

7. les générateurs à basse fréquence

IL ne viendrait pas à l'idée d'un amateur sérieux venant, tout juste, de terminer la réalisation d'un amplificateur à haute fidélité, de brancher des enceintes et une table de lecture et de mettre en route l'ensemble pour voir « si ça marche ».

La prudence commande qu'après l'indispensable contrôle visuel et la vérification du sens de branchement des interconnexions essentielles, l'on fasse un essai de fonctionnement sur charge résistive en simulant les signaux d'entrée par un générateur approprié, dit générateur BF (basse fréquence) ou AF (audio-fréquences). On pourra alors apprécier, en conjonction avec un bon voltmètre de sortie, la puissance, la linéarité, le gain, la bande passante, l'action des commandes... etc.

Ce n'est qu'après avoir constaté que les paramètres essentiels sont à l'intérieur d'une marge préalablement spécifiée que l'on pourra déclarer l'appareil bon pour le service.

Un générateur BF précis, stable et bien conçu, dans une gamme de quelques Hz à 100 kHz environ, au niveau de sortie variable, calibré sur une impédance donnée, avec une très faible distorsion harmonique et un bruit négligeable est un appareil onéreux que l'on hésitera à acheter, surtout si son utilisation n'est pas fréquente, en dépit de l'intérêt technique qu'il présente.

La construction d'un très bon générateur peut poser quelques problèmes à l'amateur ; les plus adroits et les mieux outillés pourront y parvenir en s'armant de patience et de minutie.

Cependant, un générateur très performant n'est pas toujours indispensable. Cela est vrai, notamment, pour les propriétaires de chaînes haute fidélité pour lesquels une rapide vérification de leur installation par un dispositif très simple suffira amplement surtout s'ils ne désirent pas « bricoler la BF » dans le détail, ou les fervents amateurs de l'expérimentation qui ne souhaitent pas immobiliser un générateur pour des essais élémentaires.

Afin de satisfaire les amateurs pointilleux et... les autres, nous avons entrepris la description de quelques appareils à construire soi-même ou à acheter dans le commerce.

Nous commencerons par les plus simples, ce qui permettra d'entrer progressivement dans le sujet, pour terminer par un générateur plus élaboré destiné à répondre aux exigences les plus sévères.

Afin de bien poser le problème essentiel des niveaux, nous recommandons au lecteur de se reporter au petit diagramme de la figure 1 qui définit les valeurs à prendre en considération dans une chaîne d'amplification à audio-fréquences. Les valeurs indiquées varient évidemment en fonction des appareils de l'entrée choisie (PU, micro, radio...) et de la puissance de sortie.

SOURCE DE TENSION À 50 Hz

Puisque la fonction d'un générateur BF est de fournir une tension alternative de valeur efficace et de fréquence connues, il est lo-

gique de penser à utiliser le secteur comme source, bien que la fréquence de celui-ci soit un peu basse et que sa tension ne soit pas très précise, pour la plupart des applications envisagées.

En réalité, la simplicité et le faible coût de réalisation d'une telle source de tension en font un appareil très attrayant malgré ses imperfections. Le schéma de la figure 2 représente une réalisation de ce genre.

On utilise un transformateur d'alimentation classique, par exemple récupéré sur un vieux poste à tubes possédant un enroulement de 6,3 V eff (le débit importe peu).

On réalise un double diviseur de tension au moyen des résistances R1, R2 et R3. Un commutateur simple à deux directions permet d'obtenir une tension « forte » de l'ordre de 0,1 V, ou « faible » de 10 mV.

On notera la faible valeur de l'impédance de sortie (10 Ω ou 100 Ω) qui rendent cet appareil insensible à la charge extérieure. Par ailleurs, un court-circuit en sortie ne détruit pas les résistances.

On utilisera, de préférence, un transformateur possédant un écran électrostatique, et l'ensemble sera contenu dans un coffret métallique pour éviter le rayonne-

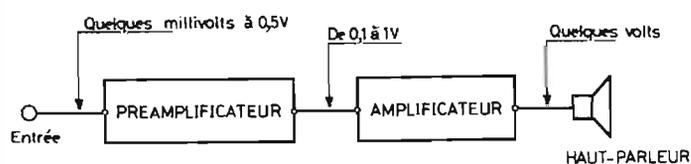


Fig. 1 - Domaines des tensions de signal dans une chaîne d'amplification A.F.

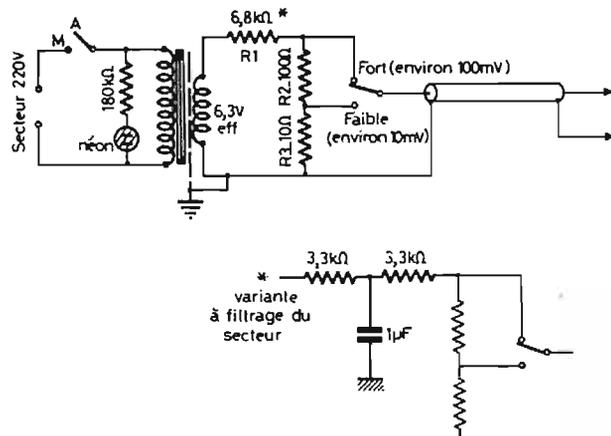


Fig. 2 - Une source de tension 50 Hz à partir du secteur.

ment direct du transformateur vers l'appareil en essai, ce qui fausserait les mesures.

Les amateurs pourront utiliser cette source pour apprécier l'efficacité des commandes « grave » d'un amplificateur Hi-Fi. Afin de débarrasser le secteur des signaux parasites à fréquence élevée qu'il véhicule en permanence, il est préconisé de scinder la résistance R1 en deux résistances de 3,3 kΩ en série et de disposer un condensateur de 1 μF (mylar) entre le point commun des deux résistances et la masse : on aura ainsi une sinusoïde à peu près propre en sortie.

La sortie est réalisée pour une installation monophonique mais on peut, bien sûr, la rendre stéréophonique en branchant deux câbles blindés et un commutateur « gauche/droite » supplémentaire.

UN GADGET SIMPLE ET POURTANT FORT UTILE

Cet accessoire que l'on aura du mal à identifier à un générateur est basé sur le principe de la décharge d'un condensateur dans

une résistance, ce qui provoque un claquement caractéristique dans le haut-parleur associé à l'amplificateur essayé. On sait que ce phénomène est à l'origine des fameux bruits de commutation très gênants dans la pratique courante ; il est ici domestiqué pour les besoins de l'amateur...

Le détail est indiqué sur la figure 3. Un condensateur C préalablement chargé par la pile de f.e.m. E est, par le jeu du commutateur S1, déchargé dans une résistance R. La charge du condensateur était à l'origine proportionnelle à la tension E ; elle décroît exponentiellement jusqu'à zéro avec une constante de temps égale à RC. On crée ainsi une sorte d'impulsion dont la tension crête et la largeur, fixées par R, C et E sont parfaitement définies.

Si l'on branche l'appareil à l'entrée d'un amplificateur que l'on désire vérifier, et que l'on manœuvre le commutateur S1, on entendra un bruit sec très caractéristique. Il suffit de prévoir un jeu de résistances pour obtenir, par division, la tension désirée. Dans l'exemple que nous proposons, cette valeur a été arbitrairement fixée à 15 mV crête.

Un commutateur G/D autorise le contrôle de chacune des voies d'un amplificateur stéréophonique.

On voit que sous un volume très réduit on dispose d'un système de vérification simple et assez complet puisqu'il donne une tension calibrée, permet l'essai global de l'amplification, le réglage précis de la balance, l'appréciation du « rendu » des fréquences élevées et l'action de la commande d'aigü.

Il est superflu d'insister sur le détail de la réalisation d'un tel dispositif comprenant un petit coffret métallique sur lequel sont montés les deux commutateurs S1 et S2 (voir figure). Une pile bâton de 1,5 V de petit modèle ou même une petite pile au mercure analogue à celles qui sont utilisées pour les cellules d'appareils photographiques, fournira l'énergie nécessaire à la charge du condensateur. Le commutateur S1 sera de préférence à rappel : sa position repos correspondant à la charge. La résistance de 100 ohms en série avec la pile limite le courant de charge instantané et les conséquences d'un court-circuit accidentel. Sa présence n'est pas indispensable,

sauf s'il est fait usage d'une pile au mercure.

La figure 4 représente une version différente du générateur d'impulsions stéréo. On utilise un commutateur double inverseur et deux condensateurs distincts.

Sur l'une quelconque des positions de l'inverseur, par exemple la position G, le condensateur Cd se charge à la tension de la pile avec une très faible constante de temps, alors que Cg a une charge nulle. Si l'on bascule l'inverseur sur l'autre position D, Cd se déchargera brusquement dans les résistances R1d et R2d, ce qui fera apparaître une brève impulsion à l'entrée de la voie droite. Dans le même temps, le condensateur Cg, préalablement déchargé, sera commuté en charge, de sorte qu'après un nouveau basculement de l'inverseur, le phénomène symétrique sur la voie gauche se produira.

Cette version a l'avantage d'être un peu plus simple que la précédente. Elle nécessite un très bon inverseur et une paire de condensateurs rigoureusement de même valeur. On trouvera, sur la figure 4, le plan de câblage correspondant.

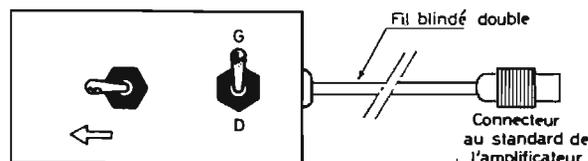
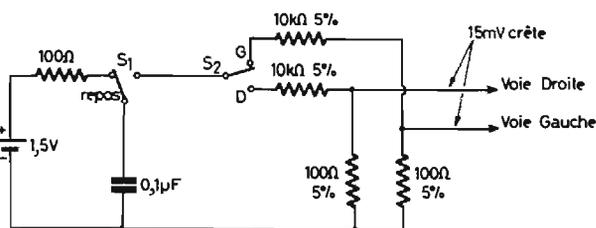
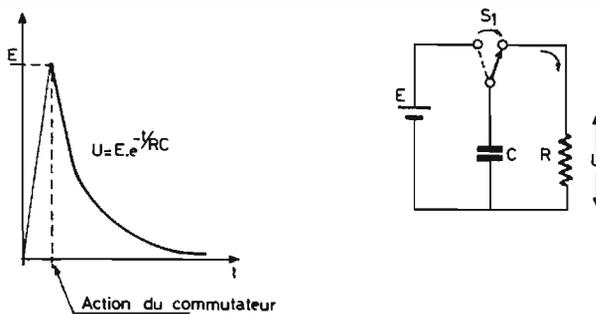


Fig. 3 - Le générateur de « TAC ».

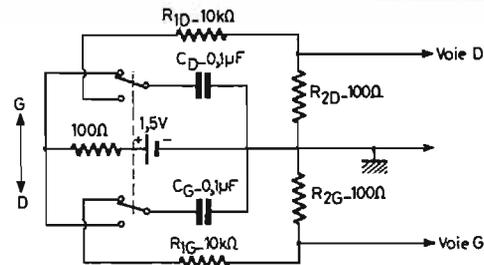


Fig. 5 - Principe du fonctionnement d'un oscillateur sinusoïdal.

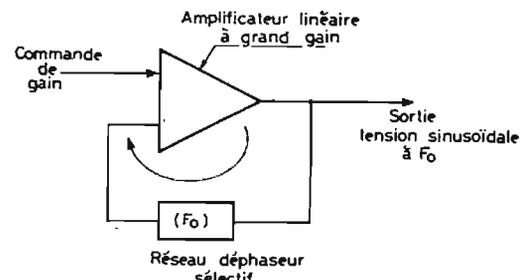


Fig. 4 - Autre version du générateur de « TAC ».

OÙ L'ON PARLE ENFIN DE VRAIS GÉNÉRATEURS !

Les descriptions précédentes, plutôt destinées à rendre service aux « fanas » de la Hi-Fi, pourront faire sourire quelques électroniciens chevronnés. Ceux-ci s'intéresseront de préférence à des appareils fournissant une tension sinusoïdale aussi pure que possible avec un niveau donné.

Pour ne pas, dès l'abord, entreprendre la description d'un appareil sophistiqué, nous avons limité notre ambition à quelques générateurs à fréquences fixes qui sont tout de même faciles à réaliser, mais dont les performances sont comparables, sur une fréquence donnée, à celles d'appareils professionnels.

La quasi totalité des générateurs BF du commerce fait appel à des circuits RC, ce qui est un avantage puisque ces composants sont assez répandus et économiques, même avec des tolérances étroites.

Rappelons-en le principe général de fonctionnement (voir figure 5). L'oscillateur est constitué essentiellement par un amplificateur linéaire à large bande et à grand gain (ajustable). Si l'on réunit la sortie à l'entrée de façon à ramener en phase la tension de réinjection, on tend à rendre infini le gain de la boucle ainsi constituée et une oscillation prend naissance. Si cette oscillation n'est pas contrôlée en fréquence et en amplitude, on aura une forme barbare car l'appareil sera saturé. Les expérimentateurs malchanceux d'amplificateurs qui ont connu les affres de l'accrochage savent combien sont peu harmonieux les sons produits par une chaîne en auto-oscillation.

L'insertion d'un réseau RC déphaseur et atténuateur dans la boucle de réinjection permet d'apaiser cette impétuosité et d'imposer au montage d'osciller uniquement sur une fréquence de prédilection définie par le choix des valeurs des composants du réseau. Le contrôle du niveau qui donnera au signal sa forme sinusoïdale est assuré par la commande de gain.

On verra plusieurs applications de ce principe dans les montages suivants qui font appel à des configurations de réseau différentes.

OSCILLATEUR SINUSOIDAL À 1 kHz

Le schéma de principe est représenté sur la figure 6. Le réseau déphaseur est constitué d'un double circuit en T dont les propriétés sont bien connues des techniciens :

- l'atténuation est maximale pour la fréquence F_0 ,
- le déphasage change de signe à cette fréquence.

La fréquence caractéristique F_0 est définie par la valeur des composants RC du filtre. Le plus généralement, on choisit des valeurs symétriques, comme indiqué sur la figure, de sorte que l'on obtient :

$$F_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

La courbe de réponse de transmission du filtre présente un creux très prononcé à la fréquence F_0 . Ainsi, à cette fréquence, le gain de l'amplificateur est maximal, ce qui, en conjonction avec le changement de signe de la phase, produit et entretient une oscillation sinusoïdale très pure si l'amplificateur n'est pas saturé, et très stable puisqu'elle ne dépend que des éléments R et C du filtre.

Nous avons représenté sur la figure 7 deux versions simples de réalisation d'un oscillateur 1 kHz à double T.

Sur la figure 7a, on trouvera une version simplifiée alimentée par une pile plate de 4,5 V. Les deux transistors T1 et T2 (NPN à grand gain du type 2N2222, 2N3391A, BC109 ou équivalents) sont montés en cascade, en liaison directe : T1 est à émetteur commun et T2 à collecteur commun. Le filtre se place entre l'émetteur de T2 (sortie à très basse impédance) et la base de T1.

Les composants du filtre seront choisis dans une série à 10 % ou 5 % pour les condensateurs et 5 % pour les résistances. Les amateurs pointilleux pourront ajuster avec précision la fréquence à 1 000 Hz en jouant sur la résistance de 5,6 k Ω du filtre. On peut d'ailleurs noter que, sur l'exemple que nous donnons cette valeur est inférieure à celle que donne le calcul : ceci pour tenir compte de l'impédance de base de T1 qui n'est pas assez élevée pour ne pas avoir d'influence sur F_0 .

L'émetteur de T1 comporte une résistance de 100 Ω ajustable qui permet de régler la valeur de la tension de sortie à 100 mV eff.

Dans ce cas, l'amplificateur n'est pas saturé et le signal de sortie a une distorsion harmonique inférieure à 0,5 %.

On notera que la polarisation de la base de T1 est assurée par la tension continue de l'émetteur de T2, ce qui favorise la stabilité du point de fonctionnement. Ce sont les deux résistances de 18 k Ω du filtre qui limitent le courant base : le circuit est donc particulièrement stable et simple.

La sortie, prélevée sur l'émetteur de T2 à travers un condensateur de 5 μ F, comporte un atténuateur rudimentaire à deux positions (10 mV et 100 mV) et un potentiomètre qui assure un réglage progressif ; l'impédance de sortie n'est jamais supérieure à 500 ohms.

L'alimentation est filtrée par une cellule RC banale qui annule les effets de la variation d'impédance de la pile lorsque celle-ci est un peu usée.

Sur la figure 7b on a représenté une version un peu plus élaborée du montage précédent. Le principe est rigoureusement le même. Seules quelques valeurs de résistances ont été modifiées pour tenir compte de l'augmentation de la tension d'alimentation à 9 V.

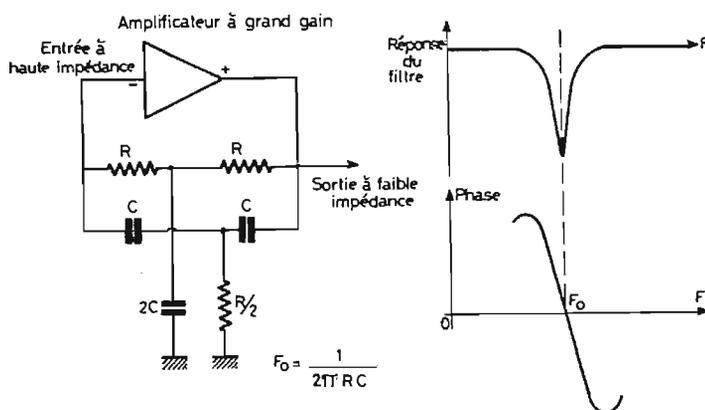


Fig. 6 - Oscillateur à double T. Principe.

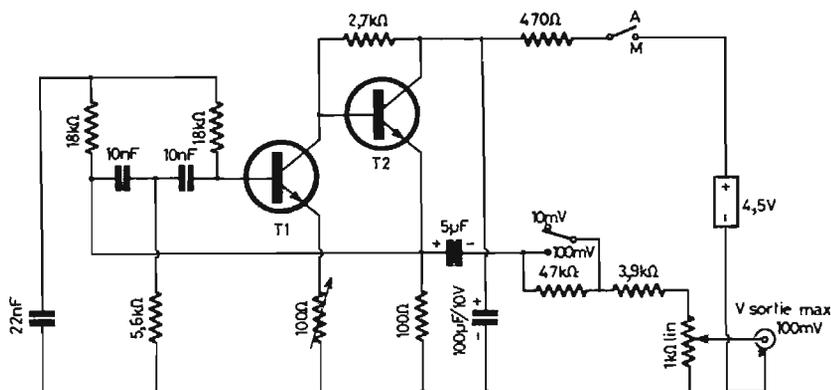


Fig. 7 - Générateur 1 kHz à double T.

L'atténuateur de sortie est plus complet : il comporte trois positions fixes à 5 mV, 50 mV et 500 mV. La distorsion harmonique typique est de 0,3 %.

La simplicité de ces oscillateurs est telle que nous n'avons pas cru devoir indiquer un plan de câblage. Nous laissons ce soin aux lecteurs intéressés, ce qui constituera, pour les plus débutants, un très bon exercice de définition de câblage surtout si ce dernier est prévu sur une carte imprimée.

UN GENERATEUR A 5 FREQUENCES

Pour la plupart, les générateurs RC modernes utilisent un oscillateur à pont de Wien. Ce filtre, plus simple que le double T, comprend deux résistances et deux condensateurs R_s, C_s, R_p, C_p , disposés comme sur la figure 8. Le déphasage est optimal et la transmission est maximale à travers le filtre à la fréquence F_0 telle que

$$F_0 = \frac{1}{2\pi R_p R_s C_p C_s}$$

ou, si $R_p = R_s$ et $C_p = C_s$:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

(comme pour le double T)

Il convient, pour obtenir un fonctionnement correct, d'utiliser un amplificateur à deux entrées en opposition de phase (amplificateur différentiel). Le filtre est monté entre la sortie (phase +) et l'entrée (phase +) constituant ainsi une cellule de réaction positive. Le contrôle de l'amplitude de sortie se fait en disposant une « contre-réaction » entre la sortie et l'entrée (phase -) par R_g et R_l ; c'est le dosage de ces deux rétro-actions qui rend l'oscillation propre et stable en tension et en fréquence.

En fait, la stabilisation de l'amplitude est un problème plus ardu qu'il n'y paraît et l'on est amené à choisir une valeur de R_g (réglage du gain) particulière afin de se maintenir à la limite de l'accrochage. De plus, la résistance R_l doit être variable de façon à croître si la tension de sortie et, donc, le courant qui traverse R_l augmente. Ainsi la tension de sortie se trouve stabilisée quelles que soient les sollicitations extérieures puisque l'augmentation de R_l a pour conséquence une diminution du gain (accroissement de la contre-réaction). On utilise souvent une lampe à filament de

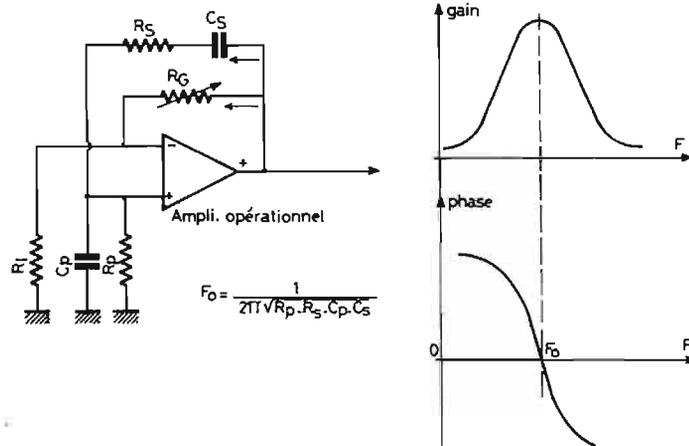
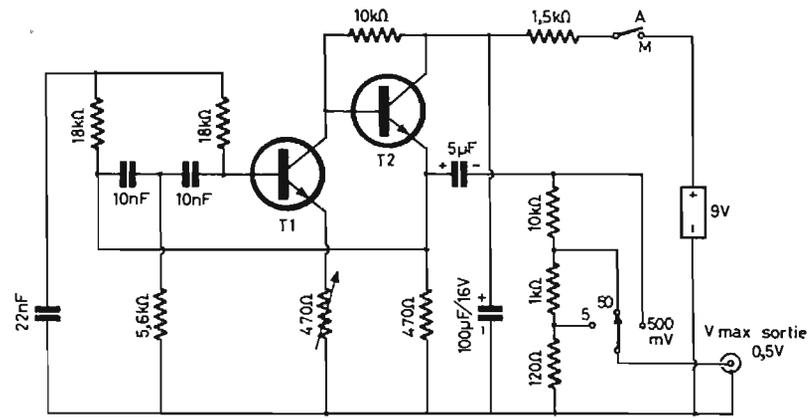


Fig. 8 - Oscillateur à pont de Wien. Principe.

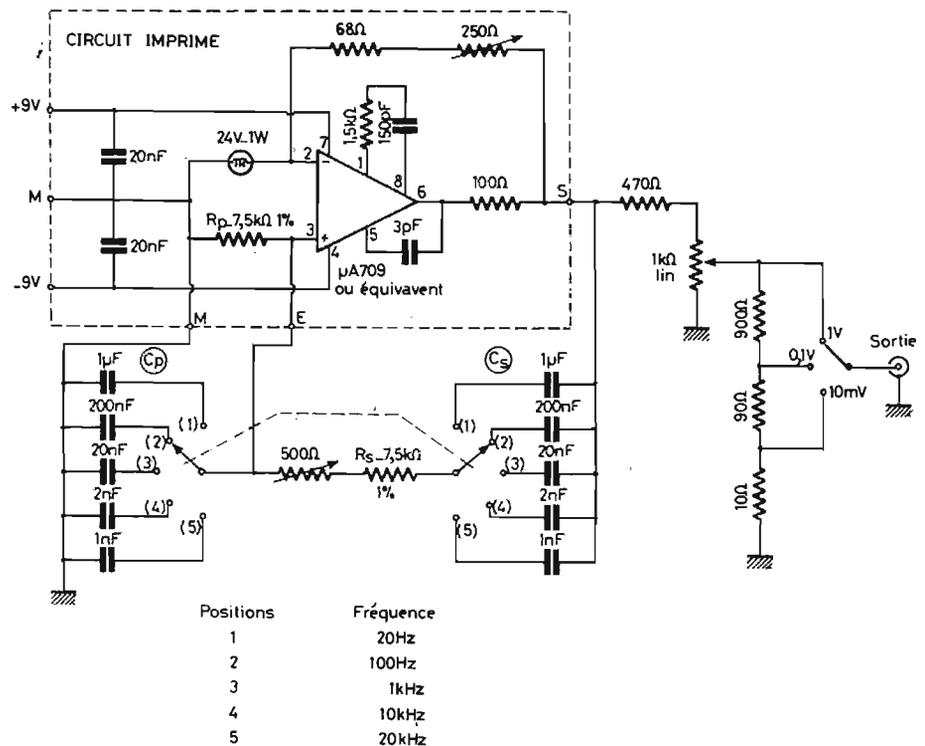


Fig. 9 - Schéma du générateur à cinq fréquences.

tungstène comme élément stabilisateur.

La figure 9 représente le schéma électrique de l'appareil.

L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré linéaire bien connu, le μA 709 ou ses équivalents. Ce circuit doit être alimenté en tensions symétriques par rapport à la masse.

Le réseau de réaction comprend deux résistances R_p et R_s fixes de 7,5 k Ω et une double série de cinq condensateurs commutables, C_p et C_s , entre 1 nF et 1 μF , ce qui donne cinq fréquences d'oscillation comprises entre 20 Hz et 20 kHz. Une résistance ajustable de 500 Ω , en série avec R_s , permet de régler la fréquence de 1 000 Hz avec précision.

On pourrait, naturellement, obtenir un plus grand nombre de fréquences avec un commutateur comportant plus de cinq positions sur chacun de ses deux circuits; il suffirait d'appliquer pour chaque cas la formule :

$$C = \frac{1}{6,28 F_o \cdot R}$$

qui donne avec $R = 7,5$ k Ω et C en nanofarads :

$$C = \frac{21300}{F_o \text{ (Hertz)}}$$

Les composants montés entre (5) et (6) : 3 pF, et entre (7) et (8) : 1,5 k Ω et 150 pF en série, sont destinés à corriger la réponse en fréquence de l'amplificateur pour la rendre aussi linéaire que possible et éviter l'apparition d'oscillations parasites à haute fréquence.

La résistance de 100 Ω en série avec la sortie (6) est une protection du circuit intégré contre les courts-circuits accidentels qui risqueraient de le détruire.

La réaction négative est fournie entre la sortie et l'entrée négative (2) par les résistances de 250 Ω (variable) et 68 Ω en série. La stabilisation d'amplitude est assurée par une lampe de 24 V, 1 W, du type « midget » placée entre l'entrée (2) et le commun de l'alimentation.

La tension de sortie sera ajustée par la résistance de 250 Ω de façon à obtenir 1,5 V eff au point S.

L'atténuateur de sortie comporte :
— un potentiomètre de 1 000 ohms, linéaire,
— un commutateur à trois positions.

La tension de sortie peut se régler progressivement de 0 à 1 V, 0 à 100 mV ou 0 à 10 mV, suivant

la position du commutateur. L'amplitude reste stable à ± 1 dB quelle que soit la position du commutateur de fréquences et l'éventuelle variation des tensions d'alimentation si celles-ci n'excèdent pas 10 à 15 %. La distorsion harmonique typique est voisine de 0,2 %. On peut obtenir une valeur encore plus faible, si nécessaire, en diminuant de moitié la tension d'oscillation par la résistance de contre-réaction.

Pour avoir une totale autonomie, l'alimentation symétrique peut être assurée par des piles de 4,5 V groupées comme il est montré sur la figure 10. Une alimentation secteur est également proposée à partir d'un transformateur donnant 2 x 6,3 V eff. Le débit est de l'ordre de 20 mA. Il est essentiel, pour la stabilité HF que les deux tensions de +9 V et -9 V soient découplées par des condensateurs de 20 nF montés près du circuit intégré.

La figure 11, enfin, donne des indications utiles pour la réalisation de ce petit appareil, notamment le dessin du circuit imprimé qui supporte le circuit intégré et ses composants associés (zone entourée d'un cadre pointillé sur la figure 9). Le câblage interne au coffret n'a pas été représenté : on veillera à ce que les connexions entre la carte imprimée et les éléments actifs extérieurs (commutateur, atténuateur de sortie) soient aussi courtes que possible. Les piles seront disposées debout sur deux rangs au fond du coffret

auquel elles seront assujetties par un bracelet de caoutchouc.

L'appareil ne comporte pas de mise au point particulière, à l'exception du réglage de fréquence à 1 000 Hz par la résistance ajustable de 500 Ω , et de l'amplitude au moyen de l'ajustable de 250 Ω .

QUELQUES COMPLEMENT UTILIS

Les amateurs disposant de générateurs commerciaux récents ou anciens et souhaitant perfectionner leur appareil, pourront s'inspirer de l'atténuateur à impédance constante et des commutateurs de sortie stéréo qui sont décrits ci-après. Ces dispositifs peuvent être extérieurs aux générateurs.

L'ATTENUATEUR CALIBRE

Lorsque l'on désire faire des mesures précises, il est souvent utile de disposer d'une source de tension qui réagisse de façon connue lorsque l'on monte une charge de valeur donnée. L'atténuateur calibré permet de transformer une source d'impédance quelconque en une source d'impédance fixe quelle que soit la tension de sortie. Nous proposons la réalisation d'un atténuateur d'impédance caractéristique de 500 ohms (voir figure 12).

Prévu pour un oscillateur dont la tension de sortie est d'au moins

1 V eff/1000 Ω , cet atténuateur comporte trois cellules en π procurant une impédance à peu près constante. Le potentiomètre de 1 000 Ω linéaire donne une variation progressive. Le commutateur à trois positions permet d'obtenir des tensions maximales de sortie de 10 mV, 100 mV et 1 V eff à vide (la moitié de ces valeurs en charge sur 500 Ω).

Les résistances ont été choisies de façon à se trouver dans la gamme courante des valeurs à 5 %. Cet atténuateur pourrait éventuellement équiper le générateur à cinq fréquences décrit plus haut.

Si l'on dispose d'une source à très basse impédance (100 Ω), il est possible d'obtenir une impédance caractéristique de 50 Ω en divisant par 10 chacune des valeurs de résistance indiquées sur la figure 12.

LE COMMUTATEUR DE SORTIE

A l'évidence, la majorité des installations BF qui subissent une vérification ou celles qui sont élaborées dans l'antre électronique ont des structures stéréophoniques.

Si l'on souhaite vérifier les deux voies de l'amplificateur, il est nécessaire de prévoir une source stéréophonique qui puisse alimenter les deux voies D et G (évidemment par le même signal) et également l'une ou l'autre de ces voies.

Pour résoudre ce problème, nous soumettons au lecteur deux montages très simples.

Le premier montage est classique. Il comporte un commutateur à trois positions (voir figure 13 a) correspondant respectivement à la voie droite, à la voie gauche, et à la stéréo (mise en parallèle des deux voies).

De la même façon mais avec ses deux inverseurs doubles à glissière (faible, volume, prix réduit), le second montage permet d'obtenir un résultat analogue. L'un des deux inverseurs sert à choisir le mode de fonctionnement : mono ou stéréo, l'autre désigne la voie intéressée. Ce montage possède un petit raffinement : lorsqu'on est en mono, sur une voie, l'autre voie est mise à la masse, ce qui est particulièrement utile pour effectuer des tests comparatifs entre canaux stéréophoniques.

(à suivre)

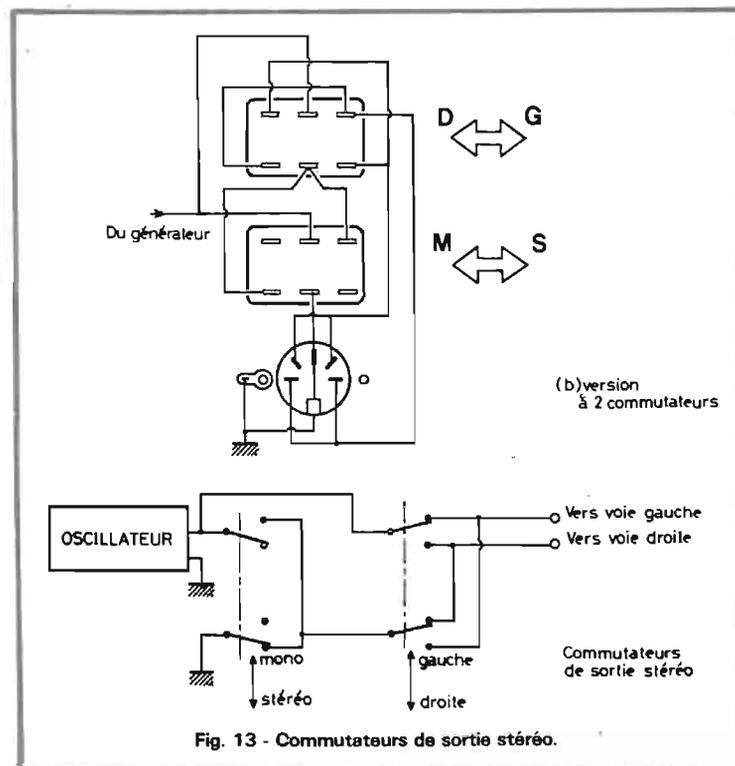


Fig. 13 - Commutateurs de sortie stéréo.