

BREVET D'INVENTION

Gr. 12. — Cl. 4.

N° 1.156.499

Classification internationale :

H 03 f

Dispositif déphaseur pour amplificateurs de puissance à basse fréquence.

M. PIERRE LOYEZ résidant en France (Seine).

Demandé le 23 juillet 1956, à 15^h 11^m, à Paris.

Délivré le 16 décembre 1957. — Publié le 16 mai 1958.



(Brevet d'invention dont la délivrance a été ajournée en exécution de l'article 11, § 7, de la loi du 5 juillet 1844 modifiée par la loi du 7 avril 1902.)

La présente invention concerne un dispositif déphaseur pour amplificateurs de puissance à basse fréquence, et plus particulièrement un dispositif de l'espèce permettant d'obtenir, dans un amplificateur de puissance du type à montage « push-pull » ou « symétrique », à partir d'un signal appliqué à l'entrée de l'amplificateur, deux signaux d'amplitudes égales et de phases opposées destinés à être appliqués aux deux entrées de l'étage de puissance à montage « push-pull » de l'amplificateur.

Il est précisé qu'on entend dans la présente spécification par amplificateur de puissance à basse fréquence, un amplificateur capable de fournir une puissance de plusieurs watts dans une bande de fréquences allant de la dizaine de cycles par seconde à environ une centaine de milliers de cycles par seconde.

Les dispositifs déphaseurs utilisés dans les amplificateurs de puissance à montage push-pull sont généralement de deux sortes. Les uns comprennent un transformateur à enroulement primaire unique et à deux enroulements secondaires symétriques, par rapport à un point milieu. Ils présentent l'inconvénient que des déphasages importants peuvent apparaître dans le transformateur et créer des oscillations lorsque l'amplificateur comprend, comme il est habituel, une boucle de contre-réaction ou de réaction négative entre sa sortie et son entrée. Les autres comprennent des couplages par résistance entre un premier étage préamplificateur et un étage spécial à deux tubes dit déphaseur; ils ne présentent pas l'inconvénient signalé pour les déphaseurs à transformateur et ce sont ces dispositifs déphaseurs à résistances que l'invention vise à perfectionner.

Les amplificateurs à montage push-pull de l'art antérieur, munis d'un étage déphaseur de ce type à résistances comprennent généralement :

- i. Un étage préamplificateur à résistances à un seul tube;
- ii. Un étage déphaseur à résistances à deux tubes;

iii. Au moins un étage de puissance push-pull nécessairement à deux tubes.

Bien entendu quand on parle de deux tubes, on envisage également le cas où les deux tubes constituent un tube double.

Les schémas de ces amplificateurs diffèrent entre eux, d'une part, par la constitution de l'étage déphaseur et, d'autre part, par la répartition des nombreuses boucles de contre-réaction entre les divers étages de l'amplificateur. Il faut toutefois noter un point commun à tous ces schémas d'amplificateurs qui est le suivant : la mise en œuvre d'une contre-réaction entre la sortie et l'entrée nécessite un étage préamplificateur précédant le circuit déphaseur. Ce dernier est rarement utilisé comme étage préamplificateur, et de ce fait, la contre-réaction globale entre la sortie et l'entrée est rarement appliquée audit étage déphaseur.

L'invention concerne un dispositif déphaseur pour amplificateur de puissance à montage push-pull et à contre-réaction qui comprend deux tubes identiques ayant des résistances anodiques égales et des résistances cathodiques composées d'une première partie propre à chaque tube et d'une deuxième partie commune aux deux tubes et le signal de contre-réaction prélevé à la sortie de l'amplificateur est appliqué à la cathode de l'un des deux tubes du dispositif déphaseur. Le dispositif déphaseur se comporte à la fois comme un préamplificateur et comme un déphaseur. La contre-réaction intervient alors, ainsi qu'il sera expliqué dans la suite, d'une part dans l'équilibrage du déphaseur et d'autre part dans son rôle habituel pour l'amélioration de la courbe de réponse de l'amplificateur de puissance.

Un amplificateur de puissance à montage push-pull utilisant le préamplificateur-déphaseur conforme à l'invention se compose en général de :

- i. Un étage préamplificateur-déphaseur à résistances à deux tubes;

ii. Un étage amplificateur de tension à résistances et à montage push-pull;

iii. Au moins un étage amplificateur de puissance à montage push-pull.

L'invention sera maintenant décrite en détail en relation avec les dessins annexés dans lesquels :

La fig. 1 représente un amplificateur à montage push-pull de l'art antérieur comprenant un préamplificateur et un déphaseur à résistances de type connu;

La fig. 2 est un schéma simplifié du préamplificateur et du déphaseur de l'amplificateur de la fig. 1 destiné à montrer comment est réalisé l'équilibrage du déphaseur et que cet équilibrage n'est jamais qu'approximatif;

La fig. 3 représente un amplificateur à montage push-pull incluant un déphaseur à résistances conforme à l'invention;

La fig. 4 est un schéma simplifié du déphaseur de l'amplificateur de la fig. 3, destiné à montrer comment est réalisé l'équilibrage exact du déphaseur;

La fig. 5 est un graphique indiquant le taux de distorsion harmonique global mesuré à la sortie de l'amplificateur de puissance de la fig. 3 pour différents taux de contre-réaction, à la fréquence 1 000 c/s, lorsqu'on fait varier la résistance commune aux circuits de cathode des tubes du déphaseur;

La fig. 6 est un graphique indiquant le taux de distorsion harmonique global de l'amplificateur de puissance de la fig. 3 en fonction de la puissance débitée, lorsque la résistance commune aux circuits de cathode des tubes du déphaseur est convenablement réglée pour une distorsion harmonique minima à 1 000 c/s;

La fig. 7 représente des courbes de réponses de l'amplificateur de puissance en fonction de la fréquence;

Et les fig. 8a, 8b, 8c, 8a', 8b', 8c', montrent les déformations de signaux carrés amplifiés par l'amplificateur de puissance de l'invention.

En se référant à la fig. 1, un amplificateur de puissance de l'art antérieur comprend essentiellement un étage préamplificateur 101, un étage déphaseur 102 et un étage de puissance à montage push-pull 103. Ses bornes d'entrée sont désignées par 31 et 32, ses bornes de sortie par 35 et 36; en outre on a désigné par 33 et 34 les bornes d'entrée de l'étage de puissance 103.

Le préamplificateur comprend un tube 3 et le déphaseur deux tubes 1 et 2. La grille de commande du tube 1 est reliée à l'anode du tube préamplificateur 3 par l'intermédiaire d'un condensateur de forte capacité 4. La grille du tube 2 est mise à la terre par l'intermédiaire d'un condensateur de forte capacité 5. Les deux tubes 1 et 2 ont une résistance de cathode commune 6.

Les grilles de commande des tubes 1 et 2 sont

polarisées par rapport à un point de potentiel positif fixe 7 pris sur un diviseur de tension 10-11, la première à travers les résistances 12 et 13, la seconde à travers la résistance 13.

Un circuit de contre-réaction ou de réaction négative part de la borne de sortie 35 et comprend le réseau passif à deux bornes 14 et la résistance de cathode 15 du tube préamplificateur 3.

8 et 9 désignent les résistances anodiques des tubes déphaseurs 1 et 2. Les tubes 1 et 2 sont identiques et la valeur des résistances 8 et 9 est la même. Si la valeur de la résistance 6 est suffisamment grande par rapport aux valeurs des résistances 8 et 9 et des résistances internes des tubes 1 et 2, on obtient aux bornes des résistances 8 et 9 des tensions qui, avec une certaine approximation, sont égales en amplitude et ont des phases opposées.

Ce résultat peut être démontré en se référant à la fig. 2 dans laquelle seuls les organes essentiels de la fig. 1 ont été conservés avec les mêmes numéros de référence.

Si on désigne par U la tension alternative appliquée à la grille de commande du tube 1, les courants I_1 et I_2 qui circulent respectivement dans les résistances 8 et 9 sont donnés par le système d'équations :

$$R + \rho + KR_c I_1 - KR_c I_2 - KU = 0 \quad (1)$$

$$KR_c I_1 - (R + \rho + KR_c) I_2 = 0 \quad (2)$$

dans lesquelles :

R = valeur commune des résistances 8 et 9;

R_c = valeur de la résistance commune 6 placée dans le circuit de cathode commun aux deux tubes 1 et 2;

ρ = valeur de la résistance interne des tubes 1 et 2;

K = coefficient d'amplification des tubes 1 et 2.

L'équation (2) qui peut s'écrire :

$$\frac{I_1}{I_2} = 1 + \frac{R + \rho}{KR_c}$$

montre que les deux intensités I_1 et I_2 ne peuvent jamais être égales; en d'autres termes, le déphaseur de la fig. 1 ne peut pas être parfaitement équilibré.

Ce déphaseur est approximativement équilibré si $(R + \rho)/KR_c$ est une quantité très petite; ce qui exige que la valeur R_c de la résistance 6 soit toujours très grande. Par exemple, si :

$$R = 30\,000 \text{ ohms} \quad \rho = 40\,000 \text{ ohms}$$

$$K = 70,$$

il faut donner à R_c la valeur de 100 000 ohms pour que le déséquilibre relatif $(I_1 - I_2)/I_2$ soit égal à 1/100.

Le gain en tension de chacun des tubes 1 et 2, c'est-à-dire le rapport :

$$G_D = \frac{RI_1}{U}$$

est approximativement égal à :

$$G_D \approx \frac{K}{2} \frac{1}{1 + \rho} \frac{1}{R}$$

Un amplificateur de puissance conforme à l'invention est représenté dans la fig. 3. Il comprend essentiellement un étage préamplificateur-déphaseur 104, un étage amplificateur en tension 105 et un étage de puissance à montage push-pull 103. Les bornes d'entrée de l'amplificateur, les bornes d'entrée de l'étage push-pull et les bornes de sortie de l'amplificateur sont, comme dans le cas de la fig. 1, désignées respectivement par 31-32, 33-34, 35-36.

Le préamplificateur-déphaseur comprend deux tubes 21 et 22. La grille de commande du tube 21 est connectée à la borne d'entrée 31. Le retour à la masse du courant grille de 21 s'effectue par la résistance 25. La grille de commande du tube 22 est connectée à la borne d'entrée 32, elle-même mise à la terre. Les circuits de cathode des deux tubes comprennent une résistance propre à chaque tube, résistance 18 et partie 16 du potentiomètre 20 en ce qui concerne le tube 21, résistance 19 et partie 17 de ce même potentiomètre en ce qui concerne le tube 22, et une résistance commune 26. Le potentiomètre 20 est destiné à corriger les légers défauts de symétrie qui peuvent exister entre les circuits des deux tubes 21 et 22.

Le circuit de contre-réaction part de la borne 35 et comprend le réseau à deux bornes 14, la résistance de cathode 18, la partie 16 du potentiomètre 20, et la résistance cathodique commune 26.

Les tensions de sortie du préamplificateur-déphaseur sont prélevées respectivement aux bornes des résistances anodiques 28 et 29 des tubes 21 et 22. Ces tensions sont appliquées respectivement aux grilles de commande des tubes 23 et 24 constituant l'amplificateur de tension 105. Ces deux tubes ont une résistance cathodique commune 27.

Les tensions de sortie de l'amplificateur de tension sont prélevées aux bornes des résistances anodiques 38 et 39 des tubes 23 et 24. Ces tensions de sortie sont respectivement appliquées aux bornes d'entrée 33 et 34 de l'étage de puissance à montage push-pull 103.

Dans la fig. 4, on a simplifié le schéma du préamplificateur-déphaseur 104 et de l'amplificateur de tension 105 en n'en conservant que les organes essentiels qui portent les mêmes numéros de référence que dans la fig. 3.

Si on désigne par U_e la tension alternative appliquée à l'entrée du déphaseur, sur la grille du tube 21, les courants I_1 et I_2 qui circulent respectivement dans les résistances 28 et 29 sont donnés par le système d'équations :

$$\begin{aligned} [R + \rho + K(R_K + R_c)]I_1 - KR_c I_2 \\ + K[R_K + R_c]I_3 - KU_e = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$KR_c I_1 - [R + \rho + K(R_K + R_c)]I_2 + KR_c I_3 = 0 \quad (4)$$

dans lesquelles :

R = valeur commune des résistances 28 et 29;

R_K = valeur commune des résistances 18 et 19 en y incorporant les résistances des branches 16 et 17 du potentiomètre 20;

R_c = valeur de la résistance 26;

ρ = valeur de la résistance interne des tubes 21 et 22;

K = coefficient d'amplification des tubes 21 et 22;

I_3 = courant de contre-réaction circulant dans la résistance de cathode 26 commune aux deux tubes 21 et 22 et dans la résistance de cathode 18-16 du tube 21.

Le système d'équations ci-dessus permet de mettre en évidence une des propriétés intéressantes du déphaseur de l'invention, à savoir que l'équilibrage de ce déphaseur peut être obtenu en réglant la valeur du courant de contre-réaction I_3 dans le circuit de cathode du tube 21.

En effet, si on fait $I_1 = I_2$ dans les équations précédentes, on obtient un système d'équations en I_1 et I_3 définissant l'état électrique du déphaseur lorsque celui-ci est équilibré. On a :

$$K[R_K + R_c]I_3 + [R + \rho + KR_K]I_1 - KU_e = 0 \quad (5)$$

$$KR_c I_3 - [R + \rho + KR_K]I_1 = 0 \quad (6)$$

Ces équations montrent que I_1 et I_3 sont données par les relations :

$$I_3 = \frac{1}{R_K + 2R_c} \cdot U_e \quad (7)$$

$$I_1 = \frac{KR_c}{[R + \rho + KR_K] \cdot [R_K + 2R_c]} \cdot U_e \quad (8)$$

Si U_e est la tension entre les bornes de sortie 35 et 36 de l'amplificateur de puissance et si Z est la valeur de l'impédance du réseau à deux bornes 14 destiné au réglage du taux de contre-réaction, la valeur du courant I_3 est égale à :

$$I_3 = \frac{1}{Z + R_K + R_c} \cdot U_e$$

Si G_A désigne le gain en tension de l'amplificateur de puissance pris dans sa totalité, on a :

$$G_A = \frac{U_s}{U_e}$$

et, par suite :

$$I_3 = \frac{G_A}{Z + R_K + R_c} U_e \quad (9)$$

Les relations (7) et (9) conduisent donc à l'expression suivante :

$$(G_A - 1)R_K + (2G_A - 1)R_c = Z \quad (10)$$

Si G_A est grand devant l'unité, on peut écrire sans grande erreur :

$$G_A R_K - 2R_c \approx Z.$$

La relation (7) montre que si l'on désire améliorer la courbe de réponse de l'amplificateur de puissance à l'aide d'une forte contre-réaction globale, il faut que la somme $(R_K - 2R_c)$ ait une valeur faible pour que le courant de contre-réaction I_3 soit suffisamment important.

Cette remarque met en évidence une différence essentielle entre le circuit déphaseur de l'invention et le déphaseur de l'art antérieur décrit ci-dessus. Il a été en effet montré que la résistance 6 du déphaseur de la fig. 2 était de l'ordre de 100 000 ohms. Au contraire, pour le déphaseur de l'invention, la résistance 26 de la fig. 4 est une résistance très faible de l'ordre de 100 ohms.

La relation (8) donne le gain du déphaseur. On a :

$$G_D = \frac{RI_i}{U_c} = \frac{K}{2} \cdot \frac{1}{\left[\frac{1+\rho}{R} + \frac{KR_K}{R} \right] \cdot \left[\frac{1+R_K}{2R_c} \right]}.$$

Pour se rendre compte de l'ordre de grandeur de G_D , on considérera l'exemple numérique suivant :

$$\begin{aligned} K &= 20, & \rho &= 7\,000 \text{ ohms} \\ R_K &= 500 \text{ ohms} & R_c &= 100 \text{ ohms} \\ R &= 70\,000 \text{ ohms} \end{aligned}$$

$$G_D = \frac{10}{1,2425 \cdot 3,5} = \frac{10}{4,35} = 2,3.$$

Pour le déphaseur de l'art antérieur, on aurait :

$$G_D = \frac{10}{1 + \frac{1}{10}} = 9,1.$$

Le gain du déphaseur de l'invention est environ quatre fois plus petit que celui du déphaseur de l'art antérieur muni des mêmes tubes; cette perte, inévitable du fait de l'application de la contre-réaction globale est facilement compensée par le gain de l'étage push-pull d'amplification de tension 105 qui fait suite à l'étage déphaseur. Il convient de remarquer que pour ledit étage amplificateur de tension, la résistance de cathode 27, du fait qu'elle est commune aux deux tubes 23 et 24, n'introduit pas de contre-réaction et que, par suite, le gain en tension de l'étage considéré est donné par la relation :

$$G_P = K_a \cdot \frac{1}{1 + \frac{\rho_o}{W}}$$

dans laquelle :

W = valeur commune des résistances 38 et 39;

K_a = coefficient d'amplification des tubes 23 et 24;

ρ_o = résistance interne commune des tubes 23 et 24.

Par exemple, si $K_a = 100$ $\rho_o = 60\,000$ ohms
 $W = 180\,000$ ohms

$$G_P = \frac{100}{1,333} = 75.$$

Le gain en tension de l'ensemble déphaseur et étage d'amplification en tension est donc :

$$G_T = G_P \times G_D = 172,5.$$

L'étage de puissance 103 de la fig. 3 comporte deux tubes pentodes 41 et 42 dont les anodes sont connectées aux extrémités de l'enroulement primaire 37 d'un transformateur d'adaptation 30 à la résistance d'utilisation 43.

Cet enroulement 37 comporte un point milieu 44 en relation avec la haute tension; il comprend également deux autres prises 45 et 46 disposées de part et d'autre du point milieu 44 et connectées respectivement aux grilles écrans des pentodes 41 et 42.

L'enroulement secondaire 40 du transformateur 30 débite dans la résistance d'utilisation 43.

Les cathodes des deux tubes 41 et 42 sont en série avec un potentiomètre 47 de symétrisation des tubes dont la curseur est connecté à un dispositif de polarisation automatique constitué par une résistance 48 et un condensateur électrolytique 49.

Les condensateurs de couplage 50 sont reliés respectivement aux grilles de commande des pentodes par les résistances 51. Le retour à la masse des courants grille est assuré par les résistances 56.

L'amplificateur de puissance pris comme exemple comporte plusieurs boucles de contre-réaction. A savoir :

a. Une boucle sur chaque pentode : constituée par les résistances 52.

Le taux de contre-réaction de ces boucles est, par exemple, de l'ordre de deux décibels.

b. Une boucle reliant le circuit anodique d'une des pentodes 41 et 42 à la grille de commande d'un tube de l'étage amplificateur en tension. Ces boucles sont croisées afin de respecter les phases; autrement dit, la pentode 41 agit sur la grille de commande du tube 24 et la pentode 42 agit sur la grille de commande du tube 23.

Ces boucles de contre-réaction comprennent chacune une résistance 53. Les taux de contre-réaction produits par ces boucles sont, par exemple, de l'ordre de quatorze décibels; ce qui a pour effet de réduire de 5 à 1 la distorsion de l'ensemble de l'étage amplificateur en tension et de l'étage de puissance. D'autre part, la stabilité des déphasages est ainsi assurée, ce qui permet d'obtenir une très grande latitude pour le choix de la résistance 26 du déphaseur.

c. Une boucle de contre-réaction globale comprenant le réseau 14 dont il a déjà été question lors de la description du circuit déphaseur, objet de l'invention.

La structure du réseau à deux bornes 14 de la fig. 3 est ici précisée. Elle comporte une résistance 54 en parallèle avec un condensateur 55.

Le taux de contre-réaction de cette dernière boucle est, par exemple, de l'ordre de vingt-deux décibels.

La distorsion subsistant malgré l'action des boucles de contre-réaction sus-mentionnées aux paragraphes (a) et (b), est divisée par dix.

Les courbes de la fig. 5 donnent les performances de l'amplificateur de puissance de la fig. 3 au point de vue de la distorsion harmonique en fonction de la valeur R_c de la résistance 26 du déphaseur pour la fréquence 1 000 c/s, lorsque l'amplificateur débite une puissance de 10 watts.

La courbe est 56 celle que l'on obtient pour les taux de contre-réaction normaux donnés plus haut :

Boucles (a) = 2 décibels,

Boucles (b) = 14 décibels,

Boucle (c) = 22 décibels.

La courbe 57 est obtenue avec les taux de contre-réaction ci-dessous :

Boucles (a) = 6 décibels,

Boucles (b) = 0 décibel,

Boucle (c) = 28 décibels.

La courbe 58 correspond aux taux de contre-réaction ci-dessous :

Boucles (a) = 6 décibels,

Boucles (b) = 0 décibel,

Boucle (c) = 28 décibels.

Comme on le voit, les valeurs minimum du taux de distorsion harmonique correspondent toutes à la même valeur de résistance $R_c = 80$ ohms : c'est pour cette valeur que le déphaseur est équilibré.

Les courbes de la fig. 6 sont relatives au taux de distorsion harmonique globale de l'amplificateur de puissance en fonction de la puissance débitée pour différentes fréquences lorsque la résistance R_c est égale à 80 ohms.

La courbe 59 a été relevée à la fréquence 60 c/s, la courbe 60 à la fréquence 1 kc/s et la courbe 61 à la fréquence 10 kc/s.

Les courbes de la fig. 7 donnent les réponses de

l'amplificateur de puissance en fonction de la fréquence pour différentes puissances de sortie.

La courbe 62 est relative à une puissance de sortie de 1 watt, lorsque le condensateur 55 de la fig. 3 est supprimé. La courbe 63 est également relative à une puissance de sortie de 1 watt, quand le condensateur 55 est connecté aux bornes de la résistance 54.

Les courbes 64 et 65 ont été relevées pour des débits respectifs de 2,5 et 7 watts, la résistance 54 et le condensateur 55 étant connectés en parallèle.

Pour terminer, il convient de mentionner que l'amplificateur de puissance décrit ci-dessus, amplifie les signaux carrés en les déformant très peu, comme le montrent les fig. 8_a, 8_b, 8_c relatives aux signaux d'entrée et 8_{a'}, 8_{b'}, 8_{c'}, relatives aux signaux de sortie correspondants qui sont des relevés oscillographiques pour 30 c/s, 1 000 c/s, 10 000 c/s.

Comme on le voit, les déformations commencent à apparaître lorsque les signaux carrés ont des fréquences dépassant 10 kc/s. D'autre part, la résistance R_c qui équilibre le déphaseur peut varier autour de 80 ohms dans l'intervalle 0—240 ohms sans altérer la forme desdits signaux carrés lorsque les taux de contre-réaction sont convenablement dosés.

RÉSUMÉ

La présente invention concerne un dispositif déphaseur pour amplificateur de puissance à montage push-pull et à contre-réaction qui comprend deux tubes identiques ayant des résistances anodiques égales et des résistances cathodiques composées d'une première partie propre à chaque tube et d'une deuxième partie commune aux deux tubes et une boucle de réaction comprenant un réseau de réaction et la résistance propre à l'un des deux tubes et la résistance commune aux deux tubes. Ce dispositif déphaseur joue en même temps le rôle de préamplificateur.

PIERRE LOYEZ.

Par procuration :

René MARTINET.

Fig. 1

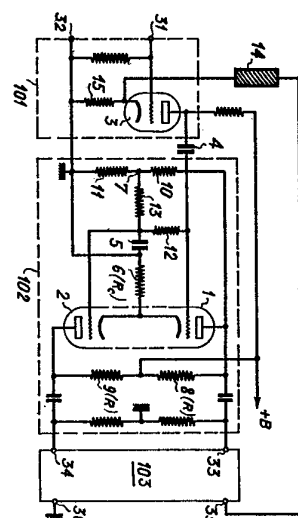


Fig. 2

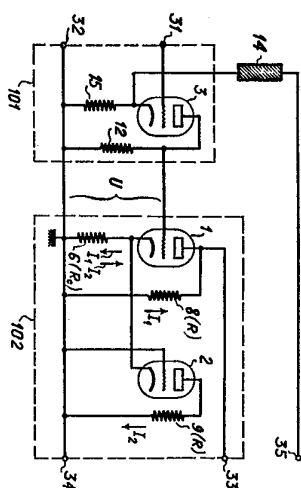


Fig. 3

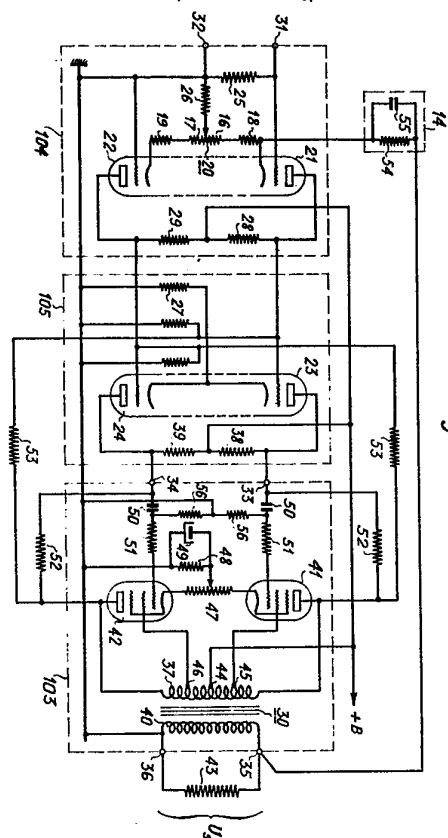


Fig. 1

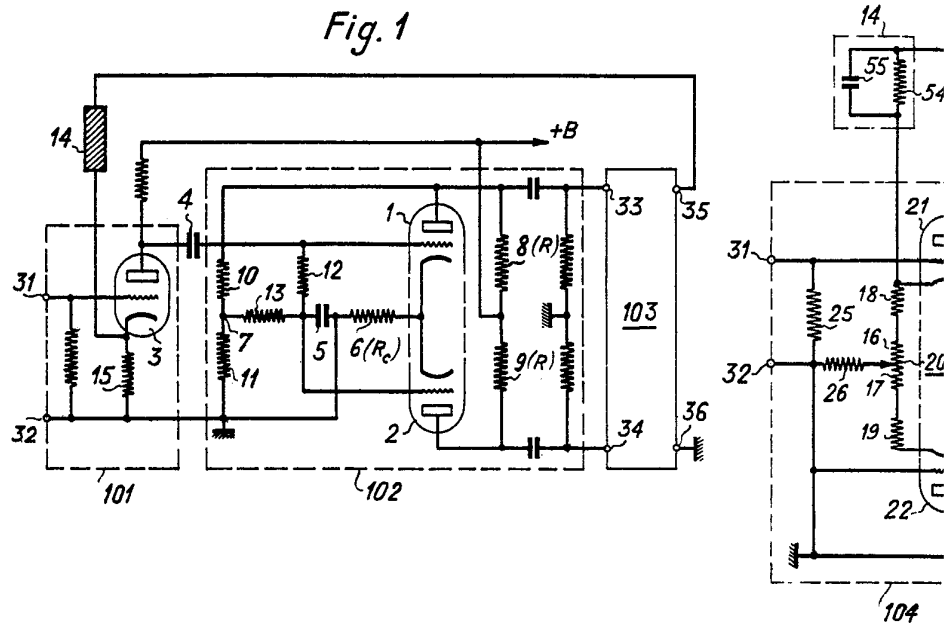


Fig. 2

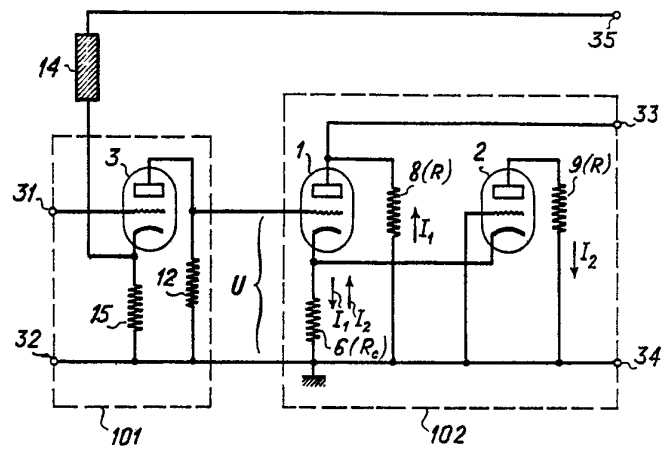
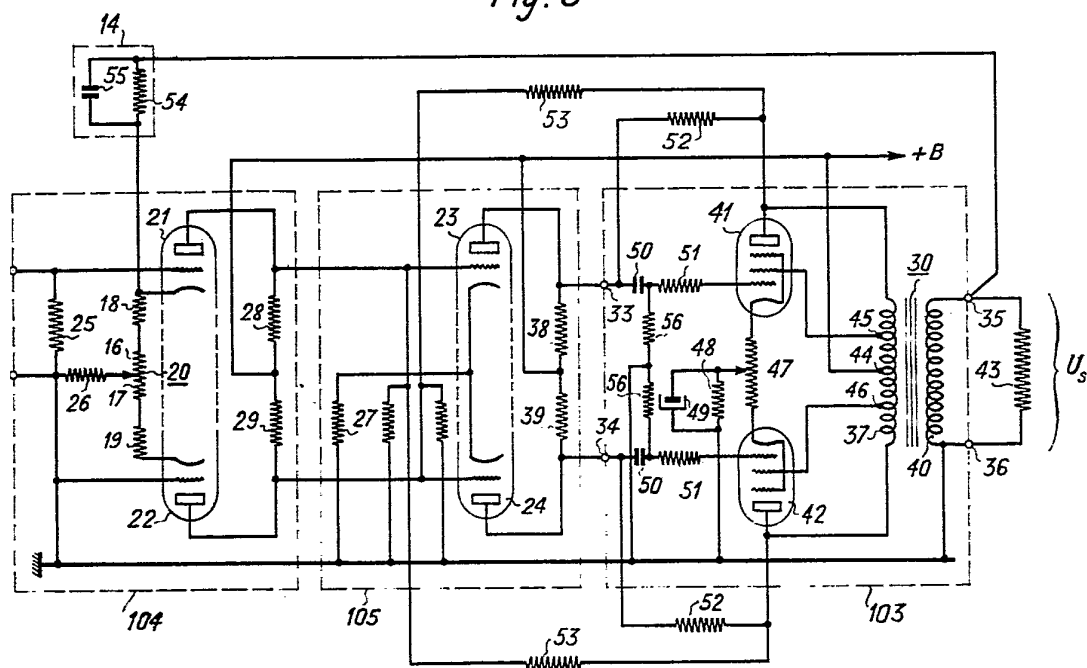


Fig. 3



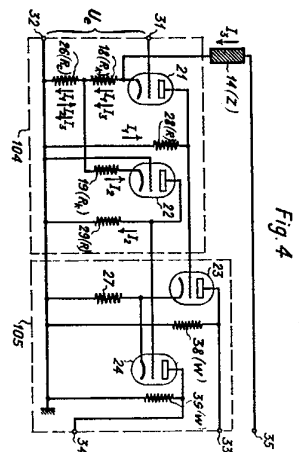


Fig. 4

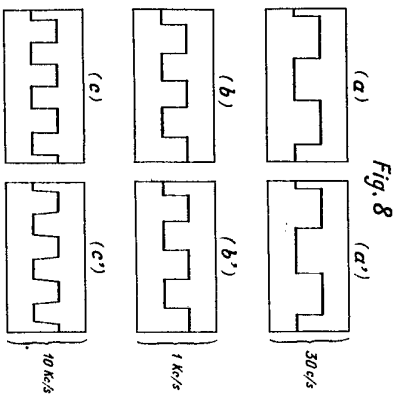


Fig. 8

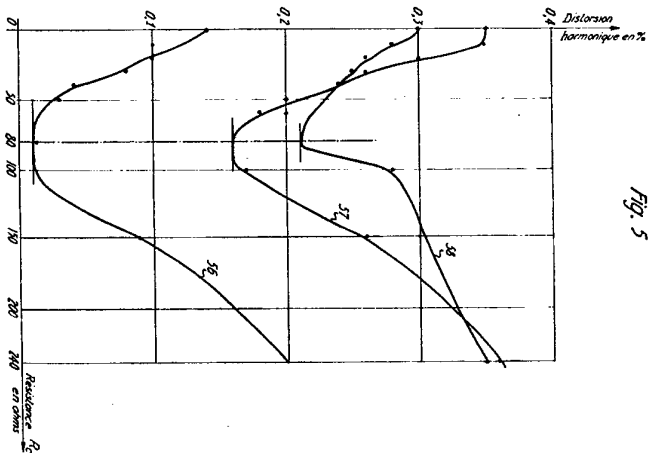


Fig. 5

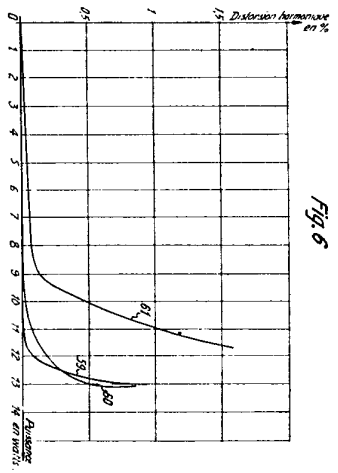


Fig. 6

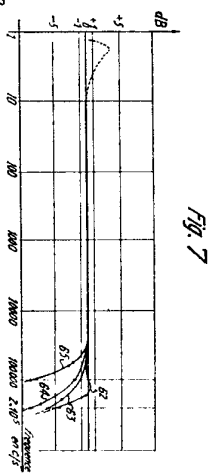


Fig. 7

Fig. 4

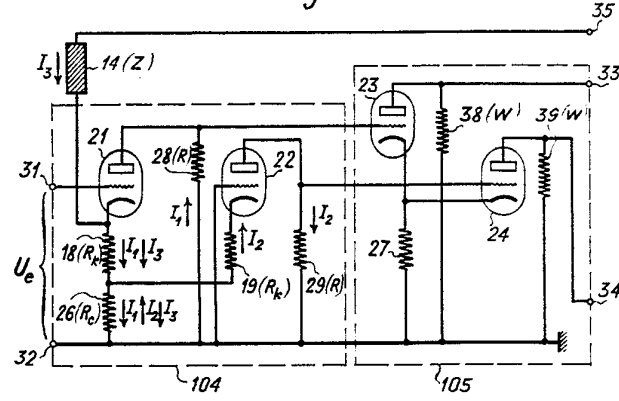


Fig. 5

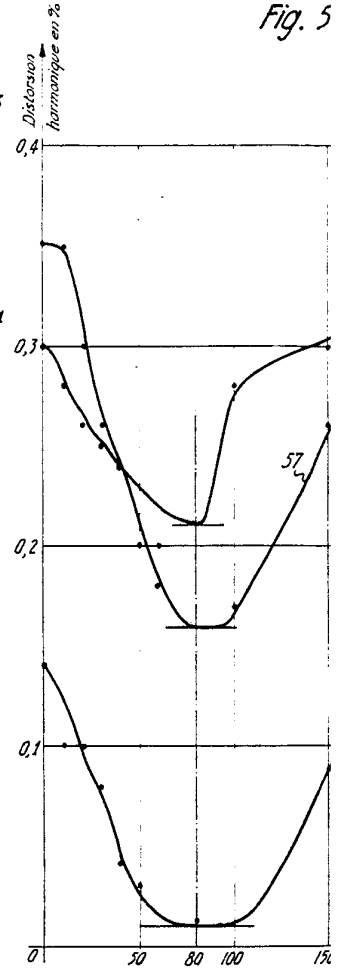


Fig. 8

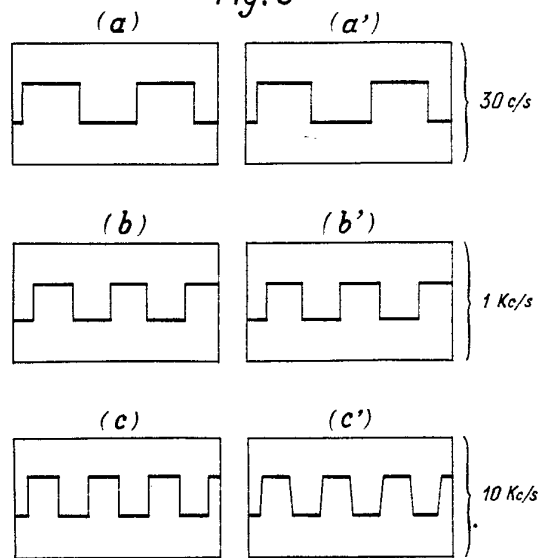


Fig. 5

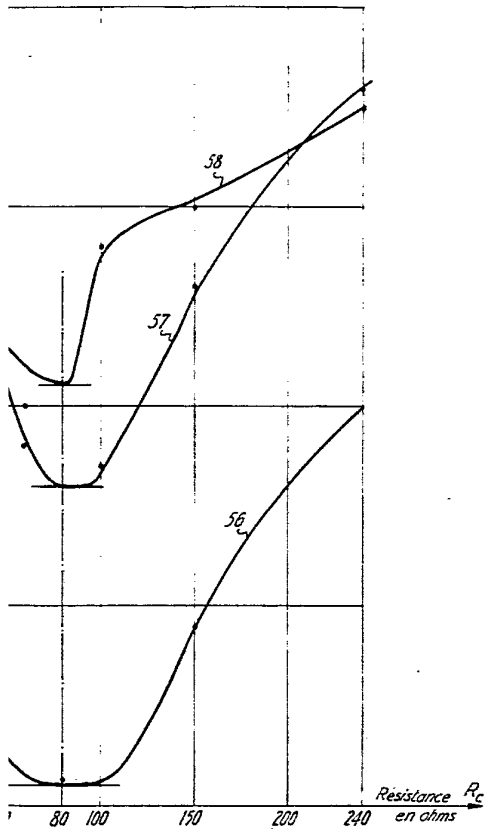


Fig. 6

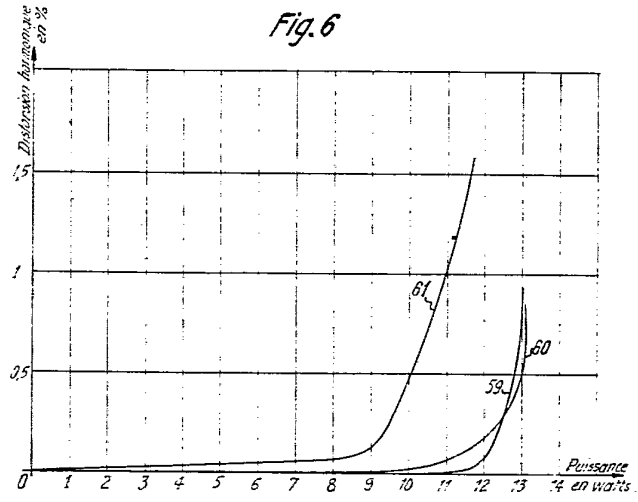


Fig. 7

