

20

votre Carrière

REVUE de TECHNIQUE RADIO

magazine des futurs électroniciens



hebdomadaire pour la formation professionnelle - 14 - 21 juillet 1965 - le numéro 1,60 F.

SUISSE 1,70 FS

BELGIQUE 23 FB

MAROC 1,85 Dh

ALGERIE 1,80 FA

TUNISIE 1,70 M

ALLEMAGNE 1,80 DM

GRANDE-BRETAGNE 3,5 sh

CANADA 50 cts

U.S.A. 50 cts

votre Carrière

revue hebdomadaire

DIRECTION - ADMINISTRATION - ABONNEMENTS: Editions CHIRON - 40, rue de Seine
Tél. 633.18-93 - Paris (6^e) - C.C.P. 53-35.



La revue est en vente aux kiosques, chaque semaine: si le kiosque en est démuné, demandez l'envoi hebdomadaire directement à votre domicile.

Directrice: Mme Etienne Chiron.

Secrétaire de rédaction: J. Lavergne

ABONNEMENTS

Les abonnements peuvent être souscrits en cours d'année, à n'importe quelle date. Les numéros déjà parus au moment de la souscription seront envoyés en une seule expédition.

France - 1 an (52 numéros) = 70 F;
6 mois (26 numéros) = 38 F. -
Etranger - 1 an = 90 F. - Si vous possédez déjà des numéros, vous pouvez déduire la somme de 1,20 F par numéro.

S'adresser aux Editions CHIRON - rue de Seine, 40 - Paris - C.C.P. 53-35.

Les anciens numéros peuvent être commandés séparément au prix unitaire (1,60 F).

Aucun envoi contre remboursement.

RENSEIGNEMENTS

Toute demande de renseignements doit être accompagnée d'une enveloppe timbrée à votre adresse.

S'adresser: Editions CHIRON - rue de Seine, 40 - Paris.

PUBLICITE

PUBLEDITEC - 13, Rue C. Lecocq
Tél. 250.88-04 et 88-05 - Paris, 15^e.

Cette Revue sera contrôlée par l' O. I. D. Le Numéro précédent a été tiré à 30 523 exemplaires.

DISTRIBUTION

Nouvelles Messageries de la Presse Parisienne - 11, Rue Réamur - Paris.

COPYRIGHT

Dépôt légal éditeur 34 - 2^e trim. '65
Périodique N. 42 905 à la Commission Paritaire de la Presse.

Tous droits de reproduction, même partielle, réservés pour tous pays.

Sommaire

★ Courrier des lecteurs	page 2
★ La fabrication des tubes électroniques	» 3
★ Les transformateurs Basse Fréquence	» 5
★ Les autotransformateurs	» 14
★ Questions sur les 58 ^{ème} et 59 ^{ème} leçons	» 23
★ Réponses aux questions du numéro précédent	» 23
★ Valeurs typiques pour étages amplificateurs du type R-C: Amplificateurs à triode	» 23
★ Dictionnaire Anglais-Français d'Electronique	» 29

Courrier des lecteurs

RELIURES

Les reliures de "votre Carrière" sont désormais à votre disposition. Réalisées en plein balacron avec fers spéciaux, elles constituent le moyen idéal pour grouper tous vos fascicules.

1°) **RELIURE TYPE A** pour les 26 premiers numéros, soit 6 mois de parution. Le système à fil plastique permet de placer immédiatement le numéro paru et d'ouvrir complètement pour la lecture.

Prix de cette reliure: 10 F à nos bureaux ou 11,70 F port compris contre virement ou mandat au CCP 5335 Paris - Editions Chiron - Livrable à partir du 15-6-1965.

2°) **RELIURE TYPE D** pour les feuilles volantes du dictionnaire anglais-français d'électronique, valable pour toutes les feuilles de A à Z qui seront publiées à raison de 4 pages ou 2 pages par numéro. Système autoserreur à pinces. Reliure plein balacron fers spéciaux.

Prix: 12 F, à nos bureaux ou envoi par poste contre virement ou mandat de 13,70 F au CCP 5335 Paris - Editions Chiron - Livrable à partir du 15-7-1965.

ANCIENS NUMEROS

LES ANCIENS NUMEROS DE "VOTRE CARRIERE" SONT VENDUS AU MEME PRIX DE COUVERTURE: 1 F. 60 - DEMANDEZ-LES AUX EDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE - PARIS 6^e - CCP 53-35
PARIS - PRIX EN BELGIQUE: 23 FB. - LES NUMEROS 1 A 10, ABONNEMENT POUR LA BELGIQUE: 22 FF.

COMMUNIQUE VACANCES

"VOTRE CARRIERE" CONTINUE A PARAITRE PENDANT LES VACANCES. AVEZ-VOUS PENSE AU MOYEN DE VOUS PROCURER LA REVUE DURANT CETTE PERIODE? PRENEZ DES AUJOURD'HUI VOS DISPOSITIONS POUR QUE VOTRE MARCHAND DE JOURNAUX VOUS LA RESERVE OU BIEN CHERCHEZ-LA DANS LA LOCALITE OU VOUS VOUS RENDREZ ET SUGGEREZ AU REVENDEUR LOCAL DE LA DEMANDER AUX "NOUVELLES MESSAGERIES DE LA PRESSE PARISIENNE".

LA FABRICATION DES TUBES ELECTRONIQUES

par F. de PELLEGARS - Chef du Centre d'Informations des applications de l'Electronique.

Les tubes électroniques sont tellement répandus qu'on pense rarement aux problèmes qui se posent et aux précautions prises dans les laboratoires et les ateliers pour leur fabrication et leur contrôle. En effet, l'industrie du tube électronique tient de la mécanique de haute précision du fait des dimensions des différents éléments et des tolérances, souvent bien inférieures au 1/100^e, qui sont nécessaires pour obtenir un bon fonctionnement et des caractéristiques identiques pour un type de tubes. Elle tient aussi de l'industrie du verre pour la fabrication des ampoules dont le diamètre intérieur doit toujours être absolument constant, et dont les soudures doivent être sans le moindre défaut, (sinon il y aurait formation d'un point plus fragile qui ne résisterait pas lors du pompage destiné à faire le vide dans le tube).

Lors de la fabrication des tubes électroniques, il est nécessaire, comme nous le verrons, de prendre de nombreuses précautions pour obtenir une production de qualité. Cependant, pour les tubes de sécurité de la série « Cinq étoiles », il faut, en plus de quelques améliorations de structure, apporter un soin encore plus grand au montage et multiplier les contrôles à tous les stades de la fabrication de façon à leur conférer les avantages suivants :

- une durée de vie plus constante.
- une résistance plus grande aux mises sous tension répétées,

- une résistance plus grande aux chocs et aux vibrations,
- une réduction des courts-circuits internes,
- une excellente régularité et stabilité de fonctionnement.

Pour obtenir le but recherché, il faut donc que ces tubes soient l'objet d'un soin tout particulier, tant pour le choix de la matière première employée que pour la fabrication.

1°) La matière première

Les matières premières destinées à la fabrication des diverses pièces détachées sont contrôlées d'une manière extrêmement précise, tant au point de vue chimique que physique. Ainsi les métaux employés sont sévèrement vérifiés afin de s'assurer qu'ils possèdent exactement les qualités requises pour l'usage auquel ils sont destinés. Il en est d'ailleurs de même pour tous les autres éléments: verre, alumine, carbonate, mica, etc... (fig. 1).

2°) Fabrication des pièces détachées

Pour la réalisation des ampoules il existe des machines entièrement automatiques qui, partant d'un tube de verre, le coupent à l'aide d'un chalumeau tout en formant le dôme de l'ampoule. Puis cette dernière est chauffée sur un mandrin jusqu'à ce que le verre soit ramolli de façon à en épouser exactement la forme et être ainsi calibré. Par un procédé utilisant le principe du choc thermique, le tube est alors sectionné à la longueur désirée. Les ampoules étant toujours entraînées et dirigées automatiquement, un chalumeau donnant une flamme en forme de dard très fin vient en percer le dôme. (1) Centré sur ce trou un petit tube de verre (Queusot) qui servira pour le pompage du tube, est ensuite soudé, puis l'ensemble est recuit dans les moules. Enfin, à la sortie de la machine, une ouvrière les contrôle une par une de façon à refouler toutes celles qui ne sont pas parfaites. L'embase du tube munie de ses broches est aussi réalisée automatiquement par une autre machine.

Les dimensions des ampoules sont ensuite soigneusement vérifiées ainsi d'ailleurs que celles des embases et de leurs broches. L'élasticité de ces dernières fait



Fig. 1 - Le bon fonctionnement des tubes dépend beaucoup de la qualité des matières premières; aussi sont-elles vérifiées soigneusement dès leur livraison. Nous voyons ici le contrôle des fils à l'aide d'une balance de torsion. (phot. Deschamp) (doc. Mazda).

1) Ceci, bien entendu, pour les tubes n'ayant pas de sortie d'électrode à la partie supérieure. En effet dans ce cas le queusot est placé au centre de l'embase.



Fig. 2 - Contrôle au spectrophotomètre des oxydes émissifs qui seront déposés sur les cathodes. (phot. Deschamp) (doc. Mazda).

aussi l'objet d'un essai particulier. De plus un examen au polariscope permet de déceler les tensions internes du verre et ainsi, toutes les pièces douteuses sont éliminées.

La fabrication des différentes électrodes pose des problèmes particuliers et doit être faite avec une grande précision et un grand soin car une petite variation entraînerait un changement des caractéristiques du tube.

a) Les filaments

Les filaments constitués de fil de tungstène de diamètre déterminé doivent être coupés à la longueur nécessaire pour avoir exactement la puissance de chauffage désirée, puis être recouverts d'une couche de matière isolante à base d'alumine. Ils sont eux-mêmes l'objet de méticuleux contrôles individuels: soit au projecteur de profil pour vérifier le pas du spiralage, soit à la loupe binoculaire pour éliminer ceux dont le revêtement isolant n'est pas parfait, soit encore à l'ohmmètre pour en vérifier la résistance.



Fig. 3 - Lors du montage des tubes, des contrôles par prélèvement permettent de s'assurer que la précision à chaque poste de travail reste bien dans les tolérances imposées. (phot. Deschamp) (doc. Mazda).

b) Les cathodes

La cathode, qui est l'électrode émissive, doit être particulièrement soignée. En général, elle se compose d'une petite tige ou d'un petit ruban de nickel recouvert d'une couche d'oxyde émissif. Il est important que cette couche d'oxyde ait toujours la même épaisseur, aussi la vérifie-t-on d'une part à la loupe binoculaire en ce qui concerne l'aspect de leur recouvrement, et d'autre part à l'aide d'une balance de torsion pour contrôler la quantité de carbonate ou d'oxyde qui a été déposée. (fig. 2).

c) Les grilles

Des tours spéciaux permettent la réalisation des grilles. En effet, ces dernières sont réalisées en fil bobiné au pas voulu sur deux tiges de nickel servant de support. Ce fil est, en général, en nickel chrome ou, en molybdène lorsque dans le type de tubes fabriqué il risque d'y avoir une émission de grille. Dans ce cas, d'ailleurs, pour éviter que ce phénomène ne prenne naissance, on prend, si cela est nécessaire, des précautions supplémentaires en dorant le fil ou en y déposant une couche de graphite. Pour empêcher le fil de glisser le long des tiges de nickel on le place dans des encoches préalablement faites dans la tige, puis, ces encoches étant écrasées, emprisonnent le fil. La grille étant ainsi faite, il ne reste plus qu'à la calibrer avec précision de façon qu'elle ait sur toute sa longueur le même écartement. Une amélioration dans ce sens a été apportée par la technique des grilles cadres qui ont permis de réaliser des grilles ne risquant pas de se déformer et par suite de fabriquer des tubes ayant des pentes plus élevées.

d) Les anodes

Les anodes, éléments plus robustes, sont en métal (nickel) embouti recouvert de graphite pour éviter un échauffement exagéré, puis sont passées au four à hydrogène de façon à brûler toutes les impuretés. Elles sont ensuite contrôlées par prélèvement tant au point de vue de leurs dimensions que de la qualité des découpes.

Ces différentes pièces extrêmement délicates qui composent le tube sont ajustées à l'aide de micas percés de trous. Ces pièces, lors du montage, doivent être assemblées rapidement, mais ne doivent avoir aucun jeu. Il est donc nécessaire de vérifier les trous des micas avec un projecteur de profil qui, en agrandissant 100 fois permet de mesurer avec la plus grande précision, le diamètre de l'entraxe des trous. Enfin, après nettoyage et dégazage, les cathodes, les anodes, les micas sont conservés sous vide jusqu'au moment où ils sont livrés à l'atelier de montage.

Avant montage, les pièces détachées subissent de nouveaux contrôles individuels et statistiques. Le résultat des contrôles effectués sur les diverses pièces détachées est alors tenu à jour, ce qui permet de remédier aux défauts se révélant systématiques.

Le nombre de ces contrôles peut, au premier abord, sembler excessif et l'on serait tenté de penser qu'il suf-

(suite dans le prochain Numéro)

LES TRANSFORMATEURS BASSE FREQUENCE

Dans notre 37ème leçon, nous avons étudié le fonctionnement des transformateurs, en général; toutefois, cette étude ne concernait que les transformateurs d'alimentation, c'est-à-dire des organes fonctionnant sur une fréquence bien déterminée (fréquence du réseau électrique) et dont le rôle est de fournir une certaine puissance. En Electronique, outre le type de transformateur cité ci-dessus, on rencontre très souvent d'autres organes destinés à fonctionner dans une gamme de fréquences très étendue et qui, fréquemment, sont simplement des transformateurs de tension, dont la fonction n'est pas de transmettre de la puissance mais simplement la tension du signal (modulation B.F.) aux divers étages amplificateurs. C'est le cas des transformateurs, microphoniques, des transformateurs de couplage entre étages, etc.

Le transformateur Basse Fréquence est un élément extrêmement important de la technique radio-électrique et c'est pourquoi nous jugeons utile de lui consacrer une leçon entière, tout comme nous l'avons fait pour les transformateurs d'alimentation. Naturellement, nous tiendrons pour acquises certaines notions, comme par exemple la théorie du fonctionnement, qui sont les mêmes pour tous les types de transformateurs; toutefois, nous serons parfois amenés à revenir sur certaines caractéristiques générales pour mieux faire comprendre notre nouvel exposé.

Cela dit, examinons le schéma complet d'un amplificateur B.F. à trois étages (sans les circuits d'alimentation) représenté sur la **figure 1**. On y remarque la présence de 3 transformateurs — conçus pour l'utilisation en BF — ayant chacun une fonction différente.

Comme on peut le voir, un transformateur de tension, appelé **transformateur d'entrée**, est utilisé pour transmettre le signal à la grille de commande du premier tube amplificateur; son rôle est d'élever la faible tension du signal provenant d'un microphone ou d'une autre source similaire. Les transformateurs d'entrée ont généralement un rapport de transformation (tours secondaire/tours primaire) assez grand, ce qui a pour effet d'augmenter fortement la faible amplitude de la tension du signal d'entrée.

La sortie du second étage amplificateur de tension est couplée à la grille de l'étage amplificateur de puissance au moyen d'un transformateur de tension, appelé **transformateur intervalve**. D'une manière générale, ces transformateurs intermédiaires ont un rapport de transformation de trois, au maximum.

La plaque du tube amplificateur de puissance est couplée à la charge (qui peut être, par exemple, la bobine mobile d'un haut-parleur) au moyen d'un transformateur de couplage, appelé **transformateur de sortie**. Les transformateurs de sortie sont des transformateurs de puissance, car ils doivent fournir la puissance relativement élevée demandée par la charge. Ce sont généralement des transformateurs abaisseurs de tension (rapport de transformation inférieur à 1), afin qu'en réduisant la tension de sortie on puisse augmenter le courant jusqu'à la valeur requise par la charge, permettant ainsi sa parfaite adaptation. L'analyse de chacun des types de transformateurs ci-dessus mentionnés est facilitée en recourant à l'étude d'un **circuit équivalent** que l'on suppose équipé d'un **transformateur idéal**.

LE TRANSFORMATEUR IDEAL

Un « transformateur idéal » est celui qui ne présente aucune perte, c'est-à-dire qui ne dissipe aucune puissance. Evidemment, un tel transformateur n'existe pas en pratique, mais à travers l'étude de ce transformateur idéal, nous pourrions analyser plus facilement le fonctionnement des transformateurs réels. En utilisant cette conception de transformateur idéal, nous pouvons représenter un circuit équivalent à un transformateur réel, dans lequel on imagine que les pertes inhérentes à ce dernier se produisent dans un circuit très simple totalement séparé de celui du transformateur idéal.

Conséquence directe de la définition donnée pour le transformateur idéal (c'est-à-dire sans perte), la charge branchée aux bornes de son secondaire reçoit toute la puissance fournie, au primaire, par le générateur (**figure 2**). La puissance d'entrée P_e fournie par le générateur est égale à $E_1 \times I_1$ et la puissance de sortie P_s est égale à $E_2 \times I_2$. La puissance de sortie étant égale à celle d'entrée, $E_1 \times I_1$ est égal à $E_2 \times I_2$.

Dans un transformateur idéal, le rapport entre la tension aux bornes du primaire et celle aux bornes du secondaire est, évidemment, égale au rapport du nombre des tours du primaire et du secondaire. On a donc :

$$E_1 : E_2 = N_1 : N_2$$

Si la fonction d'un transformateur consiste seulement à isoler électriquement le circuit du primaire de celui du secondaire, le rapport du nombre des tours sera égal à un (on écrit 1:1). Par contre, si l'on veut avoir au secondaire une tension plus basse que celle appliquée au primaire, le transformateur doit avoir un rapport de tours $N_1 : N_2$ plus grand que un (transformateur abais-

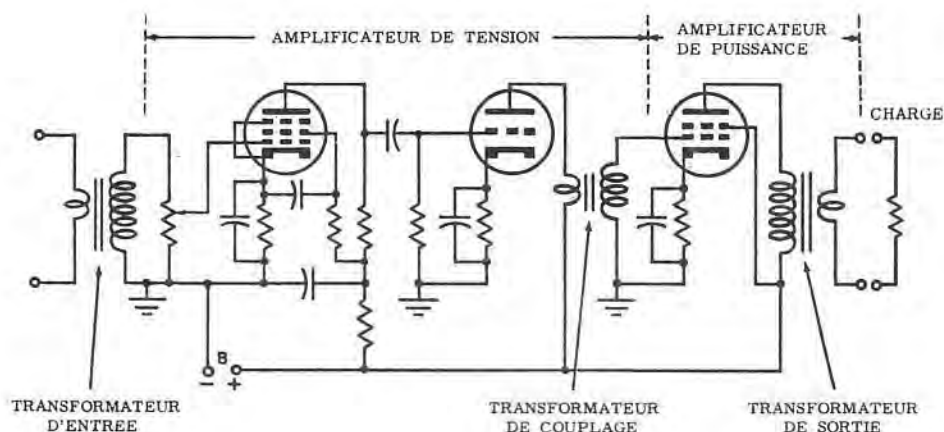


Fig. 1 - Amplificateur à trois lampes utilisant trois types différents de transformateurs Basse Fréquence. Le rapport de transformation des deux premiers (entrée et couplage) est supérieur à l'unité (amplification de tension). Le transformateur de sortie a un rapport de transformation inférieur à l'unité (amplification de puissance).

seur de tension); tandis que si l'on veut obtenir une tension plus élevée au secondaire, ce même rapport sera inférieur à l'unité (transformateur élévateur de tension).

Puisque le produit de la tension E par le courant I est le même des deux côtés du transformateur idéal ($E_1 \times I_1$ étant égal à $E_2 \times I_2$, comme nous l'avons dit plus haut), si la tension devient plus grande, l'intensité diminue, et inversement. Le rapport des courants est donc l'inverse du rapport des tensions, soit:

$$I_2 : I_1 = E_1 : E_2$$

Le rapport entre la tension et l'intensité du courant du primaire ($E_1 : I_1$) est appelé **impédance réfléchie du secondaire** vue du primaire. Elle n'est pas égale à l'impédance réelle du secondaire. Clarifions cette idée au moyen d'un exemple. Considérons le circuit de la figure 2-A, et supposons qu'aux bornes du secondaire on ait une tension (E_2) de 6 volts; la charge (R_c) ayant une impédance de 6 ohms, un courant d'une intensité de 1 ampère circulera dans l'enroulement secondaire, en effet $I_2 = E_2 : R_c = 6 : 6 = 1$.

Appelons n le rapport de tours et supposons que, dans notre cas, $n = N_1 : N_2 = 20$. Le générateur devra donc fournir au primaire une tension 20 fois plus grande que celle recueillie au secondaire, c'est-à-dire (20×6), soit 120 volts. En conséquence, l'intensité du courant primaire sera 20 fois moins forte que celle circulant dans le secondaire, soit $1 : 20 = 50$ milliampères. Dans ces conditions, le générateur « voit » une impédance qui, calculée au moyen de la loi d'Ohm, est de $120 : 0,05 = 2400$ ohms. L'impédance vue par le générateur est donc 20^2 , soit 400 fois plus grande que celle de la charge qui est de 6 ohms. L'impédance de 2400 ohms, vue par le générateur, s'appelle, comme nous l'avons dit plus haut, « impédance réfléchie du secondaire sur le primaire » ou, plus brièvement, « impédance réfléchie ». D'une manière générale, l'impédance réfléchie vue du générateur est égale au produit de l'impédance réelle du secondaire, multipliée par le carré du rapport du nombres des tours n :

$$Z_1 = \frac{(N_1)^2}{(N_2)^2} Z_2 = n^2 Z_2$$

L'exemple précédent montre que l'impédance réfléchie est **plus grande que l'impédance de charge**, puisqu'elle est reportée aux bornes du primaire qui compte un plus grand nombre de tours que le secondaire. Par contre, dans le cas du circuit de la figure 2-B, le transformateur ayant un rapport du nombre des tours inférieur à un, transformateur élévateur de tension, l'impédance réfléchie vue du générateur est **plus petite que l'impédance de charge**, puisqu'elle est reportée aux bornes du primaire qui compte un moins grand nombre de tours que le secondaire.

TRANSFORMATEUR DE SORTIE REEL

Les « transformateurs de sortie » sont utilisés pour coupler le dernier étage d'un amplificateur à la charge d'utilisation, laquelle peut être un haut-parleur, par exemple. Les transformateurs de sortie réels diffèrent du transformateur idéal par le fait que le fil constituant les enroulements primaire et secondaire a, nécessairement, une résistance ohmique qui provoque une certaine dissipation de puissance. Dans les transformateurs réels, les autres pertes, c'est-à-dire celles dues aux courants de dispersion et à l'hystérésis, sont généralement négligeables vis-à-vis des pertes provoquées par la résistance des enroulements.

Le fait que les transformateurs de sortie les plus courants ont un rendement compris entre 80 et 95% de celui du transformateur idéal (pris égal à 100%), montre que l'on n'introduit qu'une faible erreur en calculant l'impédance réfléchie par la méthode exposée ci-dessus. Donc, lors du calcul de l'impédance réfléchie, on peut considérer le transformateur de sortie comme étant un transformateur idéal (rendement de 100%).

D'une manière générale, sur les transformateurs de sortie du commerce, on n'indique pas le rapport du nombre des tours primaire/secondaire, mais plutôt les impédances pour lesquelles ces transformateurs ont été prévus. Un transformateur de sortie, dont les caractéristiques tendent à se rapprocher de celles du transformateur idéal est représenté sur la figure 3-A.

Parfois, ces transformateurs comportent plusieurs prises sur leurs enroulements, ce qui permet de les

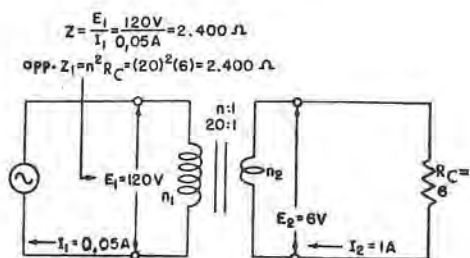


Fig. 2 A - Avec un transformateur de rapport inférieur à l'unité (20 : 1); l'impédance de la charge (6 ohms) vue par le primaire est égale à la valeur de cette charge multipliée par le carré du rapport des tours $6 \times 20^2 = 2\,400$ ohms).

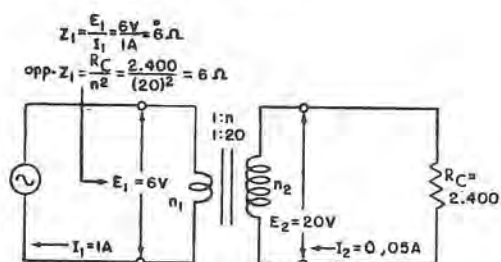


Fig. 2 B - Avec un transformateur de rapport plus grand que l'unité, l'impédance de la charge (2 400 ohms) vue par le primaire est égale à la valeur de cette charge divisée par le carré du rapport des tours $(2\,400 : 20^2 = 6$ ohms).

employer avec des rapports d'impédance différents. C'est le cas du transformateur de la figure 3-B, qui peut être employé aussi bien avec une charge de 6 ohms, qu'avec une charge de 15 ohms. Dans les deux cas, l'impédance réfléchiée au primaire sera toujours de 2 400 ohms.

Les transformateurs de sortie sont parfois considérés, par erreur, seulement comme des transformateurs adaptateurs d'impédances. Un transformateur de sortie peut très bien n'être pas seulement utile pour adapter deux impédances; son rôle principal consiste à fournir à la lampe amplificatrice de puissance l'impédance de charge qui lui est nécessaire pour obtenir la puissance de sortie maximum sans distorsion. Pour satisfaire à cette exigence, l'impédance réfléchiée vue par la lampe n'est généralement pas égale à la résistance interne du tube lui-même; c'est pourquoi il y a très souvent une différence très grande entre la résistance de plaque et l'impédance réfléchiée de charge.

TRANSFORMATEURS ENTRE ETAGES

Les transformateurs employés pour coupler deux étages successifs dans un amplificateur sont généralement connus sous le nom de *transformateurs intervalves*. Le couplage par transformateur est, sous certains aspects, supérieur aux autres modes de couplage. Avant tout, son rapport de transformation (supérieur à l'unité) permet de réaliser un gain d'étage plus grand que celui résultant du seul coefficient d'amplification du tube lui-même. En second lieu, la tension anodique n'a pas besoin d'être très élevée, puisque la chute de tension dans le primaire du transformateur est très faible, ce qui fait que la presque totalité de la tension d'alimentation disponible se trouve être appliquée à la plaque de la lampe. Enfin, ce montage permet de réaliser très facilement un amplificateur push-pull, ce qui procure une réduction notable des distorsions.

Les inconvénients du couplage par transformateur sont, par contre, les suivants:

1°) Le coût est plus élevé que celui des éléments nécessaires au couplage par résistance-capacité.

2°) La courbe de réponse amplitude/fréquence d'un transformateur s'étend sur une bande relativement étroite et elle est, en outre, moins linéaire que celle obtenue avec d'autres systèmes de couplage.

3°) Les champs produits par des courants alternatifs extérieurs voisins induisent dans le transformateur des tensions perturbatrices. Mis gratuitement en ligne par Alain et André.

4°) Le couplage au moyen d'un transformateur intervalve requiert l'utilisation d'une lampe amplificatrice ayant une faible résistance de plaque, comme une triode par exemple, ceci pour obtenir une courbe de réponse suffisamment linéaire.

La figure 4-A montre l'allure de la courbe de réponse par rapport à une gamme de fréquences acoustiques: il s'agit d'une «réponse linéaire» qui n'est pas toujours nécessaire comme on peut le voir sur la figure 4-B où est indiquée, en comparaison, la zone intéressante la reproduction de la voix humaine.

La courbe de réponse en fonction de la fréquence (figure 4-C) que nous connaissons déjà, montre l'allure caractéristique de la tension de sortie fournie par un amplificateur à couplage par transformateur. Ainsi que nous l'avons précité en en donnant les raisons, la courbe de réponse est relativement correcte dans sa partie centrale, mais présente une chute assez rapide aux deux extrémités (fréquences basses et aiguës) ainsi qu'une bosse (résonance) vers les fréquences élevées.

CIRCUIT EQUIVALENT

D'UN TRANSFORMATEUR INTERVALVE

Pour analyser un amplificateur accouplé à un transformateur (figure 5-A), il est utile de se baser sur l'utilisation d'un transformateur ayant un rapport de tours aussi élevé que possible, tout en présentant le moins de pertes à toutes les fréquences. Dans le circuit équivalent de la figure 5-B, les pertes et l'amplification de la tension sont représentées séparément dans deux parties distinctes du circuit: la partie dite «équivalente à T» et le «transformateur idéal».

Dans la première partie, équivalente à T, on trouve les éléments responsables de toutes les pertes du trans-

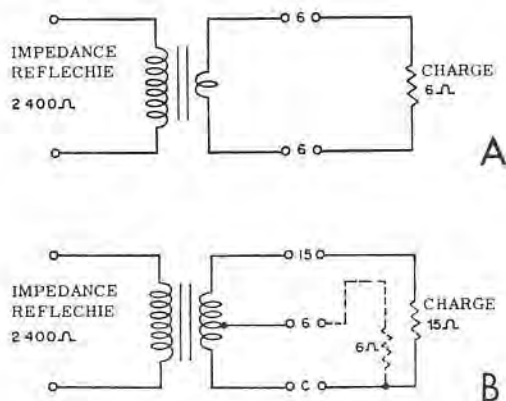


Fig. 3 - En A, le transformateur de sortie correspond au transformateur idéal de la figure 2-A; on n'indique, généralement, que le rapport des impédances. En B, transformateur pour deux valeurs différentes de charge.

formateur réel; le transformateur idéal est représenté seulement pour montrer l'amplification de la tension. Considérées dans leur ensemble, ces deux parties forment un circuit équivalent susceptible de représenter, avec une bonne approximation, le comportement électrique d'un transformateur de couplage, cela pour toutes les fréquences. La démonstration de cette affirmation est assez difficile et sort du cadre de notre étude.

La branche parallèle du circuit en T est constituée par une inductance, L_p , dont la valeur est à peu près égale à celle du primaire du transformateur. La branche série, à gauche, comporte la résistance R_{pw} , correspondant à la résistance que l'enroulement primaire oppose au courant continu. La branche de droite comprend par contre deux éléments; l'un est la résistance, R_{sw}/n^2 , du secondaire vis-à-vis du courant continu, réfléchi au primaire, et l'autre est l'inductance de dispersion réfléchie du secondaire, L_L .

L'inductance de dispersion, nous le savons, représente la partie du flux magnétique total d'un transformateur qui n'est pas concentrée dans le primaire ou dans le secondaire. Dans les transformateurs de couplage, la dispersion de flux maximum se produit dans l'enroulement comportant le plus grand nombre de tours, c'est-à-dire le secondaire. Cette dispersion est inévitable car, en pratique, il est très difficile de coupler parfaitement des enroulements plutôt importants avec un circuit magnétique d'assez faibles dimensions. Le flux de dispersion relatif au primaire, dans ce type de transformateur, est suffisamment faible pour pouvoir être négligé, c'est pourquoi il n'apparaît pas dans le circuit T.

Le condensateur C représente toutes les capacités présentes dans le transformateur, dans leur ensemble, aussi bien celles existant entre les spires, que celles entre primaire et secondaire. Les extrémités de sortie du circuit équivalent à T sont reliées aux bornes du primaire du transformateur idéal.

La figure 5-B montre que la tension de sortie du circuit équivalent, qui est égale à $-e/n$, apparaît au primaire du transformateur idéal. Le signe "moins" indique un déphasage de 180° (inversion de polarité) dans le transformateur idéal.

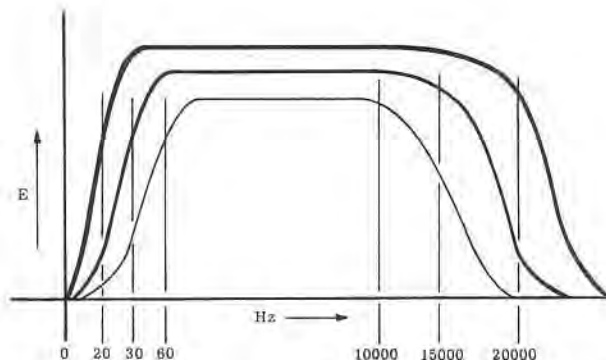


Fig. 4 A - Courbes typiques de réponse à la fréquence des transformateurs de Basse Fréquence. En abscisses sont représentées les fréquences qui sont normalement comprises dans le spectre audio, tandis qu'en ordonnées sont représentés les modules relatifs du signal présent à la sortie du transformateur. Les trois courbes sont relatives aux transformateurs de qualités différentes.

Le comportement d'un transformateur de couplage entre étages peut, maintenant, être étudié d'une façon analogue à celle utilisée pour l'étude du couplage R-C, en analysant la réponse aux fréquences basses, moyennes et hautes.

COURBE DE REPONSE DE L'AMPLIFICATEUR A COUPLAGE PAR TRANSFORMATEUR

Gain aux fréquences moyennes — Les effets de tous les éléments du circuit équivalent à T sont négligeables aux fréquences moyennes. Un exemple numérique nous servira à vérifier cette affirmation. Le circuit équivalent à T de la figure 6-B, donne les valeurs des réactances à 1 000 Hz des composants du circuit type de couplage à transformateur de la figure 6-A. Il est clair que les impédances des deux branches en série sont négligeables devant les réactances en parallèle de L_p et de C. Par ailleurs, on peut également négliger les effets des réactances en parallèle sur les impédances, car elles sont très grandes vis à vis de la résistance interne r_p du générateur qui est de 10 000 ohms seulement. Ainsi, à la fréquence de 1 000 Hz, le circuit équivalent à T peut être entièrement négligé (figure 7-A), et toute la tension fournie par le générateur, $-μe_g$, apparaît aux bornes du primaire du transformateur idéal; si bien que l'on a: $-μe_g = -e_o/n$

Le gain aux fréquences moyennes, A_m , est obtenu en multipliant les deux membres de cette équation par n, ce qui donne ($μne_g = e_o$), et en les divisant ensuite par e_g . Le gain, ou amplification, à la fréquence moyenne est donc: Mis gratuitement en ligne par Alain et André.

$$A_m = e_o : e_g = μn$$

Cette équation démontre que le gain en tension aux fréquences moyennes, d'un amplificateur accouplé à un transformateur est égal à n fois le coefficient d'amplification de la lampe, n étant le rapport de transformation du transformateur, rapport du nombre des tours. Donnons un exemple: supposons que dans un amplificateur à un seul étage nous utilisons un tube 6C5, avec un transformateur élévateur de tension ayant

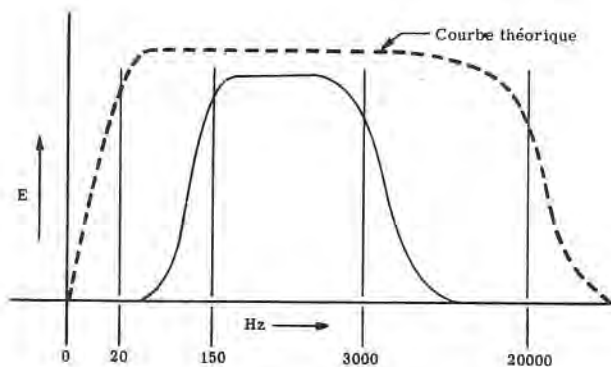


Fig. 4 B - Dans les conditions de la figure précédente, nous reproduisons la courbe en fréquence d'un transformateur adapté à la gamme de fréquence de la voix humaine (courbe continue), comparée à la courbe théorique permettant la reproduction de tout le spectre audio.

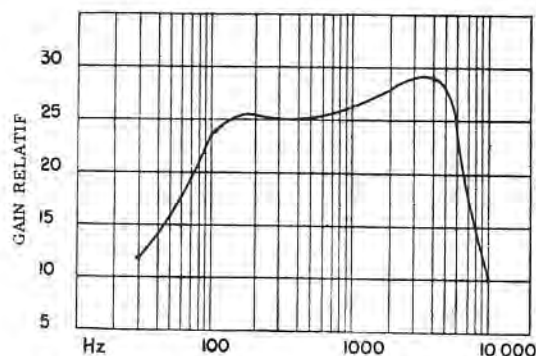


Fig. 4 C - Courbe de réponse aux diverses fréquences d'un amplificateur à couplage par transformateurs. La partie linéaire est limitée aux fréquences moyennes.

un rapport de 1 : 3. Le coefficient d'amplification, μ , de la 6C5 est égal à 20. Le gain de l'amplificateur aux fréquences moyennes sera μn , soit $20 \times 3 = 60$. C'est ainsi qu'en appliquant à la grille de la lampe un signal de 1 volt (ayant une fréquence située au centre de la bande), on obtiendra aux bornes du secondaire du transformateur une tension de 60 volts.

La polarité, ou la phase, de la tension de sortie d'un amplificateur du type de celui décrit ci-dessus est la même que celle du signal d'entrée, puisque la lampe et le transformateur produisent tous deux un déphasage de 180° , ce qui rend nul le déphasage total.

Gain aux fréquences basses — La réactance inductive en parallèle du primaire, L_p , (figure 6-A) ne peut plus être négligée aux fréquences basses, parce qu'elle diminue rapidement avec la fréquence du signal. Dans la fig. 7-B, nous avons donc représenté seulement l'inductance L_p , étant donné que le courant traversant C est presque nul (la réactance de C augmente lorsque la fréquence diminue); la sortie du circuit équivalent à T est pratiquement comme un circuit ouvert, pour les fréquences basses. Pour cette raison, on peut remplacer la seconde branche série par un simple court-circuit (figure 7-B); puisque, le courant passant dans C étant très faible, la chute de tension aux bornes de L_L et de R_{sw}/n^2 sera presque nulle. L'ensemble r_p , R_{pw} , et L_p agit comme un diviseur pour la tension appliquée aux bornes du générateur équivalent, — μ eg.

On obtient une bonne réponse aux fréquences basses en diminuant la chute de tension dans r_p et R_{pw} . Pour cela, il faut employer une triode ayant une faible résistance de plaque et un transformateur présentant une faible résistance au courant continu.

On peut en conclure que les valeurs permises pour l'inductance et la résistance d'un transformateur sont déterminées, à la fois, par les conditions requises aux fréquences basses et élevées. Une très faible inductance au primaire réduit le gain aux fréquences basses tandis qu'une inductance très grande réduit le gain aux fréquences élevées.

Gain aux fréquences élevées — La réactance de l'in-

ductance en parallèle du primaire, L_p , (fig. 6-A) augmente avec la fréquence (puisque $X_L = 2\pi fL$) et, en conséquence, pour les fréquences élevées, son effet sur la résistance de plaque du tube, r_p est négligeable. Par exemple, la réactance du primaire, L_p , est de 125 000 ohms à 1 000 Hz (fig. 6-B), alors qu'elle atteint 1 256 000 ohms pour une fréquence de 10 000 Hz.

Par contre la réactance de C, qui diminue lorsque la fréquence augmente ($X_C = 1/2\pi fL$), est seulement de 25 150 ohms à 10 000 Hz. Il s'agit là d'une valeur qui n'est plus négligeable vis-à-vis de la résistance de plaque, r_p .

Ainsi, le circuit équivalent pour les fréquences élevées se réduit à un circuit-série: résistance r_p , R_{pw} , R_{sw}/n^2 , inductance L_L et capacité C (figure 7-C).

A l'extrémité la plus élevée (en fréquence) de la courbe de réponse, la tension aux bornes de C augmente, puisque L_L et C forment un circuit oscillant série. L'augmentation de la tension aux bornes de C dépend de la valeur du facteur Q du circuit. Dans celui de la figure 6-B, par exemple, la fréquence de résonance du circuit L_L -C est de 20 kHz et, en conséquence, le Q à la résonance est égal à X_L divisé par la résistance totale en série, on a donc $Q = 2\pi fL : R = (6,28 \times 20\,000 \times 0,1) : 12\,000 = 12\,560 : 12\,000 = 1,046$. La tension aux bornes de C, à la résonance, vaut 1,046 fois sa valeur à la fréquence centrale et elle est encore plus élevée pour une fréquence légèrement inférieure (voir la courbe de la fig. 4).

Passé la fréquence de résonance, la réponse chute rapidement du fait de l'augmentation de la réactance X_L et de la diminution de la réactance de C. L'utilisation d'une pentode, qui se caractérise par une valeur élevée de sa résistance dynamique de plaque, abaisse le Q du circuit à la fréquence de la résonance série; de ce fait, la réponse aux fréquences élevées chute rapidement et l'on n'observe pas de pointe de résonance sur la courbe de réponse d'une pentode couplée par transformateur.

L'analyse que nous venons de faire démontre que le gain d'un amplificateur à couplage par transformateur tend à diminuer aux fréquences élevées lorsque la va-

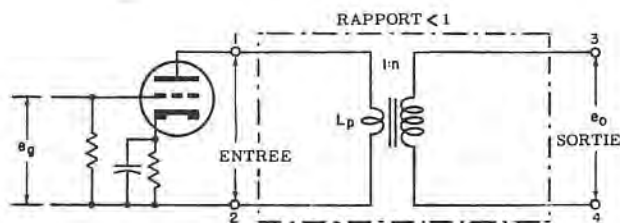


Fig. 5 A - Circuit pris comme exemple pour l'analyse du comportement du transformateur au moyen d'un « circuit équivalent à T » et d'un « transformateur idéal » comme représenté sur la figure suivante.

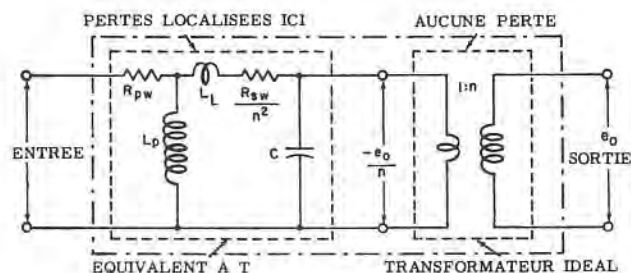


Fig. 5 B - Dans le circuit équivalent à T sont représentés tous les éléments provoquant les pertes (R_{pw} ; L_L ; R_{sw}/n^2 ; C) dans le transformateur, tandis que le « transformateur idéal » représente la seule transformation des impédances.

leur de C augmente; ceci est dû au fait que, lorsque C augmente, la fréquence de résonance diminue, ce qui entraîne une diminution du Q du circuit, et produit une chute plus rapide de la courbe. Pour obtenir un bon comportement de l'amplificateur aux fréquences élevées, il faut avoir une faible valeur pour C ; étant donné que la capacité C dépend des dimensions de l'enroulement, il est donc nécessaire de réaliser un primaire comportant peu de tours. Ceci est en contradiction avec les conditions requises pour obtenir une bonne réponse aux fréquences basses, à savoir un primaire ayant une forte inductance. On voit donc qu'il faut de toute évidence chercher un compromis entre ces deux exigences contradictoires.

REPONSE D'UN TRANSFORMATEUR DE SORTIE

Le circuit équivalent d'un transformateur de sortie est représenté sur la **figure 8**; il diffère, avant tout, de celui d'un transformateur de couplage entre étages par le fait que, en général, un transformateur de sortie a un rapport de transformation inférieur à l'unité (transformateur abaisseur). Il diffère donc parce que l'inductance de dispersion apparaît pratiquement seulement dans le primaire, en raison de l'inductance plus grande de son enroulement. Les capacités sont négligées, sur le schéma, car la réactance capacitive est très faible, étant égale à C divisée par n^2 , en parallèle sur la sortie du circuit à T.

Par exemple, le rapport des tours d'un transformateur de sortie typique est de 30 : 1 et la capacité C , dans le circuit équivalent, apparaît comme étant divisée par 30², c'est-à-dire par 900, ce qui la rend pratiquement négligeable.

La pointe de résonance constatée dans la courbe de réponse du transformateur de couplage entre étages, est donc absente dans celle du transformateur de sortie et, en conséquence, la courbe de réponse de ce dernier est symétrique des deux côtés de la partie centrale. On obtient donc une courbe de réponse analogue à celle donnée par un couplage R-C (**figure 9**).

On peut obtenir une bonne réponse aux fréquences

basses en adoptant un primaire de forte inductance, L_p , tandis qu'une bonne réponse aux fréquences élevées peut être obtenue en réduisant au maximum la valeur de l'inductance de dispersion, L_L . Mais, tout comme dans le cas des transformateurs de couplage intervalves, on ne peut réaliser simultanément ces deux conditions qui sont contraires, puisqu'une forte inductance au primaire produit une forte dispersion qui, à son tour, réduit l'amplitude des fréquences élevées. Là encore, on doit chercher un compromis.

CONSTRUCTION D'UN TRANSFORMATEUR POUR B.F.

Tout ce que nous venons d'exposer dans cette leçon, a certainement mis en évidence que la différence essentielle entre les transformateurs d'alimentation et ceux destinés aux amplificateurs, réside dans le fait que ces derniers ne doivent pas seulement fonctionner sur une fréquence unique, mais, au contraire, dans une large bande de fréquences que l'on doit s'efforcer de transmettre le plus fidèlement possible. C'est pourquoi, lors de la construction d'un transformateur B.F., il faut, avant tout, s'efforcer de faire en sorte qu'aucune partie de la bande utile ne soit sacrifiée.

Nous ne répéterons pas ici tout ce que nous avons dit dans les 37ème et 38ème leçons, consacrées à la construction des transformateurs: toutes les normes, les précautions, les diverses opérations successives et les conseils d'ordre pratique restent pleinement valables. Comme il s'agit de circuits où les questions d'impédance jouent un rôle primordial, c'est à partir des données concernant celles-ci que sera établi le projet.

Il conviendra, tout d'abord, de déterminer les valeurs des impédances du primaire et du secondaire. Cela fait, on calculera le nombre des tours de chacun des enroulements. Il est bon de préciser immédiatement que le rapport des impédances n'est pas égal au rapport du nombre des tours des enroulements, mais bien au **carré** de ce rapport. En d'autres termes, l'impédance du primaire, Z_p , est égale à:

$$Z_p = Z_s \times \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 \quad \text{dans laquelle, } Z_s \text{ est l'impé-}$$

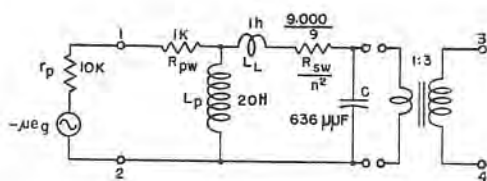


Fig. 6 A - Circuit de couplage par transformateur avec indication des valeurs typiques des divers éléments. Dans la figure suivante, ces valeurs sont représentées par leurs impédances réactives à la fréquence de 1 000 hertz.

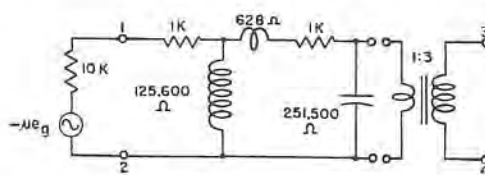


Fig. 6 B - A la fréquence moyenne de 1 000 hertz, les impédances des deux branches en série sont négligeables par rapport à la réactance résultante de L_p et de C en parallèle. De même les effets de ces dernières sont négligeables vis-à-vis de la faible résistance interne du générateur.

dance du secondaire, N_p , le nombre des tours du primaire et N_s , le nombre des tours du secondaire. Nous

aurons, de même:
$$Z_s = Z_p \times \left(\frac{N_s}{N_p} \right)^2$$

Il est bien évident que le nombre de tours à adopter dépend également de la section du circuit magnétique qui, nous le savons, est en relation étroite avec la puissance mise en jeu. Dans le domaine de la Basse Fréquence (à l'exception, toutefois, des transformateurs de sortie et des transformateurs de modulation), les puissances sont généralement assez faibles; en conséquence, les circuits magnétiques seront assez petits, sans pour cela que leurs faibles dimensions soient de nature à compromettre le rendement du transformateur aux fréquences basses.

Une fois la section du noyau déterminée et connaissant les impédances nécessaires (qui dépendent de la lampe et de la charge), nous calculerons le nombre de tours du primaire avec la formule suivante:

$$N_p = \frac{E_{bb} \times 10^8}{4,5 \times 10\,000 \times S \times f}$$

dans laquelle, E_{bb} est la tension anodique de la lampe à laquelle le primaire du transformateur est relié, S est la section du circuit magnétique en cm^2 , f est la fréquence la plus basse à amplifier sans atténuation.

Illustrons par un exemple le calcul d'un transformateur de sortie dont le rôle est de transmettre la puissance modulée de la lampe finale de l'amplificateur B.F., à la « bobine mobile » du haut-parleur.

Les caractéristiques de fonctionnement du tube nous indiquent quelle est la puissance qu'il est en mesure de nous fournir: pour l'étage final d'un récepteur de radio, on adopte généralement une pentode délivrant 3,5 watts de Basse Fréquence. Pour une telle puissance, la section nette du circuit magnétique sera calculée en appliquant la formule donnée à la 38ème leçon mais en portant le facteur de multiplication de 1,5 à 2, ce qui donne:

$$2 \sqrt{3,5} = 3,74 \text{ cm}^2$$

L'abaque de la page 309 ne peut être utilisé, car il ne concerne que des puissances supérieures à 5 W et il ne peut s'appliquer qu'aux transformateurs d'alimentation.

A la section nette de $3,74 \text{ cm}^2$, nous ajouterons 10% (utilisation de tôles de 0,35 mm d'épaisseur) ce qui nous donne $4,1 \text{ cm}^2$ pour la section brute, c'est-à-dire réelle, du circuit magnétique. Avec des tôles dont la branche centrale mesure 16 mm, par exemple, nous devons prévoir une épaisseur totale de l'empilement de l'ordre de 2,6 cm ($41 : 16 = 2,6$ en arrondissant).

La formule permettant de calculer le nombre des tours au primaire prend en considération, comme nous l'avons vu, la fréquence la plus basse que l'on désire amplifier sans atténuation (appelée fréquence de coupure inférieure). Comme il s'agit d'un récepteur de performances moyennes, on se fixe pour cette limite inférieure la fréquence de 50 Hz; il serait, en effet inutile de descendre plus bas (à 20 Hz, par exemple), puisque le haut-parleur, du fait de ses dimensions réduites, serait incapable de la reproduire. C'est pourquoi nous dirons que la valeur de la fréquence de coupure, figurant dans la formule, sera choisie de l'ordre de 20 Hz pour les amplificateurs à haute fidélité, de 50 Hz pour les récepteurs de bonne qualité et de 100 Hz pour les appareils économiques pourvus d'un haut-parleur de petit diamètre.

Connaissant la tension d'alimentation disponible, donc la tension anodique de la lampe de puissance (celle à laquelle doit être relié notre transformateur), les notices d'utilisation nous indiqueront l'impédance de charge optimum que nous devons appliquer au tube final, pour la tension anodique prévue.

D'une manière générale, on dispose d'une tension anodique de 250 V et, pour cette tension, l'impédance de charge d'une pentode de puissance est souvent de $7\,000 \Omega$.

Nous sommes donc en possession de toutes les données nécessaires pour calculer le nombre de tours des enroulements, en appliquant la formule donnée plus haut. Nous aurons:

$$N_p = \frac{250 \times 10^8}{4,5 = 10\,000 \times 3,74 \times 50} = \frac{25\,000\,000\,000}{8\,415\,000} = 2\,970 \text{ tours}$$

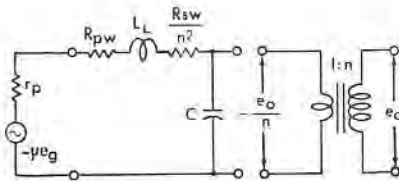


Fig. 7 A - En considération de ce qui a été dit à propos des deux figures précédentes, on peut représenter ainsi le circuit équivalent au transformateur pour les fréquences moyennes (on voit qu'il se résume au seul transformateur idéal).

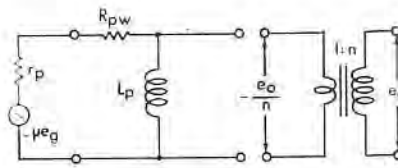


Fig. 7 B - Aux fréquences basses, la réactance inductive, L_p , du primaire n'est plus négligeable. Le effet de C reste négligeable et, en conséquence, il en est de même pour la chute de tension produite par R_{sw}/n^2 et par L_L . Pour avoir une bonne reproduction des fréquences basses, il faut que les valeurs de r_p et de r_{pw} soient très faibles.

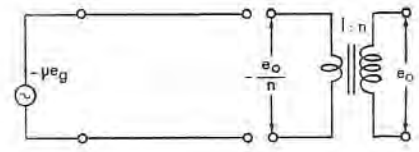


Fig. 7 C - Aux fréquences élevées, l'effet de L_p est négligeable; par contre la réactance capacitive de C devient importante. Pour ces fréquences, le circuit se réduit à un simple circuit-série comportant r_p , R_{pw} , R_{sw}/n^2 , L_L et C . En un certain point de la courbe, on constate un effet de résonance produit par L_L et C .

La section du fil à employer pour cet enroulement dépend de l'intensité du courant qui le traverse; nous prendrons comme valeur celle indiquée par le constructeur de lampes pour le courant anodique moyen du tube. Dans le cas d'une pentode finale courante, cette intensité est généralement de l'ordre de 36 milliam-pères. En adoptant pour le fil cuivre une intensité de 2,5 ampères par mm^2 de section, nous trouvons que le diamètre du fil nécessaire pour cet enroulement doit être de 0,14 mm (soit 14/100) - voir la 39ème leçon.

Il nous faut maintenant calculer le nombre de tours du secondaire. Nous avons supposé que notre transformateur de sortie devait être prévu pour alimenter la bobine mobile d'un haut-parleur, laquelle est composée d'un enroulement de peu de tours, dont l'impédance est très faible. Les valeurs courantes, pour cette impédance, sont comprises entre 2 et 4 ohms, et nous prendrons à titre d'exemple la valeur de 3,2 ohms. Notre transformateur devra servir à adopter l'impédance de la bobine mobile (3,2 ohms) à celle de la lampe (charge optimum: 7 000 ohms); le rapport des impédances est égal au carré du rapport des nombres des tours primaire et secondaire. Il s'ensuit qu'inversement, le rapport du nombre des tours sera égal à la racine carrée du rapport des impédances.

Dans notre cas, nous aurons:

$$k = \sqrt{Z_p : Z_s} = \sqrt{7\,000 : 3,2} = \sqrt{2\,187} = \sqrt{46,7}$$

Connaissant k (rapport du nombre des tours), on calcule le nombre de tours du secondaire en divisant le nombre de tours du primaire (2 970) par k (46,7):

$$N_s = 2\,970 : 3,2 = 63$$

Pour tenir compte des pertes, il convient de majorer de 10% le nombre de tours donnés par cette formule, ce qui nous donne $63 + 6,3 = 69,3$, que nous arrondissons à 70 tours.

Pour trouver la section du fil de cet enroulement secondaire, il suffit de calculer l'intensité du courant qui le traverse; l'intensité est donné par la formule:

$$I = \sqrt{W : Z_s}$$

dans laquelle, W est la puissance modulée en watts et Z_s , l'impédance du secondaire.

Nous aurons donc:

$$I = \sqrt{3,5 : 3,2} = \sqrt{1,09} = 1,04$$

soit 1 ampère. Pour une intensité du courant de 1 ampère, le diamètre du fil de cuivre doit être de 0,70 mm.

Ajoutons que, si un des enroulements du transformateur est parcouru — en plus du courant modulé — par une composante continue (le courant anodique de la lampe finale), il faut prévoir un entrefer (interruption du circuit magnétique), pour éviter la saturation du circuit par le champ magnétique constant créé par ce courant continu. (44ème leçon).

La valeur de l'impédance du primaire est étroitement liée à l'épaisseur de cet entrefer; un calcul exact est assez problématique en raison de l'influence de la fréquence et de la section du circuit magnétique.

La méthode la plus rationnelle, pour déterminer cet entrefer, consisterait à mesurer — au moyen d'un pont — l'impédance aux diverses fréquences, avec des valeurs différentes d'entrefer. Cette méthode est longue et peu pratique, aussi se contente-t-on, en général, d'insérer une feuille mince de carton, d'une épaisseur de quelques dixièmes de millimètre, entre le paquet de tôles en «M» et celui des tôles en «I».

CALCUL D'UN TRANSFORMATEUR DE LIAISON POUR « PUSH - PULL »

Donnons un autre exemple de calcul d'un transformateur B.F.: il concerne un transformateur de couplage entre une lampe du type 6V6GT et un push-pull de EL34 en classe AB₂. Le schéma d'un tel montage est donné dans la 55ème leçon (figure 9-B). La lampe destinée à alimenter deux pentodes en push-pull doit être, de préférence du type triode: le tube 6VGT sera donc utilisé en reliant l'écran à la plaque, ce qui le transforme en un tube à trois électrodes.

Les données relatives à la EL34 mentionnent une puissance de sortie maximum de 35 watts; pour fournir cette puissance, les deux tubes en push-pull doivent recevoir sur leurs grilles une tension signal de

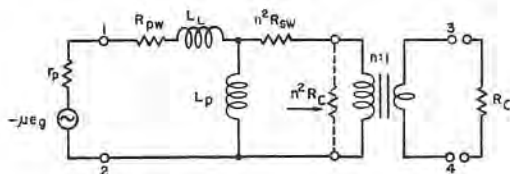


Fig. 8 - Dans le cas d'un transformateur de sortie, l'inductance de dispersion apparaît seulement au primaire; les réactances capacitives sont négligeables; en conséquence la pointe de résonance constatée dans le transformateur de couplage entre étages n'existe plus. Pour obtenir une réponse sensiblement symétrique aux deux extrémités de la gamme, il faut réaliser un compromis dans le choix de la valeur de L_p .

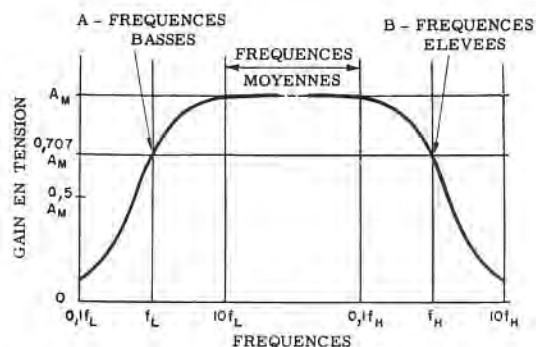


Fig. 9 - Courbe de réponse d'un transformateur de sortie; elle est semblable à celle obtenue par un couplage R-C. A et B indiquent deux niveaux à demi puissance.

21 volts (entre chaque grille et la masse). Le secondaire de notre transformateur devra donc pouvoir fournir une tension totale de 42 volts, soit 21 volts entre chaque extrémité et la prise médiane.

Montée en triode, la 6V6GT a un coefficient d'amplification de 9,8. Pour avoir une faible résistance dans le circuit de grille des lampes finales, nous adopterons un transformateur de rapport total égal à 1 : 1 (soit 1 : 0,5 pour chaque demi-secondaire). Nous devons donc avoir aux bornes du primaire une tension de signal égale à celle nécessaire aux bornes du secondaire (42 volts).

La tension du signal sur la grille de la 6V6GT sera égale à celle de sortie divisée par le coefficient d'amplification du tube, soit $42 : 9,8 = 4$ volts environ.

Dans le cas d'un transformateur de couplage entre étages, on ne peut parler véritablement de puissance de sortie; pour calculer la section du circuit magnétique, on choisit une section arbitraire, plus forte que celle qui serait strictement nécessaire. Ceci présente deux avantages: le circuit travaille toujours loin de sa saturation, et peut obtenir l'impédance nécessaire avec moins de tours de fil, ce qui permet de réaliser des enroulements ayant une faible résistance ohmique.

Dans notre cas, nous nous fixerons une puissance de 5 watts; la section du circuit magnétique sera donc égale à: $S_n = 2\sqrt{5} = 4,5$ environ.

Cette valeur, augmentée de 10%, donne une section brute de 5 cm², environ.

Le nombre des tours du primaire sera calculé par la formule habituelle:

$$N_p = \frac{250 \times 10^8}{4,5 \times 10\,000 \times 5 \times 50} = 2\,200 \text{ environ.}$$

La tension anodique de la 6V6GT est de 250 V; le calcul a été fait en adoptant une fréquence de coupure de 50 Hz. Notre primaire devra donc comporter 2 200 tours.

Le courant anodique d'une 6V6GT, montée en triode, est de 49,5 mA; en conséquence le diamètre du

fil de l'enroulement primaire (pour une densité de courant de 2,5 ampères par mm²) sera de 0,16 mm (16/100) - voir tableau 54.

Calculons, maintenant, le nombre de tours du secondaire. Le rapport de transformation étant égal à 1 : 1, le secondaire devra avoir, au total, un nombre de tours égal à celui du primaire; toutefois, pour tenir compte des pertes, on majore ce nombre de 10%. Il comportera donc $2\,200 + 220 = 2\,420$ tours, avec une prise médiane. Le courant qui passe dans le secondaire étant très faible (il ne se manifeste que pendant les pointes positives du signal), on n'en tient pas compte dans le calcul de la section du fil. Toutefois, comme la résistance ohmique de l'enroulement doit être aussi faible que possible, nous conseillons d'adopter le diamètre de fil trouvé plus haut pour le primaire.

Un courant continu (courant anodique) circule dans le primaire de ce transformateur, ce qui rend nécessaire la présence d'un entrefer dans le circuit magnétique. On procédera comme pour le transformateur de sortie de l'exemple précédent.

Nous indiquerons que les enroulements d'un tel transformateur doivent être réalisés de manière à présenter le moins de pertes possibles, ceci pour obtenir une bonne courbe de réponse. Un bon système consiste à bobiner le transformateur en trois sections séparées, de telle sorte que le primaire se trouve placé au milieu des deux demi-secondaires. Ceci peut être fait en employant une carcasse qui, outre les deux joues extrêmes, possède également deux joues intermédiaires. Le primaire sera bobiné entre ces deux dernières, tandis que les deux enroulements secondaires prendront place de part et d'autre. Ces deux demi-secondaires devront comporter la même longueur de fil de cuivre pour avoir exactement la même résistance ohmique. Ainsi, en tenant compte de la faible chute de tension se produisant au moment de la naissance du courant grille, pendant les pointes positives du signal, les deux moitiés du secondaire seront équilibrées, et le signal de sortie sera parfaitement symétrique.

Leçon n° 59

LES AUTOTRANSFORMATEURS

Dans les leçons 37, 38 et 39, nous avons étudié à fond la technique des transformateurs d'alimentation leur calcul et leur construction pratique. Il existe, toutefois, un autre type de transformateurs, fonctionnant sur des principes absolument analogues, mais qui diffèrent principalement en ce qui concerne le calcul des puissances en jeu et, en conséquence, les dimensions de leurs éléments: nous voulons parler des autotransformateurs déjà cités en maintes occasions.

L'autotransformateur n'est autre chose qu'un **transformateur à un seul enroulement**; il peut fournir diverses tensions, sous des intensités différentes, selon les caractéristiques électriques de la charge branchée à ses bornes.

Il est facile de comprendre que, par ce dispositif, on peut changer la valeur d'une tension sans pour cela recourir à deux circuits séparés, isolés électriquement entre eux, comme dans les transformateurs ordinaires.

Ainsi que le représentent les **figure 1-A** et **B**, un autotransformateur est constitué par un enroulement, bobiné sur un circuit magnétique, comportant au moins une prise intermédiaire. Les prises intermédiaires peuvent être en nombre quelconque, selon les exigences du montage.

La caractéristique la plus importante d'un autotransformateur est que, bien qu'il s'agisse d'un transformateur, il ne comporte pas d'enroulements séparés — l'un étant le primaire, tandis que l'autre, ou les autres sont les secondaires recueillant les tensions induites par le champ magnétique produit par le courant circulant dans le primaire — mais, au contraire, il ne comporte qu'un seul enroulement dont une partie est commune au primaire comme aux secondaires.

Dans un autotransformateur les tensions sont également proportionnelles au nombre de spires: si une tension primaire de 100 volts — par exemple — est appliquée à une partie de l'enroulement constituée par 100 tours de fil, la tension aux bornes d'une partie de cet enroulement comportant 150 tours, sera de 150 volts.

Une seconde caractéristique de l'autotransformateur est que, de même que les transformateurs, il peut fonctionner soit comme élévateur, soit comme réducteur de tension.

Dans le premier cas, la tension primaire, normalement représentée par le symbole E_p , est plus faible que la tension secondaire, E_s , et inversement.

L'autotransformateur présente certains avantages et

certains inconvénients par rapport au transformateur; examinons, tout d'abord, les avantages.

La figure 1-A, représente schématiquement un transformateur élévateur de tension dans lequel nous supposons le rapport de transformation égal à 1,5. Cela signifie que le nombre de tours du secondaire est égal à 1,5 fois le nombre de tours du primaire.

Supposons qu'aux bornes du primaire, ayant un nombre de tours adéquat, soit appliquée une tension de 100 volts fournie par un générateur, et qu'aucune charge ne soit branchée au secondaire. Dans un tel cas, on dit que l'autotransformateur fonctionne « à vide ».

Bien qu'aucune charge ne consomme l'énergie disponible, le primaire forme néanmoins un circuit fermé vis-à-vis de la tension d'alimentation. Comme il s'agit de courant alternatif, le primaire oppose à cette tension une certaine impédance dont la valeur détermine l'intensité du courant passant dans l'enroulement.

L'intensité du courant en l'absence de charge est représentée par le symbole I_0 . Le courant alternatif, en passant dans un enroulement, crée un champ magnétique variable qui induit une tension alternative de même fréquence, de polarité opposée et d'intensité inversement proportionnelle à la tension, dans tout enroulement couplé inductivement au champ magnétique. En conséquence, une tension, et donc un courant, de polarité opposée est induite aussi bien dans l'enroulement extérieur à celui considéré comme primaire, que dans le primaire lui-même.

Supposons maintenant que sur le secondaire, c'est-à-dire dans notre cas, une charge nécessitant une tension de 150 volts pour son fonctionnement soit branchée aux bornes de l'enroulement tout entier. Cette tension est disponible grâce au rapport de transformation égal à 1,5; l'intensité du courant sera proportionnelle et dépendra de la puissance de l'autotransformateur et des caractéristiques de la charge.

Si nous considérons le seul circuit secondaire, nous savons qu'il y passe un courant I_s , absorbé par la charge, et que ce courant (en tenant compte de ses valeurs instantanées) a une certaine polarité. Par contre, dans le circuit primaire, **deux courants** circulent: l'un est I_0 qui passe avec ou sans charge, et l'autre est I_p (courant primaire), qui est fonction de la puissance dissipée au secondaire.

I_0 et I_p sont en phase; en conséquence **ils s'ajoutent et forment le courant primaire total**. Par contre, le courant I_s , qui passe également dans la partie de l'en-

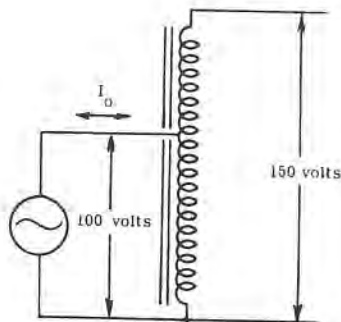


Fig. 1 A - La figure représente schématiquement un autotransformateur élévateur, dans lequel on suppose que le rapport de transformation est 1,5. Cela signifie que le nombre de spires secondaires est égal à une fois et demie le nombre de spires primaires. La tension primaire est inférieure à la tension secondaire. I_o représente le courant à vide.

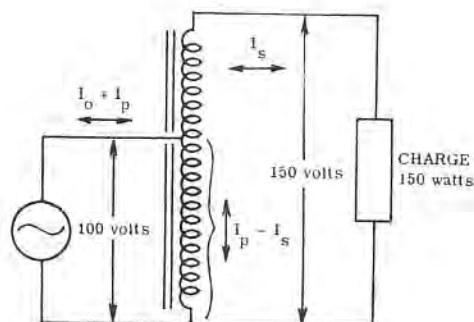


Fig. 1 B - Dans un autotransformateur, les courants I_o et I_p sont en phase. Ils s'additionnent donc et constituent le courant primaire total. Vice versa, en branchant une charge convenable, l'intensité du courant dans la partie commune aux deux circuits est égale à la différence des courants primaire et secondaire, c'est-à-dire à $I_p - I_s$.

roulement commune au primaire et au secondaire, est déphasé de 180° sur le courant primaire I_p . Etant de polarités opposées, ces deux courants se soustraient l'un de l'autre. Il s'ensuit que le courant passant dans la partie de l'enroulement commune au circuit primaire et au circuit secondaire est égal à la différence entre les deux courants I_p et I_s .

Voyons, maintenant, comment nous pouvons étudier quantitativement ce phénomène. Supposons que la charge dissipe une puissance de 150 watts. C'est cette puissance qui devra être dissipée dans le circuit primaire. Du moment que la puissance est égale au produit de la tension par l'intensité du courant, nous pouvons calculer le courant secondaire, I_s , au moyen de la formule:

$$I_s = \frac{\text{puissance secondaire}}{\text{tension secondaire}} = \frac{150}{150} = 1 \text{ ampère.}$$

On peut faire le même calcul pour le courant primaire: en effet, puisque la puissance dissipée par le primaire est toujours de 150 watts, la même formule nous donne:

$$I_p = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ ampère}$$

En théorie, nous aurons donc un courant de 1 ampère dans le circuit secondaire et un courant de 1,5 ampère dans le circuit primaire. Mais nous venons de voir que les deux courants sont en opposition de phase et que, en conséquence, ils se soustraient l'un de l'autre; il en résulte que, dans la partie de l'enroulement commune aux deux circuits, il passera un courant de $1,5 - 1 = 0,5$ ampère.

Nous pouvons donc affirmer que la partie de l'enroulement commune aux deux circuits pourra être bobinée en fil de plus faible section que celle qui serait nécessaire si les deux enroulements étaient séparés. Ceci constitue un des avantages les plus évidents de l'autotransformateur.

Considérons maintenant le cas opposé, celui de la

figure 2-A. On a représenté, ici, un autotransformateur semblable au précédent, avec la seule différence qu'il fonctionne en réducteur de tension. En d'autres termes, nous disposons maintenant d'une tension primaire de 150 volts et nous désirons obtenir une tension secondaire de 100 volts. Le rapport entre ces deux tensions (qui est égal au rapport du nombre de tours) est de $100 : 150 = 0,66$. Dans ces conditions, le nombre des tours du secondaire sera égal à 0,66 fois celui du primaire.

Supposons que — dans ce cas également — la puissance dissipée par la charge reliée au secondaire soit de 150 watts (voir figure 2-B). En appliquant la même formule que précédemment, nous trouvons que le courant passant dans le secondaire a une intensité de 1,5 ampère, tandis que celle du primaire est de 1 ampère. Nous nous trouvons donc dans les mêmes conditions que tout à l'heure: là encore le courant, passant dans la partie de l'enroulement commune aux deux circuits, est égal à la différence des deux courants (primaire et secondaire).

Si l'on examine à fond ce phénomène, on se trouve en présence d'une situation apparemment absurde: dans les deux cas, la partie de l'enroulement qui est commune fait partie d'un circuit (primaire dans le premier cas et secondaire dans l'autre), dans lequel passe un courant de 1,5 ampère, bien que cet enroulement en série avec le circuit soit lui-même parcouru par un courant plus faible. Ce phénomène ne peut s'expliquer que si l'on considère que les deux courants qui passent simultanément dans le fil de l'enroulement, se neutralisent, partiellement, l'un l'autre, du fait qu'ils circulent en sens opposés. Cela n'empêche pas, toutefois, que chaque électron intéressé ne produise sa propre quantité d'énergie magnétique.

Pour cette raison nous trouvons, dans le domaine des autotransformateurs, un nouveau concept de la puissance, la **puissance de transformation**, représentée par le symbole P_t .

Etant donné que la puissance est égale au produit du courant par la tension, et que seule une partie des courants en présence existe en théorie, alors qu'en

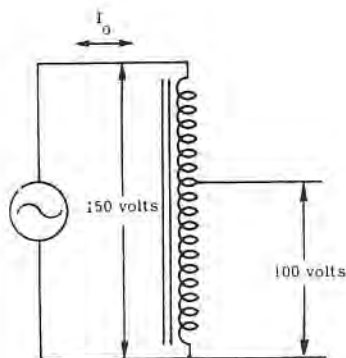


Fig. 2 A - Autotransformateur réducteur de tension. La tension primaire est supérieure à la tension secondaire. Il existe toujours un courant à vide.

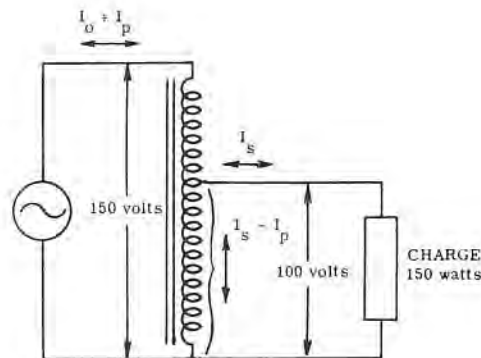


Fig. 2 B - Dans ce cas, également, l'intensité du courant dans la partie commune est égale à la différence entre les deux. Elle est égale à $I_s - I_p$, et non à $I_p - I_s$.

réalité ils sont partiellement neutralisés, il est logique d'admettre que la puissance effective, servant de base au calcul des dimensions du circuit magnétique, et par suite des dimensions de l'autotransformateur tout entier, soit différente de celle que l'on aurait si le primaire et le secondaire étaient séparés.

Le fait qu'une portion de l'enroulement soit parcourue par un courant d'intensité plus faible que celle circulant dans le circuit extérieur, et que la puissance en jeu soit plus faible que celle réellement dissipée, permet de construire l'autotransformateur dans des dimensions plus réduites que celles qui seraient nécessaires pour un transformateur (à enroulements séparés) qui aurait les mêmes caractéristiques électriques. Cela constitue donc un second avantage.

Les inconvénients présentés par les autotransformateurs — par contre — sont essentiellement au nombre de deux: avant tout, l'autotransformateur ne convient plus lorsque le rapport de transformation est trop élevé. En pratique, on préfère employer des transformateurs à enroulements séparés lorsque ce rapport de transformation est supérieur à 4, étant donné que, dans ces conditions, l'économie n'existe plus. En outre, l'extra-courant de rupture et de fermeture du circuit atteint des valeurs telles qu'il faut prévoir un très fort isolement, ce qui augmente les dimensions effectives. En second lieu, du moment que le primaire et le secondaire sont en contact direct entre eux, il n'est pas possible d'isoler électriquement le circuit d'utilisation de celui d'alimentation, comme cela est possible avec un transformateur. Très souvent cet isolement est nécessaire car, dans le cas contraire, l'appareil alimenté se trouve directement relié au secteur électrique, de telle sorte que les parties métalliques (châssis) peuvent être dangereuses à toucher.

Le domaine d'utilisation des autotransformateurs est très vaste: ils sont employés dans les laboratoires de construction et de réparation d'appareils électroniques pour amener la tension du secteur à la tension convenant à l'alimentation des appareils, ou pour compenser momentanément les variations possibles de la tension du réseau, etc...

Bien qu'ils soient disponibles, dans le commerce, dans un grand nombre de types et de caractéristiques différents, nous estimons qu'il est utile de détailler leur mode de calcul, tout comme nous l'avons fait, en son temps pour les transformateurs.

CALCUL DES AUTOTRANSFORMATEURS

Un transformateur, nous l'avons dit, doit pouvoir fonctionner aussi bien en élévateur qu'en réducteur de tension. Dans les deux cas, une caractéristique reste constante: la puissance disponible au secondaire.

Une fois déterminée la puissance maximum que l'on désire au secondaire, il est possible de calculer rapidement la puissance de transformation, qui servira à prévoir les dimensions du circuit magnétique et, donc, du dispositif tout entier.

Nous pouvons pratiquement considérer deux cas, qui sont:

1°) Autotransformateur élévateur de tension.

La puissance de transformation est alors donnée par:

$$P_t = \text{Puissance de sortie} \left(1 - \frac{\text{tension d'entrée}}{\text{tension de sortie}} \right)$$

2°) Autotransformateur réducteur de tension.

La puissance de transformation est alors donnée par:

$$P_t = \text{Puissance de sortie} \left(1 - \frac{\text{tension de sortie}}{\text{tension d'entrée}} \right)$$

Comme nous l'avons dit plus haut, la puissance de transformation est une donnée qui caractérise un autotransformateur déterminé, car c'est cette base qui sert au calcul des dimensions du circuit magnétique. Etant donné que les rapports $E_s : E_p$, dans le premier cas, et $E_s : E_p$, dans le second, sont toujours plus pe-

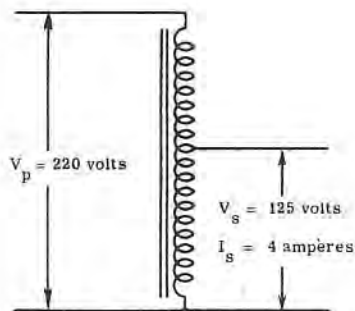


Fig. 3 - Schéma électrique de l'autotransformateur dont le procédé de calcul est expliqué dans le texte. Il est prévu pour l'application d'une tension d'alimentation primaire (V_p) de 220 volts et pour une tension secondaire de 125 volts avec un courant maximum de 4 ampères. La puissance qui peut se dissiper en sortie est de 500 volts-ampères.

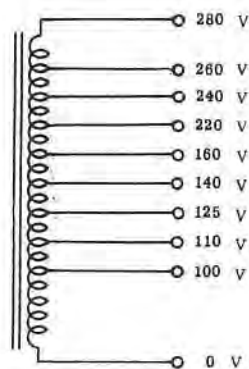


Fig. 4 - Schéma électrique faisant l'objet du 2ème exemple exposé dans le texte. Comme on le voit, on peut disposer de toutes les tensions comprises entre 100 et 280 volts, c'est-à-dire 100, 110, 125, 140, 160, 220, 240, 260 et 280 V. La puissance maximum effective disponible en sortie est de 500 volts-ampères. Une telle puissance est certainement suffisante pour alimenter plusieurs appareils en même temps.

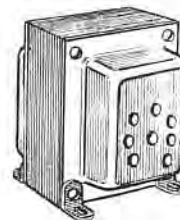


Fig. 4 bis - L'autotransformateur dont le schéma électrique est représenté sur la figure 4, peut se présenter en pratique comme illustré ci-dessus. Mise à part une série de douilles sur les deux calottes, il est semblable à un transformateur ordinaire.

tits que 1 — comme nous le verrons —, la puissance de transformation est toujours égale au produit de la puissance de sortie (c'est-à-dire la puissance dont on peut disposer au secondaire) par un nombre égal à l'unité, duquel on a soustrait un nombre également inférieur à l'unité. Il en résulte que P_t est toujours inférieure à la puissance de sortie, ce qui permet une diminution de l'encombrement et, par conséquent, du poids et du prix de revient.

Incidentement, il convient de remarquer que, si nous admettons que le poids de cuivre nécessaire au bobinage d'un enroulement donné est proportionnel au produit du nombre de tours par l'intensité du courant qui y passe, le rapport entre un tel produit, dans le cas d'un autotransformateur, et celui que l'on trouve pour un transformateur permettant les mêmes performances, met nettement en évidence les avantages économiques de l'autotransformateur.

Incidentement, il convient de remarquer que, si nous admettons que le poids de cuivre nécessaire au bobinage d'un enroulement donné est proportionnel au produit du nombre de tours par l'intensité du courant qui y passe, le rapport entre un tel produit, dans le cas d'un autotransformateur, et celui que l'on trouve pour un transformateur permettant les mêmes performances, met nettement en évidence les avantages économiques de l'autotransformateur.

EXEMPLES DE REALISATIONS

Tout comme lors du calcul d'un transformateur d'alimentation, il faut déterminer tout d'abord les éléments ci-après: 1) La puissance en jeu; 2) la section du circuit magnétique; 3) la section des fils de cuivre; 4) le facteur tours par volt; 5) les dimensions des tôles.

Dans un autotransformateur ainsi que nous l'avons dit ce n'est plus la puissance primaire ou la puissance secondaire qui conditionne les dimensions du circuit magnétique, mais plutôt la puissance de transformation. Pour mieux comprendre le calcul, donnons quelques exemples.

1er exemple

Calculons un autotransformateur simple, permettant d'obtenir, à partir d'une tension primaire donnée, une certaine tension secondaire, sous une intensité de courant déterminée. Supposons, donc, que la tension et le courant devant passer dans la charge soient respectivement 125 volts et 4 ampères, et que la tension du réseau d'alimentation électrique (tension au primaire) soit de 220 volts.

C'est le cas illustré par la figure 3, où l'on note que:

$$V_p = 220 \text{ volts} \quad V_s = 125 \text{ volts} \quad I_s = 4 \text{ ampères}$$

Spécifions bien que, dans cet exemple, il s'agit de réaliser un autotransformateur destiné uniquement à fonctionner en réducteur de tension, c'est-à-dire à fournir une tension de sortie inférieure à la tension d'entrée.

Calcul de la puissance de transformation — Comme nous le savons, la puissance totale de sortie, P_u , est donnée par le produit de la tension par le courant au secondaire: dans notre cas, elle est égale à $125 \times 4 = 500$ volts-ampères.

S'il s'agissait du calcul d'un transformateur, nous tirerions de cette valeur la puissance au primaire, ce qui nous donnerait la section du circuit magnétique. Puisqu'il s'agit, ici, d'un autotransformateur, nous devons tout d'abord calculer la puissance transformée, qui est égale à:

$$P_t = P_u \left(1 - \frac{V_s}{V_p}\right) = 500 \left(1 - \frac{125}{220}\right) = 500 (1 - 0,57)$$

$$\text{d'où: } P_t = 500 \times 0,43 = 215 \text{ VA.}$$

Comme on le voit, la puissance de transformation — dans ce cas — est inférieure à la moitié de la puissance totale. Il apparaît donc immédiatement que les dimensions de l'autotransformateur seront très inférieures à celles d'un transformateur qui permettrait des mêmes performances.

Calcul de la section du circuit magnétique: Dans la 38ème Leçon, nous avons la formule permettant le cal-

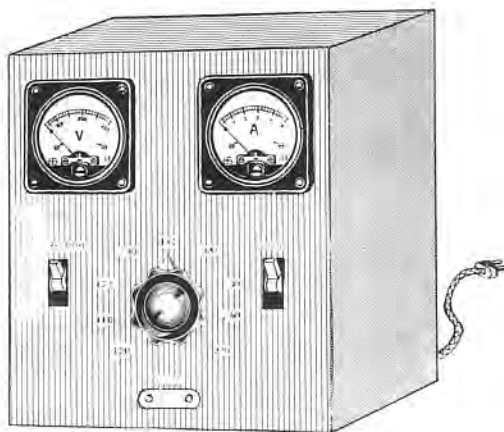


Fig. 5 - Vue extérieure de l'autotransformateur de laboratoire décrit dans le texte. Les deux instruments permettent la mesure de la tension et de l'intensité du courant de sortie. L'interrupteur de gauche (arrêt-marche) branche la tension du réseau, tandis que celui de droite multiplie par 10 la sensibilité propre de l'ampèremètre (0,5 A) en plaçant un shunt à ses bornes; on dispose, ainsi de deux échelles, 0-0,5 A et 0-5 A, permettant des lectures précises d'intensités. La tension de sortie est prélevée aux deux douilles situées au centre, dans le bas du coffret, et sa valeur est choisie au moyen du contacteur central. L'entrée du secteur se fait sur un répartiteur de tension, avec fusible, placé à l'arrière de l'appareil.

cul de la section nette du circuit magnétique d'un transformateur. Cette formule reste valable pour les autotransformateurs. Toutefois, pour éviter les calculs, pourtant relativement simples, on peut utiliser l'abaque de la page 309.

Nous basant sur une puissance transformée de 215 VA, nous trouvons que, pour cette puissance, la section nette du noyau doit être de 22 cm². La section brute correspondante sera de 24,5 cm², avec des tôles de 0,35, ou, encore, de 25,5 cm² avec des tôles de 0,5 mm d'épaisseur.

L'autotransformateur n'est pas un appareil particulièrement délicat, et son fonctionnement n'indique pas d'exigences spéciales; on peut donc conseiller l'emploi de tôles de 0,5 mm.

Calcul de la section des fils: Il est évident que, dans le cas d'un autotransformateur également, la section des fils à employer dépend de l'intensité du courant passant dans l'enroulement. Sachant que l'intensité du courant secondaire est de 4 ampères, il nous reste à calculer l'intensité du courant passant effectivement dans le primaire, ou encore, dans la portion d'enroulement correspondante.

En appliquant la formule donnant l'intensité du courant, en divisant la puissance par la tension, nous pouvons trouver la valeur que nous désirons connaître. Nous avons vu, au début de cet exemple, que la puissance maximum prévue est de 500 volts/ampère (4×125). En conséquence, le courant primaire correspondant à cette puissance sera égal au quotient de la puissance maximum par la tension au primaire, soit à $500 : 220 = 2,27$ ampères.

Il convient, maintenant, de se rappeler qu'avec un courant de 4 ampères dans le circuit de sortie, courant en opposition de phase avec le courant du circuit d'entrée, dans la partie de l'enroulement qui est commune aux deux circuits passe en réalité un courant effectif égal à la différence entre le plus fort et le plus faible. Le courant primaire, dans la portion commune de l'enroulement, aura donc une intensité égale à:

$$I_p = 4 - 2,27 = 1,73 \text{ ampères}$$

Nous sommes maintenant en possession de tous les éléments nécessaires au calcul de la section du fil de cuivre. Si nous admettons une densité de courant de 2,5 ampères par mm², ce qu'il est d'usage de faire pour les autotransformateurs, afin de permettre un service prolongé sans échauffement excessif, le diamètre du fil de cuivre sera donné par la formule:

$$\text{Diamètre du fil} = 0,7 \sqrt{\text{courant}}$$

L'intensité du courant primaire étant de 2,27 ampères, le diamètre du fil pour cette portion de l'enroulement sera de:

$$\text{Diamètre fil primaire} = 0,7 \sqrt{2,27} = 0,7 \times 1,5 \text{ (environ)} = 1,05 \text{ mm.}$$

que l'on peut arrondir à 1 mm.

Dans la portion d'enroulement commune aux deux circuits, partie constituant le secondaire tout entier, il passe un courant de 1,73 ampères. Le diamètre du fil de cuivre pour un tel courant, calculé au moyen de la même formule, sera de 0,93 mm (que l'on peut arrondir à 0,95). Ces diamètres peuvent également être trouvés, avec une bonne approximation, au moyen de la table de la page 311.

Calcul du nombre de tours: Ainsi que nous l'avons vu en son temps, lors de l'étude sur les transformateurs, le nombre de tours des enroulements a une importance fondamentale sur la densité de flux que le courant crée à l'intérieur du noyau; particulièrement en raison du fait que, si un nombre de tours trop important diminue le rendement, un nombre insuffisant amène le noyau au point de saturation, avec tous les inconvénients que cela comporte. Nous nous fixerons, également dans ce cas, une densité de flux de 1 weber par m² ou 1 tesla (le tesla étant égal à 1 weber par mètre carré ou à 10⁴ gauss par centimètre carré), toujours pour des tôles de fer au silicium. Dans ces conditions nous pourrions appliquer aux autotransformateurs la formule selon laquelle le nombre de tours par volt est égal au quotient du nombre fixe 45, par la section nette (qui — dans notre exemple — est de 22 cm²). Le nombre de tours par volt sera donc de:

$$45 : 22 = 2 \text{ (environ)}$$

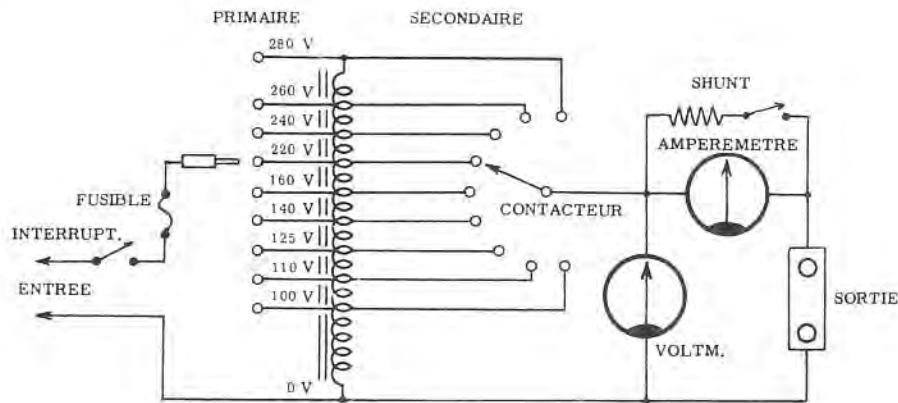


Fig. 6 - Schéma électrique de l'autotransformateur de la figure 5. Le fusible placé en série dans le circuit primaire protège l'appareil contre des courts-circuits éventuels. Cet autotransformateur sera placé dans un coffret en tôles de fer pour éviter tout rayonnement susceptible de perturber le fonctionnement des appareils voisins.

L'enroulement primaire, c'est-à-dire tout l'enroulement soumis à la tension d'alimentation de 220 volts, devra donc comporter $220 \times 2 = 440$ tours.

Une portion de cet enroulement constitue le secondaire, qui devra comporter $125 \times 2 = 250$ tours.

Etant donné que la portion commune de l'enroulement est celle parcourue par un courant plus faible, on bobinera 250 tours avec un fil de cuivre de 0,95 mm de diamètre, que l'on fera suivre par $440 - 250 = 190$ tours, bobinés avec du fil de 1 mm de diamètre.

Dimensions des tôles : Il ne nous reste plus qu'à calculer approximativement l'encombrement des enroulements pour déterminer les dimensions des tôles du circuit magnétique. Le tableau 54 (page 311) nous indique qu'avec un fil de cuivre émaillé de 0,95 mm de diamètre, nous pouvons bobiner 86 tours par cm^2 de section, tandis qu'avec un fil de 1 mm, on peut en bobiner 72. En conséquence, l'encombrement des deux sections de l'enroulement sera respectivement de :

$$250 : 86 = 2,9 \text{ cm}^2 \text{ environ}$$

$$190 : 72 = 2,6 \text{ cm}^2 \text{ environ}$$

soit un total approximatif de $5,5 \text{ cm}^2$. Ceci ne concerne que l'encombrement net du seul fil de cuivre constituant l'enroulement; il faut donc y ajouter les épaisseurs des couches de papier intercalées, de la carcasse sur laquelle l'enroulement est effectué, du ruban isolant recouvrant les enroulements terminés, ainsi que de l'épaisseur supplémentaire introduite par la présence de la prise intermédiaire. Tout cela provoque une augmentation de l'ordre de 60% de l'encombrement net, qui devient donc égal à :

$$5,5 \text{ cm}^2 + 3,3 \text{ cm}^2 = 8,8 \text{ cm}^2 \text{ environ}$$

Telle devra être la surface de la fenêtre dans laquelle sera logé l'enroulement. Il nous suffit, alors, de choisir un type de tôles permettant d'obtenir une section de $25,5 \text{ cm}^2$ (brute), avec une fenêtre de $8,8 \text{ cm}^2$ environ.

2ème exemple

Proposons nous, maintenant, de calculer un autre modèle d'autotransformateur, plus compliqué : un autotransformateur de laboratoire, par exemple, permettant de disposer de plusieurs tensions d'entrée (secteur) et de sortie (utilisation). La puissance prévue est de 500 volts-ampères, ce qui est suffisant pour alimenter plusieurs appareils à la fois, et les tensions de fonctionnement, aussi bien au primaire qu'au secondaire, sont les suivantes : 100, 110, 125, 140, 160, 220, 240, 260 et 280 volts.

La figure 4 donne la représentation schématique de cet autotransformateur qui pourra être placé dans un coffret (représenté figure 5) comportant les instruments de mesure (voltmètre et ampèremètre), le contacteur et les prises de courant. Le contacteur, commandé par un bouton placé sur la face avant du coffret, sera de dimension suffisante pour que ses contacts puissent supporter le passage du courant maximum sans échauffement et sans introduire une trop grande résistance. Les prises du primaire seront reliées à un répartiteur de tension, muni d'un fusible, tandis que la tension de sortie sera disponible sur deux douilles reliées, respectivement, à une extrémité de l'autotransformateur et au bras central du contacteur (voir figure 6). De cette façon on pourra faire varier la tension de sortie par la seule manoeuvre du bouton du contacteur. La figure 6 donne le schéma complet d'un autotransformateur de laboratoire, comportant un voltmètre et un ampèremètre (tous deux à fer mobile), destinés au contrôle de la tension et du courant de sortie.

Supposons — comme il est logique de le faire — que cet appareil puisse servir aussi bien à élever qu'à réduire la tension du réseau, pouvant ainsi fournir une tension de sortie variant depuis 100 volts, sous 5 ampères, jusqu'à 280 volts, sous 1,78 ampères environ, avec toutes les valeurs intermédiaires.

Dans tous les cas, le produit de la tension par l'intensité du courant sera égal à 500. En conséquence, les intensités des courants pour les diverses tensions intermédiaires seront inversement proportionnelles à la

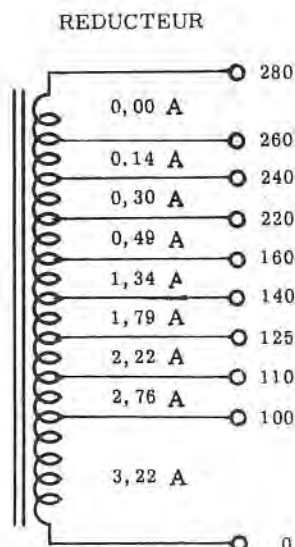


Fig. 7 A - L'intensité maximum du courant passant dans les différentes parties de l'enroulement, lorsque l'autotransformateur fonctionne en réducteur de tension, est de 3,22 ampères entre 0 et 100 volts, après quoi elle diminue progressivement. Dans la portion comprise entre 260 et 280 volts, l'intensité est théoriquement nulle, si l'on ne tient pas compte du courant à vide, I_0 . Notons que l'entrée, fonctionnant comme réducteur, est constamment appliquée entre la borne et la prise de 280 volts et que le courant primaire minimum est égal à $500 : 280 = 1,78$ ampère.

tension. La puissance maximum d'utilisation sera donc de 500 volts-ampères, dans tous les cas.

Refaisons, pour ce second exemple, tous les calculs faits précédemment; cela est très utile car il ne sont pas absolument identiques dans les deux cas.

Calcul de la puissance de transformation: Ainsi que nous l'avons dit, cet autotransformateur doit fonctionner aussi bien comme élévateur que comme réducteur de tension. En faisant application des deux formules donnant la puissance de transformation, dans les deux cas extrêmes, nous obtenons (en arrondissant).

- 1) En élévateur de tension.

$$P_t = 500 \left(1 - \frac{100}{280}\right) = 500 \times 0,65 = 325 \text{ VA.}$$

- 2) En réducteur de tension.

$$P_t = 500 \left(1 - \frac{100}{280}\right) = 500 (1 - 0,35) = 325 \text{ VA.}$$

Comme on le voit, dans les deux cas extrêmes, c'est-à-dire pour ceux où l'on a la tension d'entrée la plus élevée, pour la tension de sortie la plus réduite, la puissance de transformation (qui est la donnée nécessaire au calcul de l'autotransformateur) est toujours inférieure à la puissance effective d'utilisation qui est de 500 volts-ampères.

Si — avec un peu de patience — nous appliquons les formules pour toutes les combinaisons possibles de tensions d'entrée et de sortie, nous remarquerions que la puissance de transformation n'est pas constante. Par exemple, si nous appliquons une tension de 160 volts à l'entrée et que nous prélevons la même tension en sortie, il est évident que l'autotransformateur n'accomplit aucun travail et que, dans ce cas, il se trouve simplement placé en parallèle sur la ligne. Dans ces conditions, la puissance transformée sera égale à :

$$P_t = 500 \left(1 - \frac{160}{160}\right) = 500 (1 - 1) = 0$$

Ceci constitue un cas limite où la puissance de transformation est nulle. Par contre, si nous calculons P_t pour 140 volts à l'entrée et 220 volts à la sortie, nous obtenons :

$$P_t = 500 \left(1 - \frac{140}{220}\right) = 500 (1 - 0,635)$$

d'où :

$$P_t = 500 \times 0,365 = 182,5 \text{ VA.}$$

Dans tous les cas quelle que soit la combinaison, nous trouverons toujours une valeur pour P_t inférieure à celle trouvée pour les deux cas extrêmes. Toutefois, étant donné qu'il peut arriver que l'on utilise l'autotransformateur dans de telles conditions (cas extrême), nous devons calculer la section du circuit magnétique en conséquence. En procédant ainsi, l'autotransformateur sera suffisamment dimensionné pour pouvoir fournir la puissance maximum et, dans les autres cas, la section magnétique plus importante que nécessaire n'amènera aucune perturbation.

Calcul de la section du circuit magnétique: En utilisant l'abaque, de la page 309, nous trouvons que, pour une puissance de 325 volts-ampères, la section nette doit être de 27 cm², et que, pour des tôles de 0,5 mm d'épaisseur, la section brute correspondante est de 31,5 cm².

Calcul du diamètre des fils: Le diamètre des fils utilisés pour les enroulements est — nous le savons — directement proportionnel à l'intensité du courant qui y passe. Nous pouvons immédiatement calculer les valeurs maximales et minimales des courants, dans les cas extrêmes; nous aurons :

- 1) pour 100 volts à l'entrée et 280 volts à la sortie :
 $I_s \text{ max} = 500 : 280 = 1,78$ ampères

- 2) pour 280 volts à l'entrée et 100 volts à la sortie :
 $I_s \text{ max} = 500 : 100 = 5$ ampères

Nous reportant à la figure 7 (A et B), nous noterons les intensités des courants passant, dans les deux cas extrêmes, dans les diverses portions de l'enroulement, selon que l'autotransformateur fonctionne en réduc-

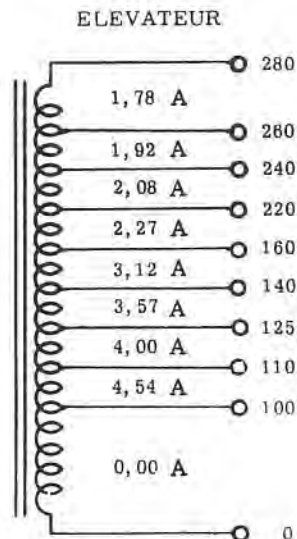


Fig. 7 B - On remarque que, lorsque l'autotransformateur fonctionne en élévateur de tension, les intensités sont plus fortes que dans le cas précédent. On n'a pas tenu compte du courant à vide I_0 dans la partie comprise entre 0 et 100 V. Les valeurs maximales du courant circulant dans les divers secteurs sont, dans ce 2ème cas, ceux qu'il faut prendre en considération pour permettre le fonctionnement de l'autotransformateur comme élévateur (puissance maximum) ou comme réducteur (puissance minimum).

teur de tension (entrée 280 volts et sortie sur les diverses tensions disponibles, à pleine charge de 500 VA.), ou bien en élévateur de tension (entrée 100 volts et sortie sur les diverses tensions disponibles, toujours à pleine charge).

Comme réducteur, l'entrée est toujours branchée entre le début de l'enroulement et la prise 280 volts. Le courant primaire minimal est égal à $500 : 280 = 1,78$ ampères. Si, dans ces conditions, nous prélevons, en sortie, une tension de 100 volts avec une intensité de 5 ampères, il passera un courant de 1,78 A entre la prise 280 V et la prise 100 V, tandis qu'entre cette dernière et le début de l'enroulement il passera un courant dont l'intensité sera de $5 - 1,78 = 3,22$ ampères. Par contre, si nous prélevons une tension de sortie de 110 V avec une intensité de $500 : 110 = 4,54$ A, nous aurons toujours un courant primaire de 1,78 A, qui passera entre la prise 280 V et la prise 110 V, tandis que dans la partie de l'enroulement comprise entre les prises 110 et 0, l'intensité du courant sera de $4,54 - 1,78 = 2,76$ A. Si nous continuons, ainsi, nous constatons que pour une sortie de 140 volts, le courant primaire, 1,78 A, circulera entre la prise 280 V et la prise 140 V, tandis qu'entre les prises 0 et 140 V l'intensité sera de $3,57 - 1,78 = 1,79$ A. Si nous augmentons encore la tension de sortie, en gardant constante la tension d'entrée fixée à 280 V, nous trouverons que les portions de l'enroulement comprises entre 140 et 280 V sont parcourues par des courants secondaires d'intensité inférieure à 1,78 ampères. Malgré cela, le fil utilisé pour ces portions d'enroulement ne pourra pas être de section plus faible que celle prévue pour le cas extrême, car il doit pouvoir laisser passer une intensité de 1,78 A, sans échauffement.

Considérons maintenant le fonctionnement en élévateur de tension (figure 7-B); en maintenant constante la tension d'entrée (100 V) entre le début de l'enroulement et la prise 100 V, et en prélevant en sortie toutes les tensions disponibles sous des intensités correspondant à la pleine charge, les diverses parties de l'enroulement sont parcourues par des courants dont nous allons calculer les intensités.

Avec un courant primaire de $500 : 100 = 5$ ampères, entre les prises 0 et 100 V le courant effectif (théorique) est nul (0 ampère). Si nous prélevons la tension de sortie sur la prise 110 V, nous aurons un courant secondaire de $500 : 110 = 4,54$ A, mais, toutefois, dans la portion d'enroulement commune au primaire, le courant de 5 ampères circule en sens opposé, on aura donc un courant résiduel de $5 - 4,54 = 0,46$ A. En conséquence, l'intensité de 4,54 A ne passera que dans la portion comprise entre les prises 100 et 110 V.

Si nous augmentons progressivement la tension de sortie nous trouvons un courant de 4 ampères entre 110 et 125 V; 3,57 A, entre 125 et 140 V; 3,12 A, entre 140 et 160 V; 2,27 A, entre 160 et 220 V; 2,08 A, entre 220 et 240 V; 1,92 A, entre 240 et 260 V et, enfin, 1,78 A, entre 260 et 280 V.

Les intensités des courants passant dans les diverses portions de l'enroulement sont plus grandes dans ce cas que dans le cas précédent (réducteur de tension); ce sont donc ces dernières valeurs que l'on doit adopter lorsque l'autotransformateur doit fonctionner aussi bien en réducteur qu'en élévateur de tension. Il sera ainsi convenablement dimensionné dans tous les cas.

Naturellement, les intensités ainsi calculées pourront être arrondies pour faciliter le choix du diamètre du fil nécessaire aux diverses parties de l'enroulement; ces diamètres pourront être facilement déterminés au moyen de la table 54, page 311 et seront les suivants: entre la prise 0 et la prise 100 V (où l'intensité du courant peut atteindre 3,22 A), on utilisera du fil de cuivre de 1,4 mm de diamètre; pour la portion comprise entre 100 et 110 V, le bobinage se fera avec du fil de 1,5 mm de diamètre; puis on poursuivra avec du fil de 1,4 mm jusqu'à 125 V, de 1,35 mm jusqu'à 140 V, de 1,30 mm jusqu'à 160 V, de 1,2 mm jusqu'à 220 V, de 1 mm jusqu'à 240 V, de 0,95 mm jusqu'à 260 V et, enfin, de 0,90 mm jusqu'à 280 volts.

On notera que la portion d'enroulement comprise entre 0 et 110 V n'est jamais parcourue par un courant d'intensité supérieure à 3,22 A, elle peut donc être bobinée en fil plus fin que la portion comprise entre 100

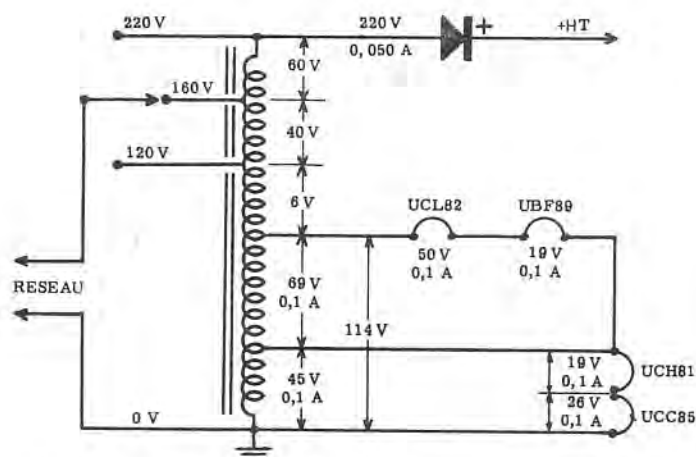


Fig. 8 - Schéma électrique de l'autotransformateur du 3ème exemple. Comme on le voit, la prise 220 V fournit la haute tension pour l'alimentation anodique des lampes; tandis que les deux prises basse tension alimentent les filaments des tubes de la façon suivante: de 0 à 45 V, 26+19 V sous 100 mA; de 45 à 114 V, 19+50 V sous 100 mA. Les prises 120 et 160 servent seulement à adapter le secteur, tandis que la prise 220 V, sert également à fournir la haute tension qui est redressée par le redresseur sec symbolisé dans le schéma.

et 110 V. ensuite, le diamètre du fil de cuivre tend à diminuer régulièrement.

Calcul du nombre de tours: Nous avons déjà appris, et appliqué en maintes occasions, le mode de calcul du facteur tours par volt. Dans notre cas, disposant d'un circuit magnétique de 27 cm² de section nette, le facteur tours par volt sera de $45 : 27 = 1,66$. En conséquence les différentes parties de l'enroulement seront effectuées comme suit:

de 0 à 100 V . .	$100 \times 1,66 = 166$ tours - fil de 1,4 mm
de 100 à 110 V . .	$10 \times 1,66 = 16$ tours - fil de 1,5 mm
de 110 à 125 V . .	$15 \times 1,66 = 25$ tours - fil de 1,4 mm
de 125 à 140 V . .	$15 \times 1,66 = 25$ tours - fil de 1,35 mm
de 140 à 160 V . .	$20 \times 1,66 = 33$ tours - fil de 1,30 mm
de 160 à 220 V . .	$60 \times 1,66 = 99$ tours - fil de 1,20 mm
de 220 à 240 V . .	$20 \times 1,66 = 33$ tours - fil de 1,00 mm
de 240 à 260 V . .	$20 \times 1,66 = 33$ tours - fil de 0,95 mm
de 260 à 280 V . .	$20 \times 1,66 = 33$ tours - fil de 0,90 mm

Dimensions des tôles: Nous sommes arrivés à la phase finale du calcul de notre autotransformateur. Connaissant le nombre de tours des différentes parties de l'enroulement, et le diamètre des fils correspondants, il ne nous reste plus qu'à déterminer l'encombrement net du fil de cuivre en divisant le nombre de tours bobinés avec chaque diamètre de fil par le nombre de tours par cm² correspondant et à additionner ces résultats. L'encombrement total ainsi obtenu sera multiplié par 1,7 (étant donné le grand nombre de prises intermédiaires), ce qui nous donnera l'encombrement total de l'enroulement. Ceci nous permettra de calculer les dimensions de la fenêtre du noyau et de choisir les tôles en conséquence.

3ème exemple

Voyons, maintenant, comment calculer un autotransformateur du type représenté sur la figure 8, pouvant être utilisé pour l'alimentation d'un récepteur de Radio de faible puissance. Comme on le voit, il doit fournir une haute tension de 220 volts, sous 50 mA, et deux

tensions de chauffage des filaments donnant respectivement 69 et 45 volts, toutes les deux sous une intensité de 0,1 ampère.

L'autotransformateur fonctionne en élévateur de tension sur la sortie 220 volts (avec un rapport 1 : 1, si l'entrée se fait sur la prise 220 V), tandis qu'il fonctionne en réducteur pour les tensions de chauffage.

La puissance dissipée dans le circuit secondaire s'élève à 22,4 VA au total, que nous pouvons arrondir à 25 VA. Toutefois en faisant application de la formule connue, nous apprenons que la puissance maximale de transformation est de 12 VA. A cette puissance correspond une section brute de 5,8 cm² avec des tôles de 0,35 mm, et un facteur tours par volt égal à $45 : 5,2 = 8,7$ environ.

Tenant compte de la réduction de l'intensité dans les différents secteurs de l'enroulement, nous aurons, à partir du point 0, les données suivantes:

De 0 à 45 V, nombre de tours $8,7 \times 45 = 392$: dans cette partie d'enroulement, passe un courant secondaire de 150 mA, duquel doit être soustrait un courant primaire de 100 mA. Le fil de cuivre sera donc prévu pour une intensité de 50 mA, ce qui donne un diamètre de 0,15 mm.

De 45 à 114 V, nombre de tours $8,7 \times 69 = 600$: dans cette partie d'enroulement le courant total est le même que dans la portion précédente, le diamètre du fil sera donc identique.

De 114 à 120 V, nombre de tours $8,7 \times 6 = 52$. Ici, le courant de chauffage des filaments ne passe plus dans l'enroulement, il y reste seulement le courant anodique, soit 50 mA, et le courant primaire opposé, dont la valeur minimale est de 100 mA. La différence étant égale à 50 mA, nous emploierons encore du fil de 0,15 mm de diamètre. On pourra poursuivre l'enroulement avec le même fil de cuivre jusqu'à la prise 160 V, en bobinant $8,7 \times 40 = 348$ tours, après quoi nous bobi-nerons le restant, soit $8,7 \times 60 = 522$ tours, jusqu'à la prise 220 V.

Dans cette dernière partie de l'enroulement, l'intensité du courant passant dans le fil sera encore de 50 mA, et nous conserverons donc un diamètre de 0,15 mm.

QUESTIONS sur les LEÇONS N°s 58 et 59

N. 1 — Quelle caractéristique distingue les transformateurs Basse Fréquence des transformateurs d'alimentation déjà étudiés?

N. 2 — Pour quelle raison préfère-t-on, en général le couplage par résistance-capacité au couplage par transformateur, dans les étages amplificateurs de tension, malgré l'amplification supplémentaire apportée par le transformateur?

N. 3 — De quelle façon peut-on brancher la bobine mobile d'un haut-parleur, dont l'impédance est très faible, au circuit de sortie d'une lampe de puissance?

N. 4 — Quelle est la fonction la plus importante du transformateur de sortie, en dehors de celle d'adaptateur d'impédances?

N. 5 — Est-il possible, au moyen d'un transformateur de sortie, de brancher des charges d'impédances différentes?

N. 6 — En dehors de moyen de couplage (de transmission du signal), quelle est l'autre fonction d'un transformateur intervalve placé entre l'étage pilote et un étage final en push-pull?

N. 7 — Quel est le rapport entre l'impédance réelle du primaire d'un transformateur de sortie et l'impédance réfléchie?

N. 8 — Quelle est la relation entre l'impédance réfléchie et l'impédance de charge, selon que le rapport de transformation est plus grand ou plus petit que l'unité?

N. 9 — Quelle est la différence principale entre un autotransformateur et un transformateur?

N. 10 — Pour quelle raison un autotransformateur est-il plus économique qu'un transformateur?

N. 11 — Si un autotransformateur est relié au réseau, sans qu'aucune charge ne soit branchée entre les prises du secondaire, constate-t-on une consommation de courant correspondant à la puissance pour laquelle il a été construit?

N. 12 — Considérant les courants relatifs aux différentes parties de l'enroulement lorsqu'il fonctionne à pleine charge, peut-on dire que leurs valeurs sont les mêmes lorsqu'il fonctionne en réducteur ou en élévateur de tension?

N. 13 — Quelle est l'intensité du courant circulant dans la partie de l'enroulement commune aux circuits primaire et secondaire d'un autotransformateur?

N. 14 — La puissance absorbée par un autotransformateur est-elle égale à celle effectivement dissipée dans le circuit secondaire?

REPONSES aux QUESTIONS de la p. 451

N. 1 — On utilise un circuit de couplage.

N. 2 — Par un condensateur qui prélève le signal aux bornes de la résistance de charge de l'étage précédent et le transmet à la grille de l'étage suivant.

N. 3 — C'est le rapport entre le signal de sortie et le signal d'entrée mesuré dans toute la gamme de fréquences dans laquelle l'appareil doit fonctionner.

N. 4 — La capacité inter-électrodes des lampes, les capacités parasites, les divers composants et des connexions par rapport à la masse, ainsi que — parfois — la réactance de certains éléments du circuit.

N. 5 — La réactance élevée, pour ces fréquences, du condensateur de couplage.

N. 6 — La résistance de charge doit être de valeur beaucoup plus grande que la résistance dynamique de plaque de la lampe.

N. 7 — Un étage amplificateur à couplage L-C est semblable à un étage à couplage R-C. La différence réside dans le fait que la résistance de charge anodique est remplacée par une impédance. Cette dernière offre une faible résistance ohmique à la composante continue, ce qui fait que la tension anodique du tube est plus élevée que dans un étage du type R-C.

N. 8 — Un amplificateur à couplage par résistance-capacité a une courbe de réponse plus linéaire et plus étendue.

N. 9 — L'absence de condensateur ou de transformateur de couplage. La plaque d'une lampe est directement reliée à la grille de la lampe suivante.

N. 10 — Parce que l'absence de condensateur et d'inductance dans le circuit de couplage évite une variation d'amplification aux diverses fréquences.

N. 11 — Pour que le courant grille, qui prend naissance pendant une partie du cycle, ne produise pas une tension de polarisation excessive, en raison de la chute de tension qu'il produit lors de son passage dans la résistance de grille.

N. 12 — Ce sont ceux constituant le circuit de couplage. Ils sont de valeurs élevées pour la Basse Fréquence, et ces valeurs diminuent lorsque la fréquence augmente.

N. 13 — C'est le temps que met un électron pour passer d'une électrode à une autre, à l'intérieur d'un tube électronique.

N. 14 — En réduisant l'écartement des électrodes.

N. 15 — En additionnant les gains en dB de chacun des étages.

N. 16 — Quatre types: d'amplitude, de fréquence, de phase et la distorsion harmonique.

N. 17 — Parce que dans un appareil électronique il y a toujours des tensions qui peuvent être soit positives soit négatives par rapport à la masse et que, en raison du fait que le point de masse doit toujours être commun à l'appareil objet des mesures et au voltmètre, il n'est pas possible d'intervertir les cordons, comme on peut le faire avec un multimètre.

N. 18 — En agissant sur le potentiomètre marqué « Equilibrage en courant alternatif ».

Au cours des 52ème et 55ème leçons, nous avons étudié le tube électronique en tant qu'amplificateur, ainsi que les différents circuits annexes; nous avons vu comment on pouvait déterminer les caractéristiques en fonction des différentes valeurs de la résistance de charge, des tensions de polarisation, etc...

Bien que les données ainsi recueillies soient suffisantes pour mener à bien l'étude et la réalisation des amplificateurs, pour déterminer rapidement les valeurs de résistances nécessaires à la polarisation ou à l'alimentation des électrodes, etc... nous pensons qu'il est utile de publier le tableau 67 dressé par la Cie RCA, au moyen duquel il est possible de trouver très rapidement les valeurs typiques des composants d'un étage amplificateur à résistance-capacité. Ces tableaux indiquent les résistances, les capacités, les tensions permettant d'utiliser dans les meilleures conditions possibles les tubes, et d'obtenir une courbe de réponse linéaire dans une vaste gamme de fréquences. Ce premier ensemble de tableaux — consacré uniquement aux triodes — sera suivi d'un autre, consacré aux tubes pentodes.

LES ETAGES AMPLIFICATEURS « R-C »

Ainsi que nous l'avons déjà vu, les tubes amplificateurs de tension à couplage par résistance et capacité dont le montage extrêmement simple ne requiert qu'un petit nombre de composants, permettent d'obtenir une amplification uniforme dans une gamme de fréquences très étendue.

Ces tableaux fournissent toutes les données relatives à un grand nombre de types de lampes parmi lesquels des triodes à faible et à fort coefficient d'amplification (K), des double-triodes, etc... Un index permet de déterminer rapidement le groupe auquel appartient le tube électronique dont on désire connaître les valeurs nécessaires à son fonctionnement.

SYMBOLES UTILISES

Dans ces tableaux, ont été utilisé un certain nombre de symboles, déjà connus de nos Lecteurs, que nous rappelons, ci-dessous.

- | | | |
|-----------------|---|---|
| C | = | Capacité de couplage, en μF . |
| C _k | = | Condensateur de découplage de cathode (en parallèle sur R _k) en μF . |
| E _{bb} | = | Tension anodique d'alimentation, à ne pas confondre avec la tension mesurée sur la plaque elle-même. Cette dernière est égale à E _{bb} , moins la chute de tension dans R _p et R _k . E _{bb} est exprimée en volts. |
| R _k | = | Résistance de polarisation cathodique, en ohms. |
| R _g | = | Résistance de fuite de grille, en mégohms. |
| R _p | = | Résistance de charge de plaque, en mégohms. |
| V.G. | = | Gain en tension pour une tension de sortie de 5 volts eff. (à moins de spécification contraire). |
| E _n | = | Tension de crête de sortie, en volts. Cette tension se manifeste aux bornes de la résistance de grille (R _g) de l'étage suivant pour toutes les fréquences comprises dans la partie linéaire de la courbe de réponse. Cette tension de crête est celle obtenue pour un signal dont l'amplitude est suffisante pour faire varier la tension grille de l'étage R-C jusqu'au point où le courant grille commence à apparaître. |

N. B. — Lorsque les tensions d'alimentation anodique diffèrent de 50 pour cent de celles indiquées, les valeurs des résistances, des capacités et du gain en ten-

sion, ne sont qu'approximativement exactes. Toutefois, la tension de sortie correspondante est égale à la tension de sortie indiquée dans le tableau, multipliée par le rapport de la tension anodique réelle à celle mentionnée dans le tableaux.

**TABLEAU 67 - VALEURS TYPIQUES POUR ETAGES
AMPLIFICATEURS DU TYPE R-C**

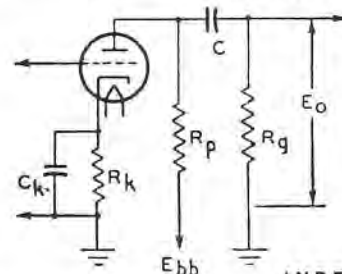


Schéma de principe d'un étage amplificateur montrant les symboles utilisés dans les tableaux.

		INDEX					
Type de tube	Group	6AQ6	A	6J5	C	12AU7A	B
		6AT6	A	6SL7	A	12AV6	D
		6AV6	D	6SN7	C	12AX7	D
3AV6	A	6BK7B	G	6Y8	A	12SL7	A
ABQ7Q	G	6BQ7A	G	6T8A	A	12SN7	C
4BZ7	G	6BZ7	G	7AU7	B	19T8	A
5BK7A	G	6C4	B	8CG7	C	5879 (T)	E
5BQ7A	G	6CG7	C	12AT6	A	7025	D
5T8	A	6CN7	A	12AT7	F	7199 (T)	H
6AB4	F	6EU7	D				

CONSIDERATIONS GENERALES SUR LE CIRCUIT

Dans la brève explication donnée ci-dessous, f_2 représente la fréquence à partir de laquelle les fréquences élevées commencent à être atténuées. Par contre, f_1 est la fréquence à laquelle les fréquences basses commencent à être atténuées.

Les valeurs indiquées, aussi bien pour les résistances que pour les capacités, peuvent varier de 10% sans que le caractéristiques de fonctionnement en soient, pour autant, altérées de façon sensible.

R_p , R_F et R_k peuvent en général avoir une dissipation de 0,5 watt. La tension de service des condensateurs de couplage et de filtre doit être supérieure, ou au moins égale, à la tension d'alimentation E_{bb} . Le condensateur C_k peut avoir une tension de service plus faible, comprise entre 10 et 25 volts. La tension de crête du signal d'entrée est égale à la tension de crête du signal de sortie divisée par le gain en tension.

AMPLIFICATEUR A TRIODE

Les capacités de C et de C_k ont été choisies de manière à obtenir une tension de sortie égale à $0,8 E_0$ à la fréquence $f_1 = 100$ Hz. Pour toute autre valeur de f_1 , multiplier C et C_k par le rapport $100 : f_1$.

En ce qui concerne le condensateur C_k , les valeurs données dans les tableaux sont prévues pour une alimentation des filaments en courant continu. Si les filaments sont alimentés en courant alternatif, il peut être utile, d'augmenter la valeur de C_k pour réduire le bruit de fond introduit par l'alternatif.

La tension de sortie à la fréquence f_1 , pour un nombre « n » d'étages amplificateurs identiques entre-eux est donnée par:

Tension de sortie (en volts) = $(0,8)^n \times E_0$
 dans laquelle, E_0 représente la tension de sortie de crête d'un étage, calculée à 420 Hz

Dans un amplificateur de type classique, la fréquence ω est très supérieure à la limite des fréquences audibles, pour n'importe quelle valeur de R_D .

Pour les tubes multiples (triode-pentode), chercher le type suivi de la lettre T pour la section triode.

E _{bb}	R _p	R _g	R _{g2}	R _k	C _{g2}	C _k	C	E _o	V.G.
-----------------	----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	---	----------------	------

90	0.1	0.1	-	4200	-	2.5	0.025	5.4	22●
		0.22	-	4600	-	2.2	0.014	7.5	27●
		0.47	-	4800	-	2.0	0.0065	9.1	30●
	0.22	0.22	-	7000	-	1.5	0.013	7.3	30●
		0.47	-	7800	-	1.3	0.007	10	34■
		1.0	-	8100	-	1.1	0.0035	12	37★
	0.47	0.47	-	12000	-	0.83	0.006	10	36■
		1.0	-	14000	-	0.7	0.0035	14	39★
		2.2	-	15000	-	0.6	0.002	16	41★
180	0.1	0.1	-	1900	-	3.6	0.027	19	30★
		0.22	-	2200	-	3.1	0.014	25	35
		0.47	-	2500	-	2.8	0.0065	32	37
	0.22	0.22	-	3400	-	2.2	0.014	24	38
		0.47	-	4100	-	1.7	0.0065	34	42
		1.0	-	4600	-	1.5	0.0035	38	44
	0.47	0.47	-	6600	-	1.1	0.0065	29	44
		1.0	-	8100	-	0.9	0.0035	38	46
		2.2	-	9100	-	0.8	0.002	43	47
300	0.1	0.1	-	1500	-	4.4	0.027	40	34
		0.22	-	1800	-	3.6	0.014	54	38
		0.47	-	2100	-	3.0	0.0065	63	41
	0.22	0.22	-	2600	-	2.5	0.013	51	42
		0.47	-	3200	-	1.9	0.0065	65	46
		1.0	-	3700	-	1.6	0.0035	77	48
	0.47	0.47	-	5200	-	1.2	0.006	61	48
		1.0	-	6300	-	1.0	0.0035	74	50
		2.2	-	7200	-	0.9	0.002	85	51

90	0.047	0.047	-	1600	-	3.2	0.061	9	10■
		0.1	-	1800	-	2.5	0.033	11	11★
		0.22	-	2000	-	2.0	0.015	14	11
	0.1	0.1	-	3000	-	1.6	0.032	10	11★
		0.22	-	3800	-	1.1	0.015	15	11
		0.47	-	4500	-	1.0	0.007	18	11
	0.22	0.22	-	6800	-	0.7	0.015	14	11
		0.47	-	9500	-	0.5	0.0065	20	11
		1.0	-	11500	-	0.43	0.0035	24	11
180	0.047	0.047	-	920	-	3.9	0.062	20	11
		0.1	-	1200	-	2.9	0.037	26	12
		0.22	-	1400	-	2.5	0.016	29	12
	0.1	0.1	-	2000	-	1.9	0.032	24	12
		0.22	-	2800	-	1.4	0.016	33	12
		0.47	-	3600	-	1.1	0.007	40	12
	0.22	0.22	-	5300	-	0.8	0.015	31	12
		0.47	-	8300	-	0.56	0.007	44	12
		1.0	-	10000	-	0.48	0.0035	54	12
300	0.047	0.047	-	870	-	4.1	0.065	38	12
		0.1	-	1200	-	3.0	0.034	52	12
		0.22	-	1500	-	2.4	0.016	68	12
	0.1	0.1	-	1900	-	1.9	0.032	44	12
		0.22	-	3000	-	1.3	0.016	68	12
		0.47	-	4000	-	1.1	0.007	80	12
	0.22	0.22	-	5300	-	0.9	0.015	57	12
		0.47	-	8800	-	0.52	0.007	82	12
		1.0	-	11000	-	0.46	0.0035	92	12

GROUP "A"

TUBES

5T8
 6AQ6
 6AT6
 6CN7
 6SL7-GT●
 6T8
 6T8-A
 12AT6
 12SL7-GT●
 19T8

- Section triode, ou une des triodes.
- Gain en tension mesuré pour une tension de sortie de 2 volts eff.
- ▲ Le condensateur de couplage (de liaison), doit être choisi d'une valeur telle qu'il procure la réponse désirée à la fréquence. La résistance de cathode doit avoir en parallèle une capacité convenable.
- ✱ Pour une tension de sortie de 4 volts eff.
- ✱ Pour une tension de sortie de 2 volts eff.

TUBES

6C4
 7AU7●
 12AU7-A●

GROUP "B"

E _{bb}	R _p	R _g	R _{g2}	R _k	C _{g2}	C _k	C	E _o	V.G.
90	0.047	0.047	—	1870	—	3.1	0.063	14	13
		0.1	—	2230	—	2.5	0.031	18	14
		0.22	—	2500	—	2.1	0.016	20	14
	0.1	0.1	—	3370	—	1.8	0.034	15	14
		0.22	—	4100	—	1.3	0.015	20	14
		0.47	—	4800	—	1.1	0.006	23	15
	0.22	0.22	—	7000	—	0.80	0.013	16	14
		0.47	—	9100	—	0.65	0.007	22	14
		1.00	—	10500	—	0.60	0.004	25	15
180	0.047	0.047	—	1500	—	3.6	0.066	33	14
		0.1	—	1860	—	2.9	0.055	41	14
		0.22	—	2160	—	2.2	0.015	47	15
	0.1	0.1	—	2750	—	1.8	0.028	35	15
		0.22	—	3550	—	1.4	0.015	45	15
		0.47	—	4140	—	1.3	0.007	51	16
	0.22	0.22	—	5150	—	1.0	0.016	36	16
		0.47	—	7000	—	0.71	0.007	45	16
		1.00	—	7800	—	0.61	0.004	51	16
300	0.047	0.047	—	1300	—	3.6	0.061	59	14
		0.1	—	1580	—	3.0	0.032	73	15
		0.22	—	1800	—	2.5	0.015	83	16
	0.1	0.1	—	2500	—	1.9	0.031	68	16
		0.22	—	3130	—	1.4	0.014	82	16
		0.47	—	3900	—	1.2	0.0065	96	16
	0.22	0.22	—	4800	—	0.95	0.015	68	16
		0.47	—	6500	—	0.69	0.0065	85	16
		1.00	—	7800	—	0.58	0.0035	96	16
90	0.1	0.1	—	4400	—	2.7	0.023	5	29●
		0.22	—	4700	—	2.4	0.013	6	35●
		0.47	—	4800	—	2.3	0.007	8	41●
	0.22	0.22	—	7000	—	1.6	0.001	6	39●
		0.47	—	7400	—	1.4	0.006	9	45■
		1.0	—	7600	—	1.3	0.003	11	48★
	0.47	0.47	—	12000	—	0.9	0.006	9	48■
		1.0	—	13000	—	0.8	0.003	11	52★
		2.2	—	14000	—	0.7	0.002	13	55★
180	0.1	0.1	—	1800	—	4.0	0.025	18	40
		0.22	—	2000	—	3.5	0.013	25	47
		0.47	—	2200	—	3.1	0.006	32	52
	0.22	0.22	—	3000	—	2.4	0.012	24	53
		0.47	—	3500	—	2.1	0.006	34	59
		1.0	—	3900	—	1.8	0.003	39	63
	0.47	0.47	—	5800	—	1.3	0.006	30	62
		1.0	—	6700	—	1.1	0.003	39	66
		2.2	—	7400	—	1.0	0.002	45	68
300	0.1	0.1	—	1300	—	4.6	0.027	43	45
		0.22	—	1500	—	4.0	0.013	57	52
		0.47	—	1700	—	3.6	0.006	66	57
	0.22	0.22	—	2200	—	3.0	0.013	54	59
		0.47	—	2800	—	2.3	0.006	69	65
		1.0	—	3100	—	2.1	0.003	79	68
	0.47	0.47	—	4300	—	1.6	0.006	62	69
		1.0	—	5200	—	1.3	0.003	77	73
		2.2	—	5900	—	1.1	0.002	92	75

GROUPE "C"**TUBES**

6CG7●

6J5

6J5-GT

6SN7-GTB●

8CG7

12SN7-GT●

● Section triode, ou une des triodes.

■ Gain en tension mesuré pour une tension de sortie de 2 volts eff.

▲ Le condensateur de couplage (de liaison), doit être choisi d'une valeur telle qu'il procure la réponse désirée à la fréquence. La résistance de cathode doit avoir en parallèle une capacité convenable.

★ Pour une tension de sortie de 4 volts eff.

● Pour une tension de sortie de 2 volts eff.

TUBES

3AV6

6AV6

6EU7●

12AV6

12AX7●

7025●

GROUPE "D"

E _{bb}	R _p	R _g	R _{g2}	R _k	C _{g2}	C _k	C	E _o	V.G.
90	0.047	0.047	—	1800	—	2.9	0.060	9	10
		0.1	—	2100	—	2.4	0.033	12	11
		0.22	—	2200	—	2.3	0.016	14	21★
	0.1	0.1	—	3200	—	1.8	0.027	10	12
		0.22	—	3900	—	1.3	0.015	13	13★
		0.47	—	4300	—	1.0	0.007	16	13
	0.22	0.22	—	6200	—	0.87	0.015	12	13
		0.47	—	8100	—	0.53	0.006	16	13
		1.00	—	9000	—	0.49	0.003	19	14
180	0.047	0.047	—	1200	—	3.5	0.063	21	12
		0.1	—	1600	—	2.6	0.033	29	13
		0.22	—	1800	—	2.4	0.016	35	13
	0.1	0.1	—	2200	—	1.9	0.031	26	13
		0.22	—	2900	—	1.35	0.015	33	14
		0.47	—	3400	—	1.1	0.007	40	14
	0.22	0.22	—	4500	—	0.92	0.015	28	14
		0.47	—	6400	—	0.61	0.006	39	14
		1.00	—	8200	—	0.52	0.003	47	14
300	0.047	0.047	—	1100	—	3.9	0.063	42	13
		0.1	—	1500	—	2.8	0.033	65	13
		0.22	—	1700	—	2.5	0.016	71	14
	0.1	0.1	—	2000	—	2.1	0.032	45	15
		0.22	—	3400	—	1.4	0.015	74	15
		0.47	—	3700	—	1.1	0.007	83	15
		0.22	—	4300	—	0.97	0.015	50	15
	0.22	0.47	—	7200	—	0.63	0.007	88	15
		1.00	—	7400	—	0.63	0.003	94	15
90	0.1	0.1	—	3900	—	1.8	0.024	10	18
		0.22	—	4000	—	1.6	0.014	12	20
		0.47	—	4030	—	1.36	0.0075	13	20
	0.22	0.22	—	7600	—	1.0	0.012	12	21
		0.47	—	7500	—	0.86	0.0079	13	24
		1.0	—	7800	—	0.81	0.0056	15	25
	0.47	0.47	—	14000	—	0.49	0.0064	13	23
		1.0	—	14000	—	0.49	0.0053	15	24
		2.2	—	15000	—	0.45	0.005	15	25
180	0.1	0.1	—	1160	—	3.2	0.027	15	25
		0.22	—	1220	—	2.8	0.015	18	29
		0.47	—	1240	—	2.4	0.009	19	30
	0.22	0.22	—	2600	—	1.63	0.014	18	29
		0.47	—	2630	—	1.4	0.0083	19	31
		1.0	—	2700	—	1.3	0.006	20	28
	0.47	0.47	—	5600	—	0.83	0.008	19	29
		1.0	—	5700	—	0.71	0.0056	20	31
		2.2	—	5600	—	0.66	0.0048	21	32
300	0.1	0.1	—	740	—	4.8	0.031	21	35
		0.22	—	740	—	3.9	0.016	24	41
		0.47	—	750	—	3.3	0.009	25	43
	0.22	0.22	—	1200	—	2.4	0.0154	24	40
		0.47	—	1230	—	1.8	0.0086	23	35
		1.0	—	1250	—	1.6	0.006	24	36
	0.47	0.47	—	2800	—	1.05	0.0085	22	36
		1.0	—	2800	—	0.94	0.006	23	38
		2.2	—	2900	—	0.90	0.0058	23	37

GROUPE "E"

TUBE

5879

• Section triode, ou une des triodes.

■ Gain en tension mesuré pour une tension de sortie de 2 volts eff.

▲ Le condensateur de couplage (de liaison), doit être choisi d'une valeur telle qu'il procure la réponse désirée à la fréquence. La résistance de cathode doit avoir en parallèle une capacité convenable.

* Pour une tension de sortie de 4 volts eff.

• Pour une tension de sortie de 2 volts eff.

TUBES

6AB4■

12AT7●■

GROUPE "F"

E _{bb}	R _p	R _g	R _{g2}	R _k	C _{g2}	C _k	C	E _o	V.G.
90	0.047	0.047	-	2270	-	2.6	0.046	6	14
		0.1	-	2000	-	2.5	0.028	10	16
		0.22	-	2060	-	2.3	0.015	11	18
	0.1	0.1	-	3800	-	1.62	0.026	10	16
		0.22	-	4000	-	1.3	0.0137	12	19
		0.47	-	4000	-	1.3	0.0086	13	20
	0.22	0.22	-	7600	-	0.8	0.013	11	19
		0.47	-	8000	-	0.7	0.008	12	20
		1.0	-	8000	-	0.65	0.0057	13	20
180	0.047	0.047	-	760	-	5.6	0.059	16	20
		0.1	-	770	-	4.8	0.032	18	25
		0.22	-	760	-	4.2	0.016	19	27
	0.1	0.1	-	1400	-	2.8	0.03	17	24
		0.22	-	1500	-	2.3	0.015	18	23
		0.47	-	1500	-	2.1	0.009	19	27
	0.22	0.22	-	2600	-	1.4	0.015	16	23
		0.47	-	2600	-	1.15	0.0088	18	25
		1.0	-	2600	-	1.05	0.006	18	26
300	0.047	0.047	-	360	-	7.4	0.062	21	28
		0.1	-	360	-	6.0	0.032	22	29
		0.22	-	370	-	5.1	0.016	23	30
	0.1	0.1	-	720	-	3.8	0.032	21	28
		0.22	-	700	-	3.0	0.016	22	30
		0.47	-	700	-	2.6	0.009	23	31
	0.22	0.22	-	1200	-	1.9	0.016	21	29
		0.47	-	1500	-	1.5	0.009	21	30
		1.0	-	1500	-	1.2	0.006	22	30
90	0.047	0.047	-	1200	-	3.1	0.058	6	13
		0.1	-	1200	-	2.64	0.031	7	13
		0.22	-	1210	-	2.38	0.015	7	14
	0.1	0.1	-	2200	-	1.63	0.031	7	13
		0.22	-	2250	-	1.26	0.015	7	13
		0.47	-	2200	-	1.12	0.0086	7	9
	0.22	0.22	-	2300	-	1.28	0.015	8	13
		0.47	-	4600	-	0.61	0.0085	7	13
		1.0	-	4500	-	0.55	0.0055	7	13
180	0.047	0.047	-	530	-	4.6	0.061	9	15
		0.1	-	530	-	3.6	0.033	9	16
		0.22	-	550	-	3.0	0.0158	10	16
	0.1	0.1	-	1010	-	2.3	0.032	9	15
		0.22	-	1400	-	1.5	0.0153	8	15
		0.47	-	1500	-	1.4	0.0087	9	16
	0.22	0.22	-	2200	-	0.98	0.0157	8	14
		0.47	-	2100	-	0.75	0.0087	8	15
		1.0	-	2100	-	0.60	0.0056	8	15
300	0.047	0.047	-	220	-	4.4	0.063	11	19
		0.1	-	300	-	3.3	0.033	11	19
		0.22	-	330	-	2.3	0.016	11	19
	0.1	0.1	-	520	-	2.3	0.032	10	17
		0.22	-	600	-	1.4	0.015	10	18
		0.47	-	630	-	0.9	0.009	10	18
	0.22	0.22	-	1000	-	0.9	0.015	9	17
		0.47	-	1200	-	0.62	0.0088	8	17
		1.0	-	1300	-	0.60	0.0057	8	17

GROUPE "G"

TUBES

4BQ7-A ■■

4BZ7 ■■

5BK7-A ■■

5BQ7-A ■■

6BK7-B ■■

6BQ7-B ■■

6BZ7 ■■

• Section triode, ou une des triodes.

■ Gain en tension mesuré pour une tension de sortie de 2 volts eff.

▲ Le condensateur de couplage (de liaison), doit être choisi d'une valeur telle qu'il procure la réponse désirée à la fréquence. La résistance de cathode doit avoir en parallèle une capacité convenable.

▲ Pour une tension de sortie de 4 volts eff.

• Pour une tension de sortie de 2 volts eff.

TUBE

7199 ■

GROUPE "H"

— LES FOURNISSEURS DE VOTRE MATERIEL —

ELECTRONIQUE MONTAGE

111, BD RICHARD LENOIR - PARIS XI^e
(métro oberkampf)
SPÉCIALISTE MODULES RÉUSSITE COMPLÈTE
TOUS LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES
EXPÉDITION PROVINCE

Amateurs, Installateurs, Dépanneurs,
les valises de dépannage Radio TV Sptés
PAUL sont en vente dans toute la France.
5 modèles.
Adresse de nos Agents sur simple demande.
Spécialités Ch. PAUL - 28, rue Raymond Lefebvre
MONTREUIL (Seine) Tél. : 287-54-16

CIBOT RADIO

1 à 3, RUE DE REUILLY - PARIS 12^e
TEL. : DID. 66-90
TOUT L'OUTILLAGE
POUR L'ÉLECTRONIQUE

Catalogue complet de pièces détachées : 5 F

Catalogue de Kit

Ensemble de pièces détachées

Du poste à galène au téléviseur

EXPÉDITION A LETTRE LUE PARIS-PROVINCE

RADIO-BEAUGRENELLE

6, RUE BEAUGRENELLE - PARIS 15^e
TEL. : 828.58.30
TOUTE LA PIÈCE DÉTACHÉE RADIO
LAMPES-TRANSISTORS-TELEVISION
EXPÉDITION PROVINCE
Envoi du tarif contre 3 timbres-lettre

MIEUX QU'UN CATALOGUE !
Tous ceux qui s'intéressent à la radio se doivent de posséder
le **MEMENTO ACER**
VÉRITABLE DIGEST DE L'ÉLECTRONIQUE
TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES
TOUTE UNE GAMME DE MONTAGE EN KIT
Envoi contre 6F pour frais
ACER 42bis, rue de Chabrol - PARIS 10^e



80 PAGES contre 2.50 en timbres pour frais d'envoi
● HIFI (amplis - HP - tuners FM - enceintes
acoustiques) ● Grand choix de pièces
détachées ● Appareils de mesures ●
Outillage ● Appareils électriques ● De
nombreuses réalisations ● Sur place : un
choix énorme à des prix "champion".

Comptoirs CHAMPIONNET

14, RUE CHAMPIONNET - PARIS 18^e
Tél. ORN. 52-08 - C.C.P. 12.358.30 Paris
Métro : Porte de Clignancourt et Simplon

RETEXKIT

CONSTRUISEZ-LE VOUS-MÊME
KIT POUR RADIO-AMATEURS
KIT D'APPAREILS ÉLECTRONIQUES

Demandez notre catalogue
sans engagement de votre part
TERA-LEC 51, RUE DE GERGOVIE
PARIS-14^e - SEG. 09-00

MAGNETIC-FRANCE

SPÉCIALISTE DU "KIT"
PIÈCES DÉTACHÉES POUR :

Tuners, magnétophones, amplis, orgue élec-
tronique, chambre d'échos, réverbérateurs.

- Lampes
- Transistors

SERVICES ET CONSEILS TECHNIQUES
175, RUE DU TEMPLE - PARIS-3^e
ARCHIVES 10-74 Métro : Temple, République

COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES
Radio-Télévision ● Industrie ● Télécommande
Châssis Haute Fidélité ● Amplis ● Tuners FM
GROS DÉTAIL

RADIO-VOLTAIRE
GROSSISTE OFFICIEL "COPIRIM TRANSCO"
GROSSISTE TUBES INDUSTRIELS "RADIOTECHNIQUE"
155, Avenue Ledru-Rollin, PARIS-11^e ROQ. 98-64
R. C. 30401 319 34475 - Paris - (Ligne 1518) 101 0100 - (Ligne 1518) 101 0100 - C.P. 94008-71 (PARIS)

EMY-RADIO

Spécialiste des grandes marques d'importation
Téléviseurs - Récepteurs - Transistors - Magnétophones
Electrophones - Hi-Fi - Enceintes acoustiques - Émetteurs
récepteurs - Interphones, etc...
Toutes expéditions en province. Catalogue de nos prix sur
simple demande - 19, rue de l'Ancienne Comédie
PARIS 6^e Tél. : DAN. 63-05

POUR TOUS VOS BESOINS EN COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES ET ENSEMBLES A MONTER SOI-MÊME

AUX CONDITIONS LES PLUS AVANTAGEUSES GRÂCE A NOTRE FORMULE DE VENTE DIRECTE

Magasins pilotes :

3, RUE LA BOËTIE - PARIS-8^e
9, BD ST-GERMAIN - PARIS-5^e



DOCUMENTATION GRATUITE SUR DEMANDE :
Catalogue KITS - CTR 8-493 - Catalogue PD - CTR 9-492
(joindre 4 timbres pour frais d'envoi)

Départements :
VENTE PAR CORRESPONDANCE
COGEREL - DIJON (cette adresse suffit)

RÉALISEZ VOS
POSTES A TRANSISTORS
LAMPOMETRE
SIGNAL TRACER



CONTROLEUR
UNIVERSEL



Economie
Sécurité
Réussite
assurée

Pièces détachées, en ensembles
complets, ou séparées avec schéma
et plans très détaillés

Documentation CA - contre 1,20 F en timbres

TECHNIQUE SERVICE

fermé le lundi
Métro
Charonne

17, Passage-Gustave-Lepeu, Paris-11 - Tél. : ROQ. 37-71

CENTRAL-RADIO

35, rue de Rome - PARIS 8^e
522 12-00 et 12-01 CCP 728-45

Expédie dans toute la France toutes
les pièces détachées - Appareils de
mesure et l'outillage du Radio-
électricien.

CATALOGUE contre 4 timbres,
conseillers techniques à votre
disposition à nos magasins.

LE GRAND SPECIALISTE

des Petits Montages Récepteurs de Radio
et de la Radiocommande des Modèles Réduits.
- Ouvrages pour débutants -
Envoi du catalogue général contre 3 F
PERLOR-RADIO
16, R. Hérold, Paris (1^{er}) - Tél. CEN. 65-50

POUR
RECTA REUSSIR RECTA
A
COUP SUR ?
ESSAYEZ AVEC NOS
SCHEMAS
GRANDEUR
NATURE

MONTAGES FACILES

AMPLIS GUITARE 3 A 50 W
125 SCHEMAS DE LAMPES
REMISE 25 à 30 %
SUR LAMPES-MAGNÉTOPHONES

Documentation complète c. 4,50 TP

Soc. **RECTA**
37, Av. LEDRU-ROLLIN - PARIS-12^e

NORD RADIO

TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES ET
ACCESSOIRES DES MEILLEURES MARQUES
A DES PRIX IMBATTABLES

TELEVISEURS - RECEPTEURS à transistors
AMPLIS HI-FI - ELECTROPHONES
MAGNETOPHONES - INTERPHONES, etc...
Vendus en "KIT" et en ordre de marche.

139, RUE LA FAYETTE, PARIS-10^e
Tél. TRUDAINE 89-44 - Autobus et Métro : GARE DU NORD

TOUS LES MAGNÉTOPHONES
(GRUNDIG, PHILIPS, etc.)
TELEVISEURS - ENCEINTES ACOUSTIQUES
PLATINES TOURNE-DISQUES, etc. (Consultez-nous).