, le condensateur C7 peut
servir à obtenir une modification du taux
de contre-réaction avec la fréquence. Il
présente une impédance qui devient de
plus en plus grande à mesure que la fré-
quence est plus basse. On peut donc l'utili-
ser pour augmenter le gain aux basses
fréquences.

Quelle doit être, dans ce cas, son ordre
de grandeur ? Il faut évidemment que, pour
les fréquences basses, son impédance soit
comparable à R₇...

Pour déterminer sa valeur, nous nous
souviendrons d'une règle simple que nous
avons déjà eu l'occasion d'utiliser ici :
un condensateur de 1 μF, à 100 Hz, présente
une impédance de 1.600 Ω.

Nous voulons, par exemple, réaliser une
impédance de 1,6 MΩ à 100 périodes. Cela
conduit à prendre évidemment un conden-
sateur 1.000 fois plus petit ou... 1.000 pF.

Tel est l'ordre de grandeur qu'il faut
utiliser ici.

Empli du transformateur d'adaptation.

Le couplage à contre-réaction permet
la correction de tous les défauts des élé-
ments inclus dans la boucle de contre-
réaction. Il y a donc évidemment intérêt
à placer le plus grand nombre d'éléments
dans cette boucle.

Ainsi, avec les montages précédents, le
transformateur du haut-parleur, qui est
toujours une importante source de distor-
sion n'est inclus dans la boucle de contre-
réaction que d'une manière tout à fait
partielle.

On peut réaliser des montages dans les-
quels le transformateur est entièrement
incorporé.

Nous en donnons un exemple figure 9.
C'est un montage classique. La tension
de contre-réaction est empruntée à l'en-
roulement secondaire du transformateur
d'adaptation.

Elle est appliquée au tube entre la cathode
et la masse.

Pour éviter d'introduire dans le montage
une contre-réaction d'intensité, il faut que
la résistance R₂ demeure faible par rapport

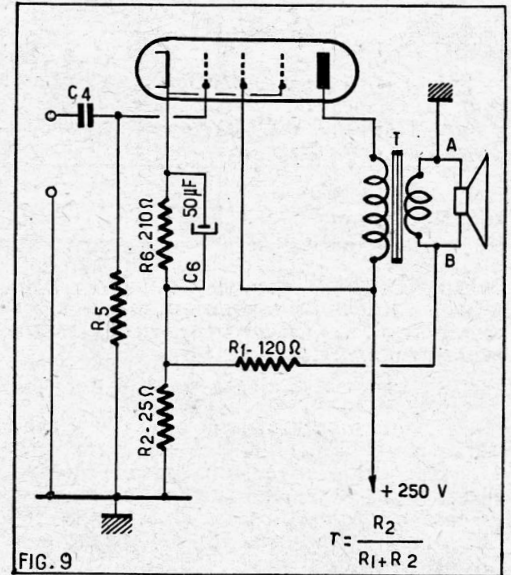


FIG. 9

FIG. 9. — Contre-réaction de tension utili-
sant le transformateur d'adaptation. Les
défauts que peut présenter ce dernier sont
partiellement corrigés, puisqu'il est inclus
dans la boucle de contre-réaction.

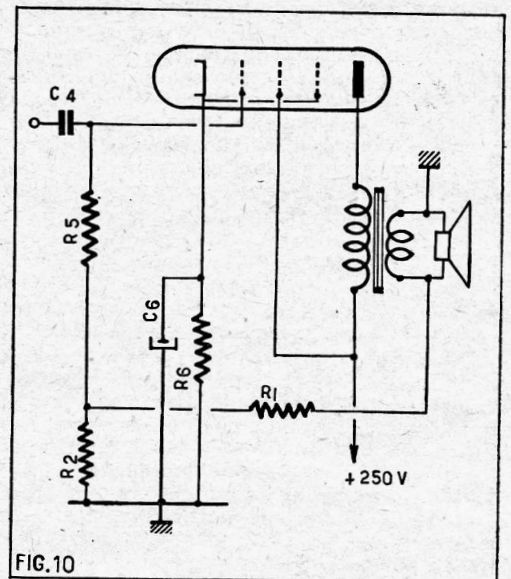


FIG. 10

FIG. 10. — Le schéma équivaut à celui
de la figure 10. La contre-réaction est direc-
ttement appliquée à la grille. Il n'y a pas
à redouter de contre-réaction d'intensité.

à R₂. Ce résultat est obtenu dans la figure 9
puisque'il existe un rapport voisin de 10
entre les deux résistances.

L'effet de la contre-réaction dépend du
taux qui est ici encore R₂/R₁R₂. Il dépend
aussi du rapport de transformation de T...
c'est-à-dire, en fait, de l'impédance de la
bobine mobile.

La variante de la figure 10 permet d'évi-

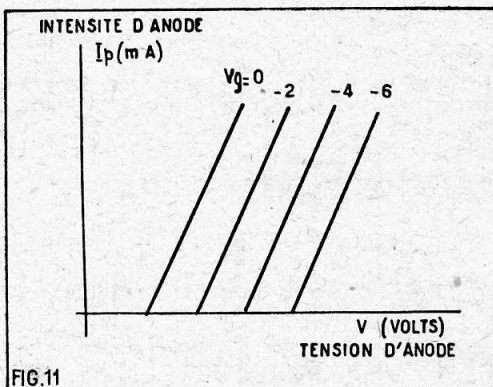


FIG.11

FIG. 11. — Caractéristiques idéalisées d'un tube triode. La contre-réaction appliquée à un tube penthode permet d'obtenir ce genre de caractéristiques.

ter totalement l'effet de contre-réaction d'intensité. Cette fois, la tension de contre-réaction est directement appliquée au circuit de grille. Le sens de branchement du transformateur de sortie doit, dans ce cas, être inversé par rapport au sens correspondant à la figure 10.

En pratique, d'ailleurs, la détermination du sens correct s'effectue expérimentalement. Il suffit d'essayer un sens quelconque. Si l'on est tombé juste, on constate une diminution de gain et une amélioration de qualité. Si le sens adopté est incorrect, le haut-parleur fait entendre un hurlement strident. Dans ce cas, il ne faut pas insister, car on risquerait de provoquer des dégâts soit dans le tube de puissance, soit dans le transformateur ou le haut-parleur. On éteint l'amplificateur et l'on inverse les connexions A et B (fig. 9).

Résistance intérieure et impédance de charge.

Une étude complète de l'étage final nous montrerait que l'introduction de contre-réaction se traduit par une diminution considérable de la résistance interne et du coefficient d'amplification du tube de puissance. Les deux grandeurs sont pratiquement divisées par le produit r_k , k étant le coefficient d'amplification du tube.

Prenons le cas d'un tube EL84. La résistance interne est de 40.000Ω et le coefficient d'amplification de 400 dans les conditions d'emploi les plus courantes.

En utilisant un taux de contre-réaction de 10 %, le facteur $r \times k$ est de 40. Il en résulte que l'application de la contre-réaction nous met en présence d'un tube virtuel dont la résistance interne n'est plus que $40.000/40$, soit 1.000Ω et le coefficient d'amplification de 10...

Ces constantes nouvelles ne sont plus celles d'un tube penthode, mais d'un tube triode...

Bien mieux, l'analyse nous montrerait que les caractéristiques de ce tube virtuel ont exactement la forme des caractéristiques d'un tube triode idéal !

Elle se présenteraient sous forme de lignes parfaitement droites et également espacées (fig. 11). Ainsi s'explique l'absence de distorsion.

Mais faut-il appliquer à ce tube triode virtuel les règles classiques de détermination de l'impédance de charge optimum ? Faut-il, en d'autres termes, modifier le port du transformateur d'adaptation sous prétexte qu'il ne s'agit plus d'un tube penthode ?

Non. Il ne faut pas oublier que notre triode est virtuelle. On peut conserver l'impédance de charge indiquée par le constructeur (7.000Ω pour un tube EL84). Tout au contraire, aurait-on un très léger avantage à augmenter légèrement cette valeur.

Contre-réaction d'écran.

Nous avons vu plus haut que la contre-réaction pouvait être appliquée à la grille ou à la cathode. On peut aussi la faire agir sur la grille-écran du tube. Toutefois, l'écran étant plus proche de l'anode présente naturellement un coefficient d'amplification beaucoup plus faible que la grille de commande. Aussi faut-il, pour un effet donné, appliquer des tensions plus élevées.

D'autre part, on est évidemment gêné par le fait que la grille écran consomme une intensité de courant notable.

Un moyen de tourner la difficulté est de prendre directement la tension de contre-réaction d'écran entre les extrémités d'un enroulement du transformateur.

Nous en donnons le moyen sur la figure 12.

Mais les lecteurs, adeptes fervents de la haute fidélité, ont déjà reconnu le schéma ! Il est connu sous le nom de montage *ultra-linéaire* et — il faut bien le dire — à peu près exclusivement utilisé avec les montages symétriques. Aucune raison valable n'en interdit cependant l'emploi avec un montage ordinaire...

En fait, le montage *ultra-linéaire* n'est pas autre chose qu'un schéma à contre-réaction d'écran. Et cet exemple illustre bien le propos que nous tenons plus haut.

En connectant l'écran au point B1 nous obtenons le montage classique d'une penthode de puissance. La connexion étant faite en B2, B3, etc... nous obtenons un montage dit *ultra-linéaire*... et l'*ultra-linéarité* (si l'on peut s'exprimer ainsi) s'accroît à mesure que l'enroulement d'écran comporte

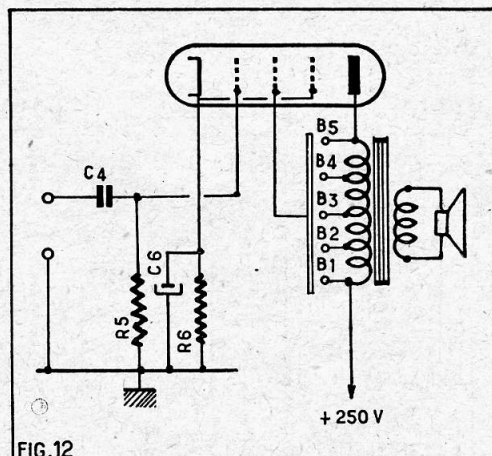


FIG.12

FIG. 12. — Le montage dit *ultra-linéaire* n'est pas autre chose qu'un montage de contre-réaction appliquée à la grille écran... A la limite, le tube penthode est transformé en tube triode... C'est en effet évident, quand la grille écran est reliée à l'anode.

davantage de spires. En même temps, bien entendu, le gain diminue...

Et quand nous serons au point B5 ? Nous aurons relié la grille écran et l'anode et nous aurons transformé notre tube penthode en un tube triode, *réelle*, cette fois !

Cela démontre la réalité de notre raisonnement précédent et, en même temps, que l'application d'une contre-réaction bien dosée permet d'obtenir plus simplement le même résultat qu'avec un montage *ultra-linéaire*.

Dans un article prochain, nous verrons comment on peut étendre pratiquement la boucle de contre-réaction à un amplificateur tout entier.

DISPONIBLE LE NOUVEAU CATALOGUE GÉNÉRAL MABEL - RADIO

- NOUVELLE PRÉSENTATION
- NOUVELLE FORMULE

Il comprend :

- ★ Une liste de pièces détachées, appareils de mesures, à des prix très étudiés.
- ★ Une collection des principaux modèles en pièces détachées :

Téléviseurs - Radio - Tuner FM -
Électrophones - Portatifs, etc.
avec devis - Schémas de principe -
Plans de câblage,

...ET NOS POSTES EN ORDRE
DE MARCHÉ

MABEL

RADIO-TÉLÉVISION

35, rue d'Alsace

PARIS-10^e TÉL. : NOR. 88-25

Métros : Gare de l'Est et du Nord

à découper

BON R. P. 4 59

Veuillez m'adresser
votre NOUVEAU CATALOGUE GÉNÉRAL
Ci-joint 150 F pour frais

NOM.....

ADRESSE.....

RC ou RM (Si professionnel).....

TOUS LES DISQUES AU PRIX DE GROS

TOUTES LES MARQUES TOUS LES GENRES

(Classique, Variétés, Jazz, Folklore, etc.)
16 - 33 1/3 - 45 et 78 tours et même

● LES DISQUES STÉRÉOPHONIQUES ●

Testez votre magnétophone stéréophonique et électrophone stéréophonique AVEC LE 1^{er} DISQUE DE DÉMONSTRATION EN STÉRÉOPHONIE (importation). Disque entièrement musical : grand orchestre, musique militaire, orgue, variétés, etc.). 33 TOURS, 30 cm (Valeur : 3.599) FRANCO. 2.700

A L'OCCASION DES FÊTES DE PAQUES nous vous offrons

4 DISQUES DE DANSE, SUPER 45 TOURS

valeur : 3.840 (6 tangos, 2 paso doble, 2 cha-cha-cha, 2 mambos, 1 baïon, 1 fox et 2 slows) SOIT 1 HEURE DE DANSE pour franco..... 2.750

À chaque envoi il sera joint gratuitement et à titre exceptionnel

◆ LE CATALOGUE GÉNÉRAL ◆
de toutes les grandes marques de disques (valeur 450 F).
Ainsi que tous conseils et renseignements dont vous pourriez avoir besoin.

Demandez également nos conditions pour MEUBLE RADIO-PHONO avec FM d'importation allemande. — ELECTROPHONES et CHANGEURS DE DISQUES avec tête stéréophonique (22 à 27 %).

CLUB DES DISQUES DE PARIS

50, RUE DES MARTYRS, PARIS (9^e)
Métro : N.-D.-de-Lorette et Pigalle. Autobus 87 et 31.
C.C.P. PARIS 6875.91