

Voir page 94

LE CALCUL DES TRANSFORMATEURS B.F.

Alors que le rôle des transformateurs d'alimentation est de délivrer une ou plusieurs tensions déterminées, dépendant d'une tension primaire bien fixée, il nous faut nous placer à un point de vue différent pour les transformateurs B.F., ceux-ci travaillant essentiellement à partir de tensions et de fréquences variables, tout en servant d'organes de liaison et d'adaptateurs d'impédances.

Le rendement d'une transmission d'énergie électrique entre deux appareils A et B, l'un générateur, l'autre récepteur, devient maximum lorsque les impédances de ces deux appareils sont égales. Le plus souvent, il existe une inégalité et l'on emploie un transformateur comme adaptateur d'impédances (fig. 7 - 1).

Si l'on appelle N_1 et N_2 les nombres de tours respectifs des enroulements du transformateur T, et Z_1 , Z_2 les impédances qui sont reliées à leurs bornes, l'adaptation correcte est réalisée quand on a :

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

A ce moment, l'appareil A « voit » au travers du transformateur T, l'impédance Z_2 comme étant égale à la sienne Z_1 et, réciproquement, l'appareil B « voit » Z_1 égale à son impédance Z_2 .

Très souvent, cette notion est très mal comprise et, par exemple, il est fréquent d'entendre parler d'un transformateur de haut-parleur « faisant 7000 ohms au primaire », tout comme si cette valeur était une caractéristique immuable appartenant en propre à ce primaire. Rien

n'est plus faux, et nous allons essayer de l'expliquer en faisant une comparaison avec la boîte des vitesses d'une automobile. Chacun sait que cet organe introduit dans la « transmission » entre le moteur et les roues de la voiture (compte tenu de la présence du différentiel) plusieurs combinaisons d'engrenages fournissant divers rapports *liés*.

Pour telle voiture, 2000 tours/minute au moteur, c'est-à-dire à l'entrée de la boîte des vitesses, donneront en « deuxième vitesse » 160 tours/minute à l'axe des roues motrices, ou bien 260 tours/minute en « troisième vitesse ». Nous trouvons là deux *rapports de transfor-*

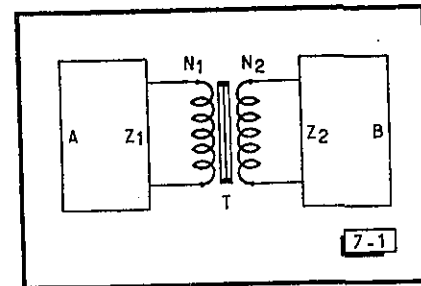


Fig. 7-1. — Adaptation d'impédances par transformateur.

mation, autrement dit deux rapports d'adaptation des vitesses de rotation du moteur et des roues motrices.

Mais, sur un même rapport de la boîte des vitesses, disons celui de la « troisième vitesse », nous avons la possibilité de faire tourner le moteur à 2500, à 3000, à 3500 tours/minute, ce qui correspondra respectivement à 325, 390, 455 tours/minute à l'axe des roues. Ainsi, sur ce même rapport (nous insistons bien sur ce point), la boîte des vitesses assurera les adaptations 2000 à 260, 2500 à 325, 3000 à 390, 3500 à 455 tours/minute, entre l'arbre moteur et les axes des roues motrices, tout comme un même transformateur de rapport 44,7/1 procurerait aussi bien l'adaptation d'un circuit anodique d'impédance de charge optimum de 5000 ohms, à une bobine mobile de haut-parleur de 2,5 ohms, ou d'un circuit anodique de 7000 ohms, à une bobine mobile de 3,5 ohms, la relation $N_1/N_2 = \sqrt{Z_1/Z_2}$ demeurant satisfaite dans chacun de ces deux cas. A partir d'un rapport donné N_1/N_2 , il y aura donc une infinité de valeurs allant de pair pour Z_1 et Z_2 .

Ainsi nous voyons combien est fautive cette idée du transformateur « possédant un primaire faisant 7000 ohms ». En réalité, le transformateur ne « fera ses 7000 ohms » au primaire, que si l'on a connecté à son secondaire l'impédance extérieure de la valeur prévue.

De même, il existe des transformateurs à prises multiples, où la fabrication marque plusieurs valeurs d'impédances au primaire et au secondaire. Aucune de ces valeurs, prise isolément, n'est absolue. Ces

indications ne restent valables que considérées deux à deux (l'une au primaire, l'autre au secondaire) ; autrement dit, si l'on connecte une bobine mobile de haut-parleur de 2,5 ohms aux prises secondaire 2,5 ohms du transformateur, il apparaîtra une « impédance transformée » de 7000 ohms aux prises primaire notées « 7000 ohms », ou bien de 5000 ohms aux prises notées « 5000 ohms », etc.

Inversement, si l'on dispose d'un étage final push-pull, d'impédance de charge optimum de 6000 ohms plaque à plaque, et d'un haut-parleur ayant une bobine mobile de 7,5 ohms, on prendra les prises « 6000 ohms » au primaire du transformateur, pour le branchement aux plaques du push-pull, et celles marquées « 7,5 ohms » au secon-

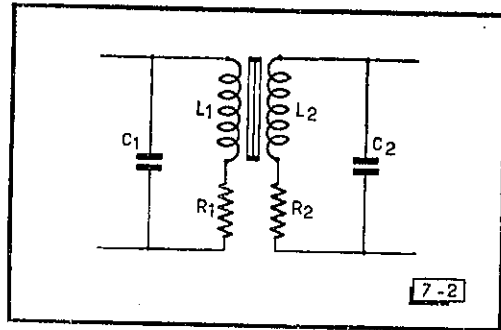


Fig. 7-2. — Schéma équivalent aux circuits d'un transformateur

daire, pour y connecter la bobine mobile. Ni l'une, ni l'autre, des parties utilisées de ces enroulements ne « fait » 6000 ou 7,5 ohms mais elles présentent entre elles, le rapport de transformation capable de réaliser l'adaptation 6000 à 7,5 ohms.

En espérant avoir réussi à bien éclaircir cette importante question, nous admettrons sans peine que le transformateur B.F. doit être proportionné (dans son circuit magnétique), à la puissance B.F. à transférer du primaire au secondaire.

Par ailleurs, les transformateurs que nous allons étudier vont devoir transmettre correctement une gamme de fréquences allant de quelques dizaines à plusieurs milliers de périodes/seconde. Certains détails insignifiants pour les courants à 50 Hz prennent en B.F., une grande importance, il est bon de les connaître. Le schéma équivalent d'un transformateur utilisé en B.F., est donné par la figure 7-2 ; L_1 , C_1 , R_1 sont respectivement l'inductance, la capacité répartie et la résistance du primaire, tandis que L_2 , C_2 , R_2 sont celles du secondaire.

La transmission des fréquences les plus basses sera d'autant meilleure que l'inductance du primaire L_1 sera plus grande. Cependant, à un accroissement du nombre de tours de L_1 , en correspondra un de L_2 (puisque le rapport de transformation doit être gardé), et plus les

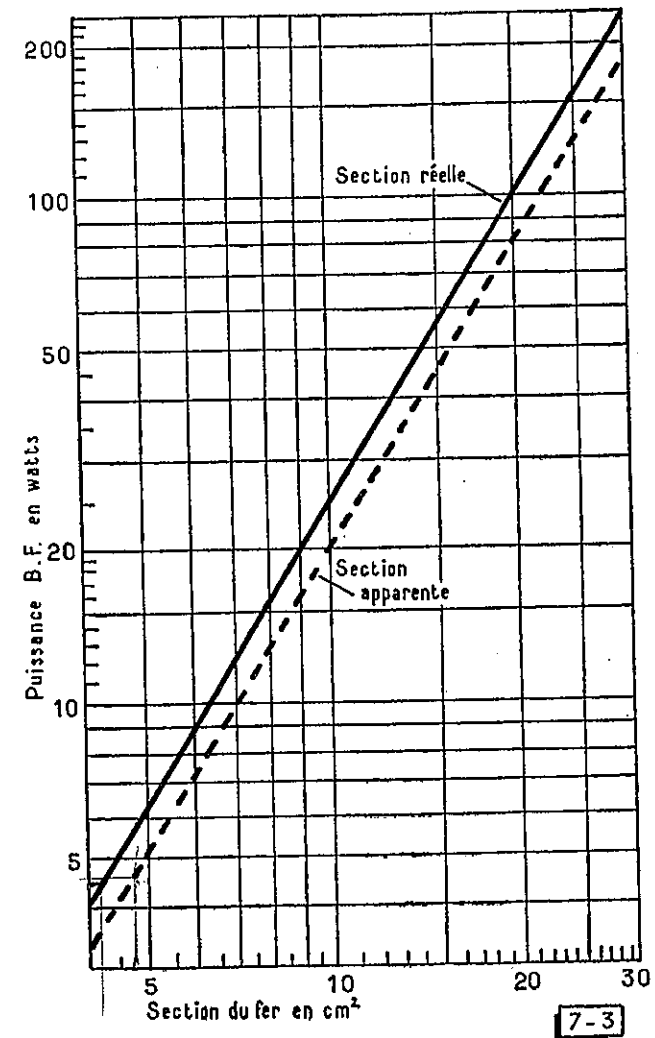


Fig. 7-3. — Abaque de la section du fer en fonction de la puissance. (Transformateurs B.F.)

entendement sera important, plus les « fuites » dues à la capacité répartie se feront sentir aux fréquences élevées. Ces seules considérations font voir que la fabrication des transformateurs B.F. doit s'accommoder de plusieurs compromis ; nous en tiendrons compte dans la méthode que nous allons exposer.

LE PROCESSUS DU CALCUL

Le calcul d'un transformateur B.F. sera normalement conduit de la manière suivante. [2]

1°) SECTION DU FER. — En présence d'une puissance B.F. à transmettre, il faudra tout d'abord déterminer la section réelle du fer (S_r) indispensable. Le produit des dimensions a et b , exprimées en centimètres et relevées sur la carcasse (fig. 3 - 1) donne la section apparente S_a ; on la considère comme supérieure de 10 % à la section réelle. Nous avons donc :

$$S_r = 2 \sqrt{P} \quad S_a = 2,2 \sqrt{P}$$

avec P en watts B.F., S_r et S_a en centimètres carrés.

L'abaque de la figure 7 - 3 évitera d'effectuer ces calculs.

Les formules précédentes correspondent à une réalisation « non étriquée » du transformateur. Certains constructeurs américains réputés, utilisent ici les formules :

$$S_r = 1,2 \sqrt{P} \quad S_a = 1,32 \sqrt{P}$$

comme pour les transformateurs d'alimentation, en se basant sur le fait que, pour la parole, le transformateur B.F. travaillera le plus souvent en « régime moyen », et que les « pointes » peuvent être sacrifiées, n'étant que l'exception. Cela explique comment sont obtenus des transformateurs de dimensions modestes, catalogués sous l'indication de puissances apparemment grandes.

2°) CALCUL DU NOMBRE DE TOURS AU PRIMAIRE, EN FONCTION DE LA SECTION RÉELLE DU FER. — Si l'on désigne par N_1 le nombre de tours au primaire, par S_r la section réelle du fer, par E la tension anodique appliquée à la lampe qui précède le transformateur, nous aurons :

$$N_1 = K E / S_r$$

Deux cas sont alors à considérer :

a) avec un primaire push-pull, s'il n'existe pas de courant continu traversant le secondaire du transformateur, on prendra $K = 40$ à 50 .

b) s'il existe un courant continu au secondaire (cas d'un transformateur de modulation d'émetteur), ou dans le cas d'un primaire simple, on se basera sur $K = 80$ à 100 et l'on ne fermera pas le circuit

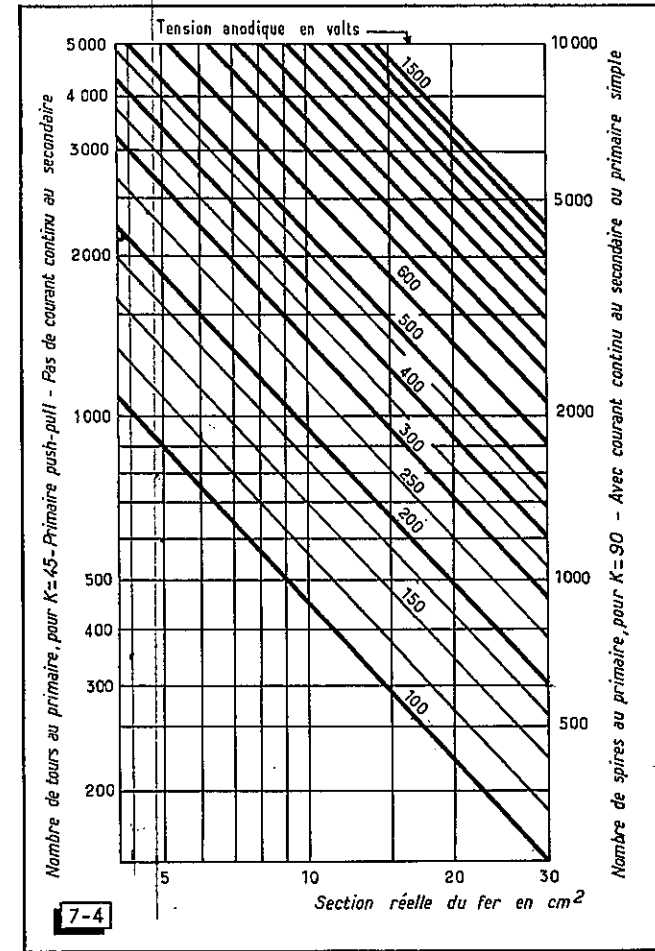


Fig. 7-4. — Abaque du nombre de tours en fonction de la tension anodique et de la section du fer. (Transformateurs B.F.) Cet abaque est fondé sur une fréquence minimale transmise de 50 Hz.

au montage, on groupera donc d'un côté les tôles en « B » et d'un autre celles en « L » en plaquant entre elles une ou plusieurs épaisseurs de carton mâché, afin de monter un entrefer (celui-ci étant à régler expérimentalement).

L'abaque de la figure 7-4 indiquera le nombre de tours N_1 au primaire ; il possède deux échelles établies sur les bases de $K = 45$ (primaire push-pull et pas de courant continu au secondaire), et de $K = 90$ (primaire simple ou existence d'un courant continu au secondaire). Dans le cas d'un push-pull, N_1 exprimerait le nombre de tours d'un demi primaire (ce qui ferait $2 N_1$ pour le primaire entier).

3°) CALCUL DU RAPPORT DE TRANSFORMATION. — L'impédance de charge Z_1 de la lampe précédant le transformateur étant connue, de même que l'impédance Z_2 sur laquelle devra travailler le secondaire, l'adaptation correcte sera réalisée lorsque l'on aura, en désignant par N_1 et N_2 les nombres de tours au primaire et au secondaire :

$$\sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{d'où} \quad N_2 = \frac{N_1}{\sqrt{Z_1/Z_2}}$$

Dans le cas d'un primaire connecté à un push-pull, on prendra pour Z_1 , l'impédance de plaque à plaque.

Pour un emploi plus pratique, l'abaque des adaptations d'impédances a été établi en exprimant le rapport de transformation sous la forme secondaire/primaire (celui-ci étant considéré comme unité). De cette manière, le rapport de transformation devient un simple coefficient par lequel il suffira de multiplier le nombre de tours au primaire, pour obtenir le nombre de tours au secondaire.

Cependant, afin de tenir compte des pertes, il sera sage de majorer le nombre trouvé de 10 %, pour les petits transformateurs de quelques watts B.F., et de 5 % pour des puissances de l'ordre de 40 watts et au-dessus.

4°) CHOIX DES DIAMÈTRES DES FILS AU PRIMAIRE ET AU SECONDAIRE.

— L'abaque de la figure 7 - 6 précise le diamètre du fil à employer, en fonction de l'intensité, ainsi que la résistance par mètre de ces fils et le nombre de tours susceptible d'être logé par centimètre carré.

Au primaire, nous aurons à considérer d'une part, l'intensité continue : I_a , et celle de la composante B.F. : I_{BF} . Pour calculer cette dernière, on dispose dans les données du problème, de la puissance

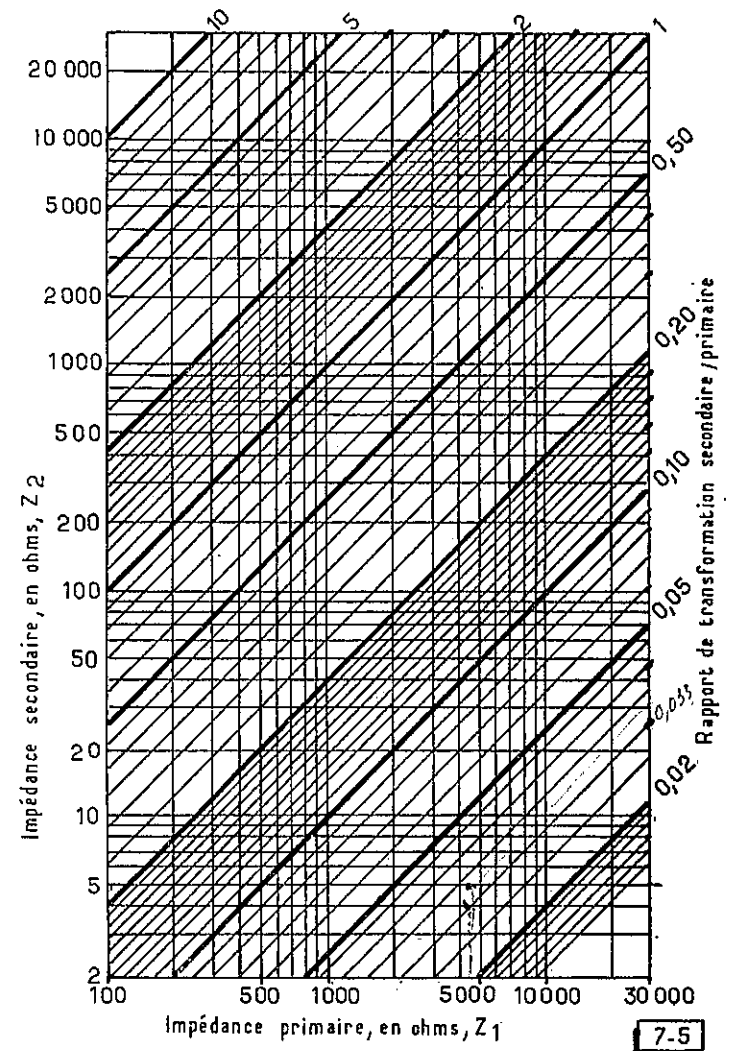


Fig. 7-5. — Abaque des rapports de transformation. (Transformateurs B.F.)

B.F. W, et de la valeur de l'impédance Z_1 au circuit primaire, d'où l'on tire :

$$I_{BF} = \sqrt{W/Z_1}$$

L'intensité résultante de I_a et I_{BF} est :

$$I_{résultante} = \sqrt{I_a^2 + I_{BF}^2}$$

Si l'on désirait éviter ces calculs, on pourrait se borner à majorer I_a de 50 %.

Comme il est toujours préférable de réduire la résistance des enroulements, l'abaque de la figure 7 - 6 ne comporte qu'une seule courbe pour la détermination du diamètre, en fonction de l'intensité ; cette courbe est établie pour une densité de 2,5 A par mm² de section du fil (cuivre).

Au secondaire, deux cas sont à envisager :

a) Cet enroulement n'est pas traversé par un courant continu. C'est le cas typique d'un secondaire branché à la bobine mobile d'un haut-parleur. L'intensité alternative y est définie par :

$$I = \sqrt{W/Z_2}$$

avec W, puissance B.F. transmise et Z_2 , impédance de la bobine mobile.

Pour éviter une extraction de racine carrée, il suffira de se référer aux abaques des figures 7 - 9 et 7 - 10 qui donneront la tension E aux bornes de l'impédance Z_2 pour la puissance W. On obtient alors l'intensité : $I = E/Z_2$.

Il est certain que cette valeur de I est le maximum susceptible d'être atteint, puisqu'elle correspond à la puissance maximum de l'étage B.F. En régime de travail sur la parole ou la musique, il s'établit naturellement une sorte de « puissance moyenne » nettement plus faible. On pourrait donc songer à réduire le diamètre du fil au secondaire, mais nous conseillons de n'en rien faire, car il est préférable de fixer à sa plus faible valeur la résistance de cet enroulement.

b) Il existe un courant continu au secondaire (cas du transformateur destiné à la modulation plaque d'un émetteur). Tout comme lorsqu'il s'agissait du primaire où coexistent une intensité continue et une composante B.F., on calculerait la valeur de celle-ci à partir de la puissance B.F. maximum et de l'impédance au secondaire, puis on obtiendrait l'intensité résultante par la même méthode. Pour des transformateurs de petite puissance, si l'on ne veut pas entrer dans ces détails, on pourrait se contenter de prendre pour base, l'intensité continue majorée de 50 %.

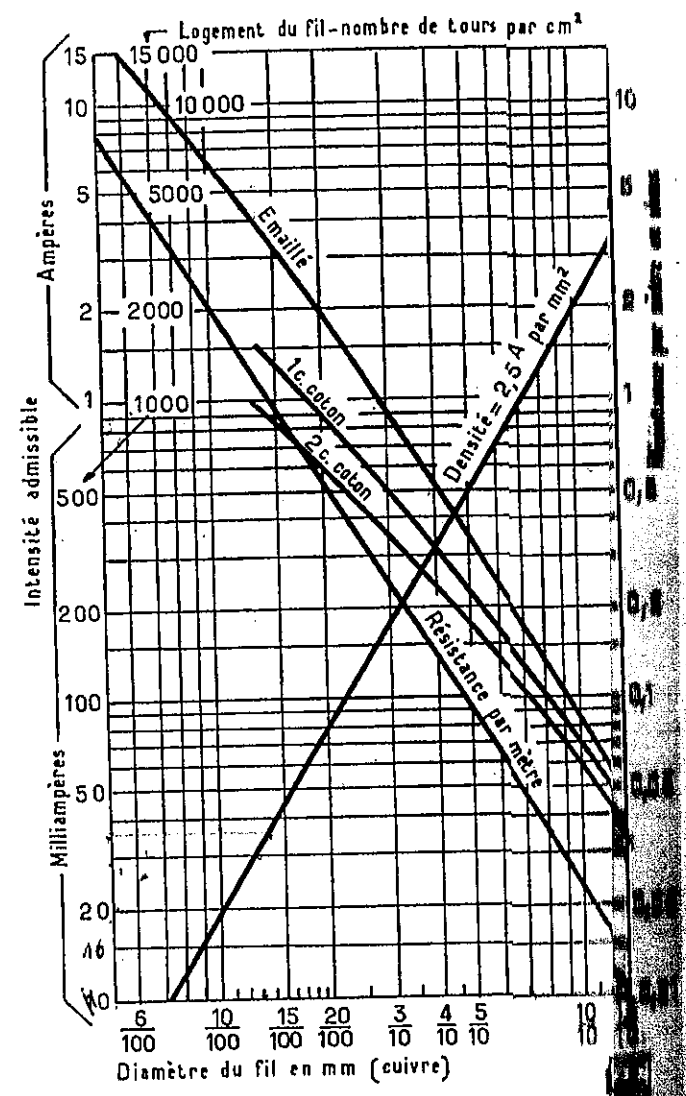


Fig. 7-6. — Abaque des fils de cuivre. Intensité admissible. Résistance par mètre. Nombre de tours au cm². (Transformateur)

La réduction de la résistance des enroulements étant primordiale dans certains transformateurs, l'abaque de la figure 7 - 6 possède une échelle exprimant la résistance par mètre des fils de cuivre. La détermination de la longueur de la spire moyenne ayant été faite comme l'indiquait la figure 3 - 2, et puisque l'on connaît le nombre de tours, il sera facile de calculer la résistance de l'enroulement.

Ce même abaque donne encore les courbes de logement du fil (émaillé, une couche coton et deux couches coton) au centimètre carré. On pourra donc s'assurer de la possibilité de loger l'enroulement complet dans la fenêtre des tôles dont on dispose.

Pour tenir compte des nécessités d'isolement et de la présence des papiers de séparation entre couches, on multipliera l'encombrement trouvé pour le fil seul, par :

- 3 — pour un bobinage très bien rangé ;
- 3,5 à 4 — pour un travail effectué d'une façon plus ordinaire.

Il faut encore noter que les soins apportés au rangement du fil, à la séparation des couches, etc, tendront à diminuer les capacités répar-

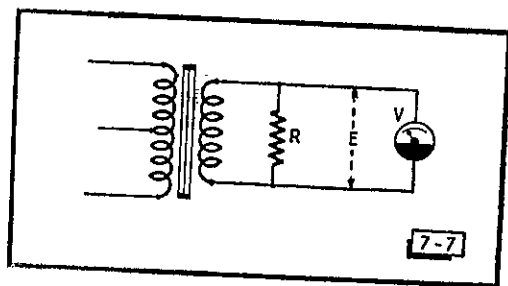


Fig. 7-7. — Mesure de la puissance B.F. de sortie.

tion des enroulements (voir la figure 7 - 2) ce qui ne pourra que donner une meilleure courbe de transmission.

MESURE DE LA PUISSANCE B.F. D'UN AMPLIFICATEUR

Les puissances sous lesquelles les différents étages de sortie sont classés au tableau III sont celles dont ces étages sont capables. Mais pour être certain qu'un amplificateur les délivre bien, il faut procéder à une mesure.

A cet effet, l'on devra se procurer une résistance dont la valeur correspondra exactement à l'impédance (ou l'une des impédances, si l'on a fait plusieurs prises) du secondaire du transformateur de sortie de l'amplificateur. Cette résistance devrait être capable de dissiper la puissance B.F. prévue ; mais, en pratique, on pourra se contenter

d'une pièce de puissance inférieure (la moitié, par exemple), si l'on ne se livre qu'à de courts essais.

On réalisera le montage de la figure 7 - 7 ou V est un voltmètre (à redresseur) pour courant alternatif.

A l'entrée de l'amplificateur, on connectera un générateur B.F. (ou bien l'on sifflera, tout simplement, devant le microphone).

Le voltmètre déviara jusqu'à une tension E.

Les abaques des figures 7 - 8 et 7 - 9 donneront directement la puissance B.F., en fonction de cette tension E et de l'impédance d'utilisation Z (laquelle est, ici, égale à R).

Les échelles des abaques sont suffisamment étendues pour dispenser, en général, de recourir à la formule qui a servi à les établir :

$$W = E^2/Z$$

EXEMPLES DE CALCUL

3

1°) PETIT TRANSFORMATEUR DE SORTIE.

En général, ces transformateurs relèvent tout particulièrement du compromis que nous signalions précédemment.

A la sortie d'un récepteur, où la puissance B.F. à transmettre est de l'ordre de 3 à 4 watts, l'abaque de la figure 7 - 3 nous montre qu'une section réelle du fer, de moins de 4 cm² est suffisante. Cependant, afin de ne pas devoir mettre un nombre de tours trop élevé, nous adopterons la section de 4 cm².

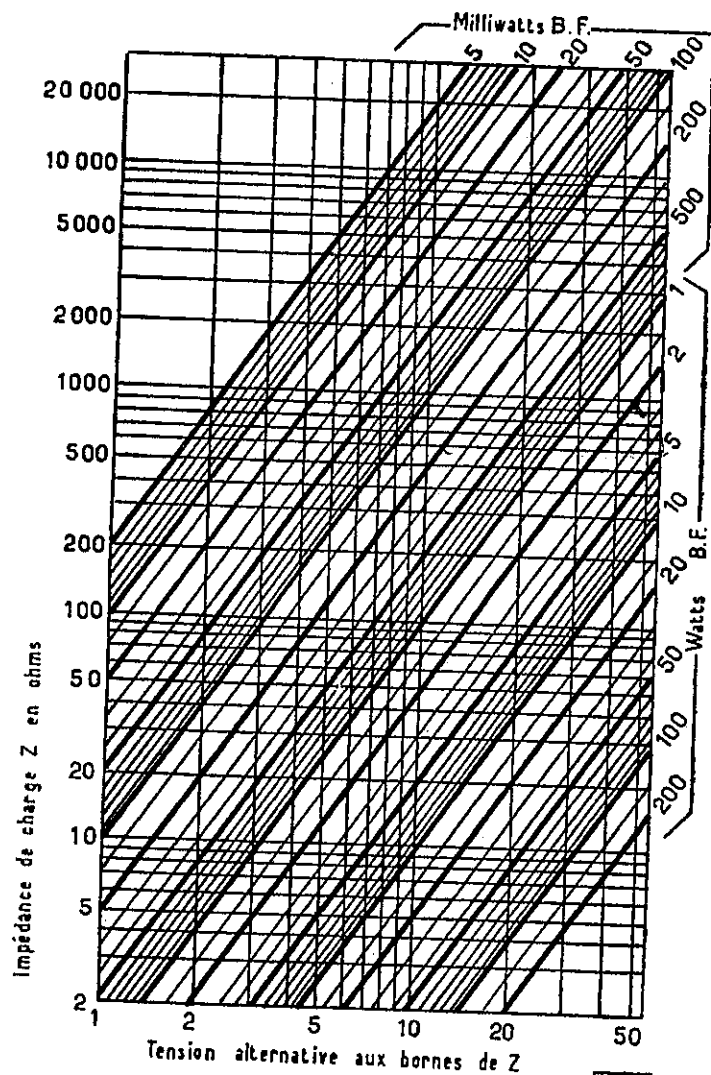
Pour un tube B.F. travaillant sous 250 volts, la figure 7 - 4 (échelle « pas de courant continu au secondaire ») indique 2800 tours au primaire.

Si le transformateur est destiné à coupler le circuit plaque d'un tube penthode, dont l'impédance de charge optimum est de 7000 ohms (Z₁), à une bobine mobile de haut-parleur de 2,5 ohms (Z₂), l'abaque de la figure 7 - 5 montre que le rapport de transformation secondaire/primaire doit être égal à 0,019.

Il nous suffira, pour obtenir le nombre de tours au secondaire, d'effectuer le produit : 2800 × 0,019 = 53.

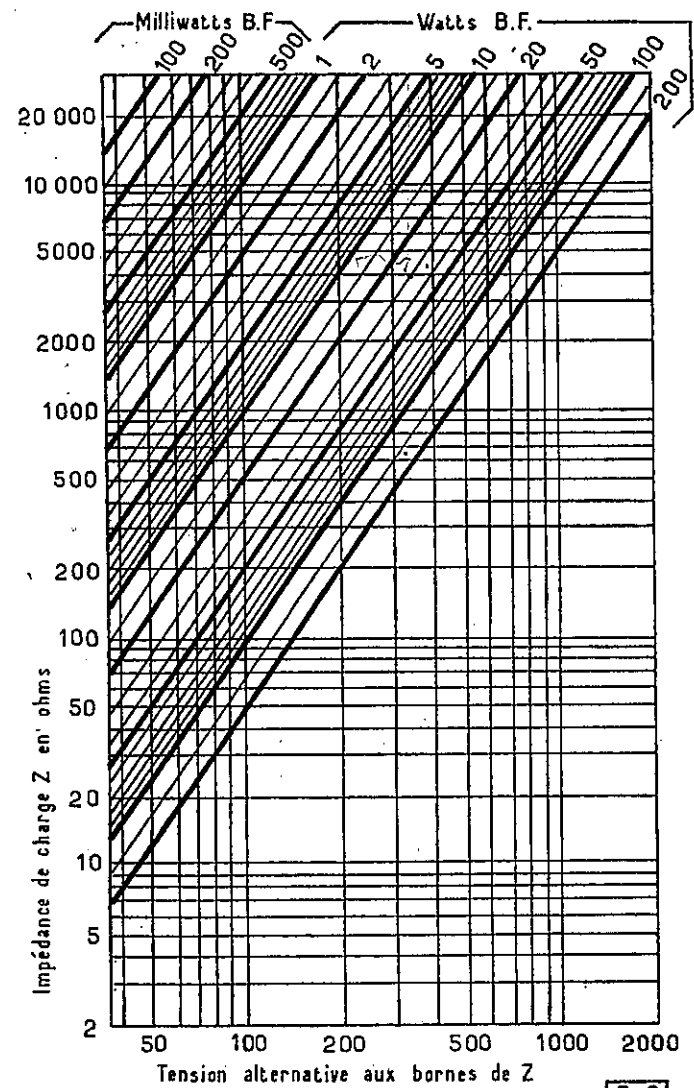
Pour un transformateur de cette puissance, nous majorons ce nombre d'environ 10 %, afin de tenir compte des pertes, ce qui nous donnera finalement : 53 + 5 = 58 tours au secondaire.

En ce qui concerne la détermination du fil primaire, nous aurons d'une part, l'intensité continue I_a, égale à 0,036 A dans le présent cas,



7-8

Fig. 7-8. — Abaque de la puissance en fonction de la tension B.F. aux bornes d'une Impédance Z (1^{re} partie).



7-9

Fig. 7-9. — Abaque de la puissance en fonction de la tension B.F. aux bornes d'une Impédance Z (2^e partie).

d'autre part la composante B.F. I_{BF} , correspondant à une puissance de 4 watts dans une impédance de 7000 ohms, soit :

$$I_{BF} = \sqrt{W / Z_1} = \sqrt{4 / 7000} = 0,024.$$

Et l'on aura : $I_{résultante} = \sqrt{0,036^2 + 0,024^2} = 0,043$ A.

L'abaque de la figure 7 - 6 fixe ainsi le diamètre du fil primaire à 0,15 mm.

Au secondaire, nous aurons, pour 4 watts :

$$I = \sqrt{W / Z_2} = \sqrt{4 / 2,5} = 1,27$$
 A.

(Eventuellement, user pour ce calcul, du détour indiqué plus haut : « Choix des diamètres des fils au primaire et au secondaire ».) Pour 1,27 A, le fil au secondaire, sera du 0,8 mm.

Nous aurons encore à nous occuper du logement du fil et l'abaque de la figure 7 - 6 nous donne, s'il s'agit de fils émaillés, 3300 tours au cm^2 pour le 0,15 mm ; 130 tours au cm^2 pour le 0,8 mm.

Donc, nous obtenons :

Encombrement de 2800 tours de fil 0,15 mm émaillé :	
2800/3300	0,85 cm^2
Encombrement de 58 tours de fil 0,8 mm émaillé : 58/130 ..	0,45 cm^2
Au total	1,30 cm^2

En admettant ici le coefficient 4 pour tenir compte de la présence des isolants, il nous faudra 5,2 cm^2 pour la surface de la fenêtre des tôles. Un entrefer sera ménagé.

2°) TRANSFORMATEUR DE MODULATION D'ÉMETTEUR.

Soit à coupler un push-pull de 6L6 en régime AB_2 (40 watts B.F., impédance plaque à plaque : 6000 ohms, tension anodique : 400 volts, intensité anodique maximum pour les deux tubes : 168 mA) à un émetteur dont l'étage final, réglé en régime C et modulé par la plaque, consomme 80 mA, sous 600 volts.

L'impédance du circuit plaque de l'émetteur est donc de $600/0,080 = 7500$ ohms. D'autre part, la puissance alimentation est ainsi de 48 watts. Un modulateur de 24 watts B.F. serait alors suffisant, mais nous déciderons d'étendre les possibilités de celui que nous allons construire, jusqu'à 40 watts B.F., afin de ménager l'avenir.

Pour 40 watts B.F. la section apparente du fer sera de 14 cm^2 , soit une section réelle de 12,8 cm^2 (fig. 7 - 3).

L'abaque de la figure 7 - 4 nous donne, pour 400 volts « avec courant continu au secondaire » et une section de fer de 12,8 cm^2 : 2800 tours pour chaque demi-primaire, soit pour le primaire tout entier : $2800 \times 2 = 5600$ tours.

Au primaire, nous aurons encore à considérer l'existence d'un courant continu de $168/2 = 84$ mA (soit 0,084 A) puisqu'il se divise en

deux ainsi que l'indique la figure 7 - 10, et auquel s'ajoute l'intensité alternative qui correspond à la puissance de 40 watts dans cet enroulement (pour une impédance de 6000 ohms). On a donc :

$$I_{BF} = \sqrt{W / Z_1} = \sqrt{40 / 6000} = 0,081$$
 A

et $I_{résultante} = \sqrt{0,084^2 + 0,081^2} = 0,117$ A.

Un diamètre de 0,25 mm sera très convenable pour le fil primaire.

L'abaque de la figure 7 - 5 nous indique, pour $Z_1 = 6000$ ohms et $Z_2 = 7500$ ohms, un rapport de transformation de 1,12. Le nombre de tours au secondaire sera donc de :

$$5600 \times 1,12 = 6272$$
 tours

Mais nous majorerons ce nombre de 5 %, pour cette puissance, ce qui nous donnera finalement :

$$6272 \times 1,05 = 6585$$
 tours.

Au secondaire, l'intensité continue étant de 80 mA et la composante alternative correspondant à une puissance de 40 watts B.F. aux

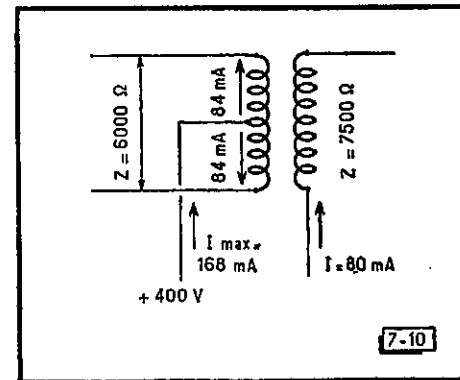


Fig. 7-10. — Partage de l'intensité dans les deux moitiés du primaire.

bornes d'une impédance de 7500 ohms, nous aurons pour cette composante :

$$I_{BF} = \sqrt{W / Z_2} = \sqrt{40 / 7500} = 0,073$$

Donc,

$$I_{résultante} = \sqrt{I_{cont.}^2 + I_{BF}^2} = \sqrt{0,080^2 + 0,073^2} = 0,108$$
 A

Pour 108 mA, un fil de 0,23 mm sera suffisant au secondaire et l'encombrement des enroulements atteindra (voir la figure 7 - 6) :
 5600 tours de fil émaillé 0,25 mm (1300 tours au cm^2) : 4,3 cm^2
 6585 tours de fil émaillé 0,23 mm (1500 tours au cm^2) : 4,4 cm^2

Au total 8,7 cm^2

En adoptant le coefficient 3,5 une fenêtre de $8 \times 3,5 = 30$ cm^2 (environ) sera convenable. Un entrefer sera prévu.

On calculerait de même les différents nombres de tours et les di-

mètres des fils au secondaire, pour un transformateur muni de prises correspondant à une gamme d'impédances.

REMARQUE A PROPOS DES PRIMAIRES A PRISE MÉDIANE

L'examen de la figure 7 - 10 offre encore l'occasion d'une remarque intéressante.

Puisque dans le push-pull, l'une des lampes « tire » lorsque l'autre « pousse », c'est une tension alternative *de sens uniforme* qui, à chaque instant, s'établit entre les deux extrémités du primaire.

Mais il en va de façon différente pour les champs magnétiques *continus* développés dans le fer par les deux moitiés du courant primaire. En effet, on voit sur la figure 7 - 10, par les flèches montrant les trajets des courants allant aux deux anodes, que ceux-ci sont *inversés* dans les deux moitiés du primaire. Les deux champs continus résultants sont donc *de sens opposé et ils s'annulent*.

De cette remarque, il résulte qu'il n'est pas indispensable de prévoir un entrefer dans un tel transformateur pour montage push-pull, à condition que le secondaire ne soit parcouru par aucun courant continu (liaison à une bobine mobile de haut-parleur, par exemple).

Malgré tout, l'entrefer est souvent gardé, à titre de moyen d'intervention sur la valeur de l'inductance du primaire.

Dans le cas d'un transformateur de modulation d'émetteur, l'entrefer est nécessaire, puisque le secondaire est traversé par le courant continu d'anode de l'étage final.

3°) TRANSFORMATEUR « DRIVER ».

Voyons encore le calcul d'un transformateur « driver » destiné au couplage d'un tube EL 84 monté en triode (tension anodique 250 V), avec un push-pull de 6L6 en classe AB₂.

Parmi les rapports de transformation les plus favorables (tableau III), nous choisirons, pour cet exemple, celui de :

$$\text{secondaire/primaire} = \frac{0,5 + 0,5}{1}$$

La question primordiale est ici la réduction de la résistance des enroulements du transformateur.

A cette fin, nous choisirons d'emblée une section de fer beaucoup plus grande que celle qui serait nécessaire pour transmettre la puissance demandée par les grilles du push-pull 6L6, ce qui nous permettra d'avoir un nombre de tours moins grand. Nous prendrons arbitrairement une carcasse faisant une section apparente de 10 cm². Évaluons la longueur de la spire moyenne, d'après la figure 7 - 11, à 210 mm, soit 0,21 m.

Comme il n'exite pas de courant continu au secondaire, la figure 7 - 4 nous donne, pour 9 cm² de section réelle et 250 volts : 1260 tours au primaire.

La lampe EL 84 en triode, ayant un courant anodique de 54 mA, le diamètre du fil primaire sera de 0,17 mm (fig. 7 - 6).

(Nous négligeons ici l'intensité alternative en raison de la faible puissance transmise et des *très larges* bases sur lesquelles nous avons fondé le calcul du transformateur.)

La longueur de l'enroulement est de :

$$1260 \times 0,21 = 267 \text{ mètres}$$

et sa résistance serait, pour du fil de 0,17 mm (0,75 ohm par mètre, selon l'abaque de la figure 7 - 6), de :

$$267 \times 0,75 = 200 \text{ ohms environ.}$$

Si d'autres bases de calcul avaient conduit à un enroulement de résistance plus grande que 250 à 300 ohms (valeur qu'il est bon de ne pas dépasser dans ce genre de transformateurs), il aurait suffi de forcer quelque peu le diamètre du fil choisi, afin que la résistance reste au-dessous de l'ordre de grandeur précité.

A chaque demi-secondaire, nous aurons puisque le rapport demi-secondaire/primaire est de 0,5/1 :

$$1260 \times 0,5 = 630 \text{ tours.}$$

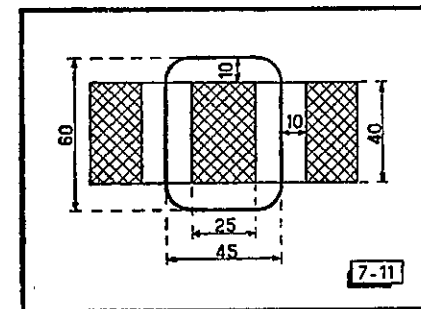


Fig. 7-11. — Détermination de la spire moyenne dans l'exemple de calcul du transformateur « driver ».

Pour un transformateur de cette puissance, nous majorerons ce nombre d'environ 8 %, soit :

$$630 \times 1,08 = 680 \text{ tours}$$

Nous prendrons arbitrairement un fil de diamètre suffisant pour être peu résistant, sans cependant tomber dans un excès qui conduirait à un encombrement inadmissible. Du fil de 0,20 mm se révélera satisfaisant, puisque la résistance de chaque demi-secondaire ne sera que de : $680 \times 0,21 \times 0,54 = 77$ ohms (la résistance au mètre étant de 0,54 ohm).

Il ne nous reste plus qu'à évaluer l'espace nécessaire au logement des enroulements. D'après l'abaque de la figure 7 - 8

Avec des fils émaillés, le primaire occupera (à raison de 2600 tours au centimètre carré, pour le 0,17 mm) : 1260/2600 0,49 cm² et le secondaire (2000 tours au centimètre carré pour le 0,20 mm) nécessitera pour ses 2 × 680 = 1360 tours : 1360/2000 0,68 cm²

Au total 1,17 cm²

En se basant sur un coefficient de 4, afin de tenir compte de la présence des isolants, une fenêtre de 4,7 cm² d'ouverture, conviendra parfaitement. [4]

DIVERGENCES !

Il arrive que certains techniciens, voulant établir le projet d'un transformateur consultent différentes documentations et se trouvent en présence de valeurs passablement divergentes, au point de se demander ce qui est vrai et ce qui est faux.

Tant qu'il ne s'agit que de transformateurs fonctionnant à partir du courant du secteur, c'est-à-dire à tension et à fréquence fixes, les résultats des calculs ne s'écartent guère les uns des autres. Mais, en revanche, en matière de B.F., les divergences s'expliquent par le fait que le transformateur ayant été destiné à travailler à puissance variable, sur des courants à forme souvent complexe, et sur une gamme de fréquences plus ou moins étendue, tout dépend du point de vue auquel on s'est placé à l'origine de l'étude.

Les bases de calcul que nous venons d'indiquer permettent d'obtenir des transformateurs de bonne qualité. Mais les performances générales dépendront aussi du soin apporté à la réalisation, au bobinage et, par exemple, de la réduction des capacités internes de l'enroulement pour une meilleure transmission des fréquences élevées, tandis qu'à l'égard des fréquences les plus basses il faudrait donner une valeur d'inductance suffisamment grande au primaire.

A titre d'exemple des « entorses » faites à la technique, nous avons déjà mentionné que certains fabricants (étrangers et réputés en matière de transformateurs), ne calculent pas la section du fer de leurs modèles B.F. selon la formule : $S = 2\sqrt{P}$, mais selon : $S = 1,2\sqrt{P}$, en spéculant sur le fait que, sur la parole, les pointes maxima de la tension sont une exception que l'on peut se permettre de négliger. Une sorte d'écrêtage par saturation se produit ainsi sur ces pointes, tandis que le transformateur reste adapté à la transmission du « niveau moyen » de la parole.

LES SECONDAIRES A COMBINAISONS

En raison de la nécessité du maintien de la symétrie entre les deux moitiés du primaire des transformateurs B.F. de puissance, pour leur branchement à deux lampes en push-pull, l'enroulement primaire est,

le plus souvent, prévu avec un choix de quelques prises également réparties par rapport à une prise médiane commune. L'adaptation à plusieurs impédances de charge optima se trouve ainsi possible.

Du côté du secondaire, il est fréquent que des combinaisons d'enroulements en série et en parallèle, soient ménagées. Le processus de calcul est analogue à celui que nous avons mentionné au chapitre IV, pour les primaires à combinaisons. Tous les enroulements tournant dans le même sens, les mises en série seraient faites en connectant la sortie d'un enroulement à l'entrée d'un autre, et les divers rapports de transformation ainsi obtenus détermineraient les nouvelles adaptations d'impédances possibles (abaque de la figure 7 - 5). Dans le cas du montage en parallèle, on ne relierait évidemment que des enroulements comportant un même nombre de tours, entrée avec entrée et sortie avec sortie.

En pratique, partant d'un enroulement unique, on en formerait deux en gardant pour chacun le même nombre de tours, mais en usant d'un nouveau fil présentant la moitié de la section primitive. On trouverait cette section en se référant à l'abaque de la figure 7 - 6 et en se basant sur la moitié de l'intensité admissible dans le fil de l'enroulement unique.

LES TRANSFORMATEURS POUR MONTAGES

B.F. A TRANSISTORS

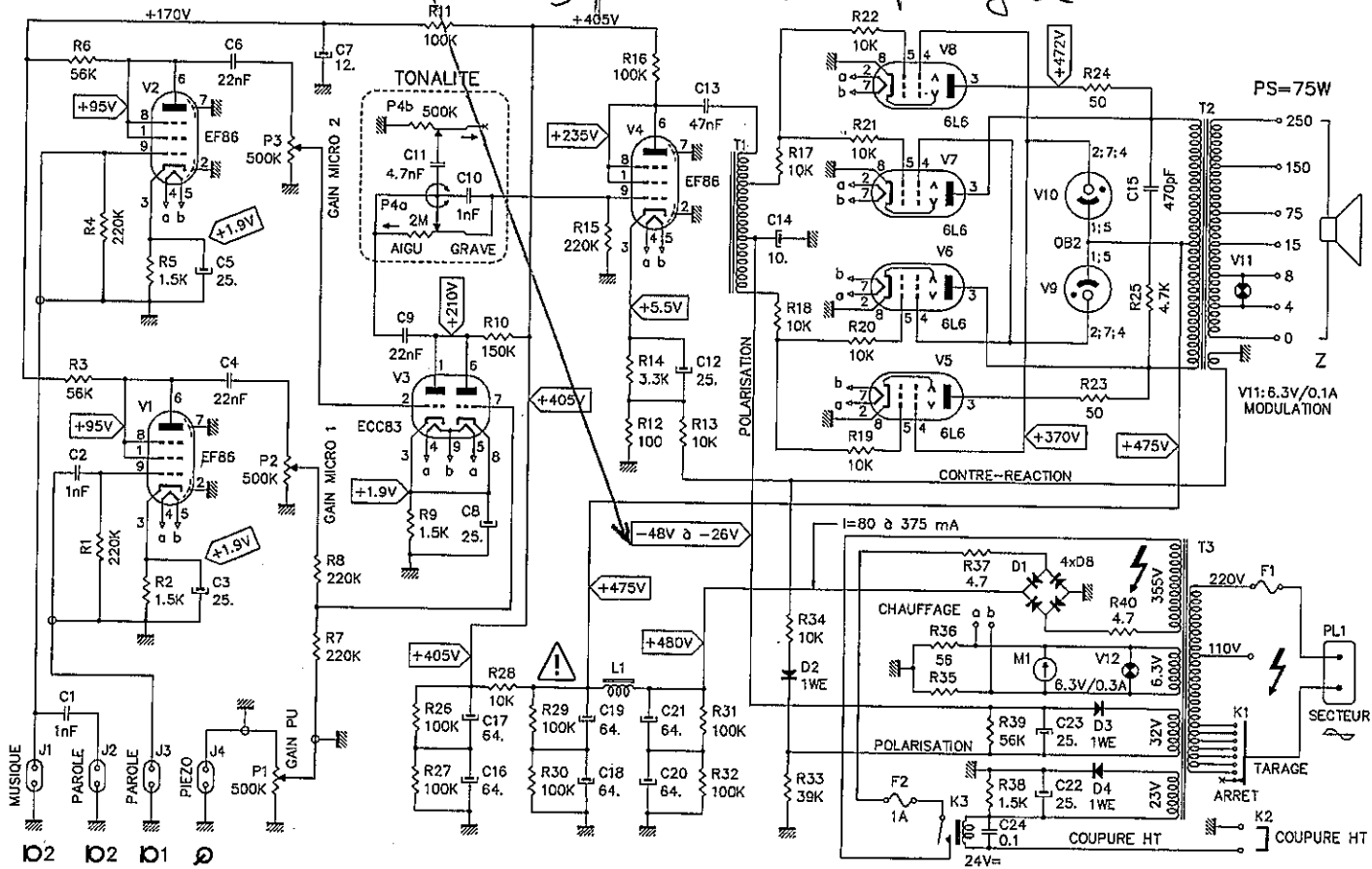
Ces transformateurs sont, un peu comme les transformateurs « drivers », un exemple des compromis auxquels on doit parfois faire appel. En effet, dans le cas des montages amplificateurs B.F. à transistors, la puissance à transmettre est faible, de sorte que si les calculs étaient fondés sur elle, on aboutirait à des sections ridiculement petites pour le circuit magnétique et, par voie de conséquence, à des enroulements d'un nombre de tours inacceptable. Bien entendu, le fil pourrait être très fin, trop fin même, pour qu'il reste un matériau pratiquement utilisable !

Pour de tels transformateurs, la solution est donc de choisir un circuit magnétique de section suffisante (sans exagération), autorisant la détermination des enroulements à un nombre de tours raisonnable, et, par ailleurs, d'employer des diamètres de fils supportant les manipulations au cours du bobinage.

Puisqu'il s'agit de courants B.F., mieux vaudra prendre de bonnes tôles (qualité 1,6 W/kg) et l'on se fixera en général, sur des découpes 28 × 32 mm, ainsi que sur une section de fer de l'ordre de 0,8 à 1,35 cm².

Le rapport entre les nombres de tours au primaire et au secondaire serait toujours calculé en fonction des impédances respectives des deux circuits dont il s'agit d'assurer la liaison, tout comme pour les autres transformateurs B.F. [5]

Figure 2.18. Amplificateur
Bouyer ST75 (1966).



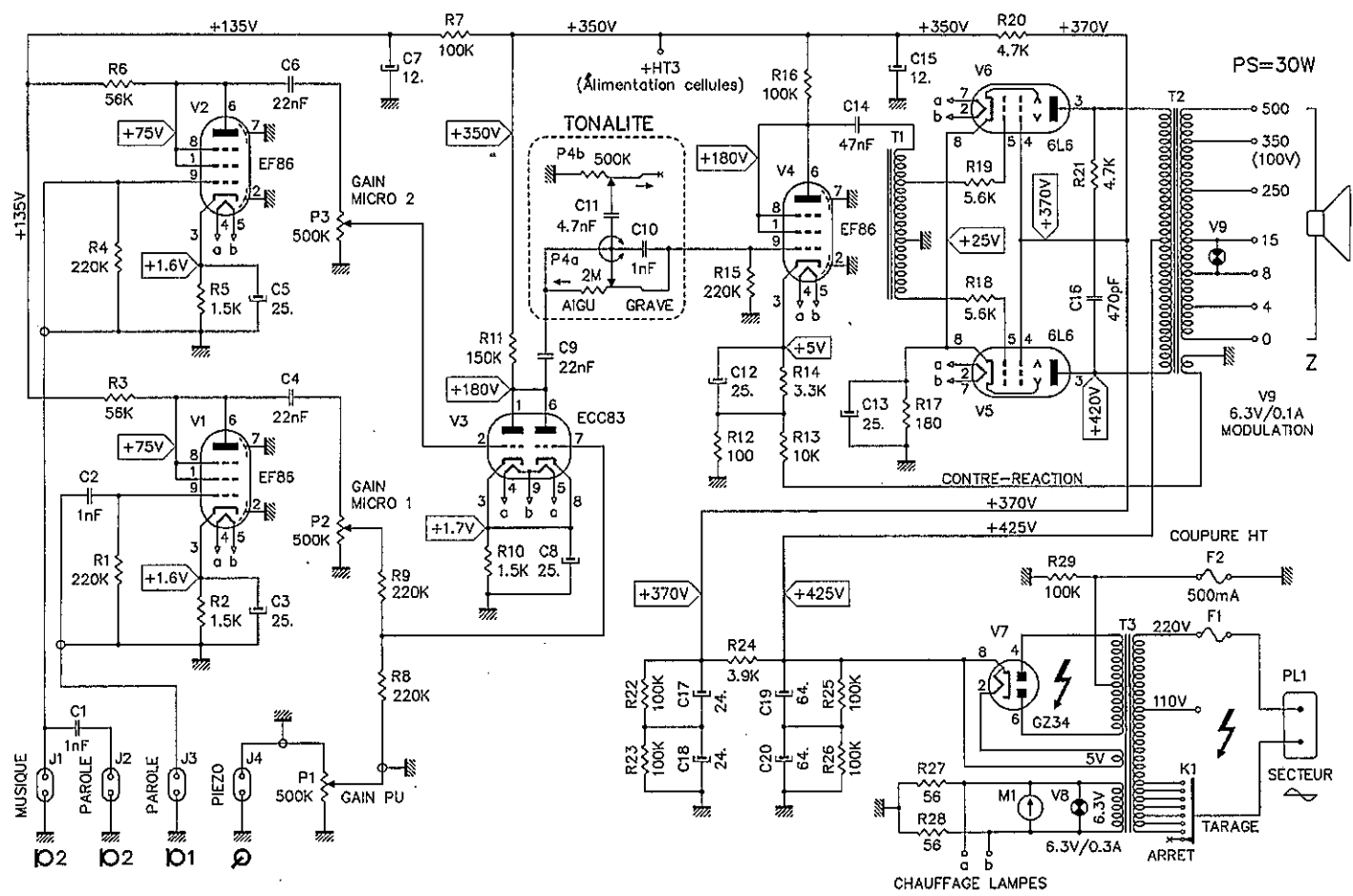
-48 à faible puissance
-26 à puissance max.

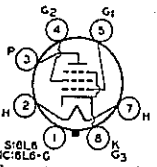
pour ne pas inutilement
faire de bruler le transfo
lorsqu'il n'y a pas de
signal

74

LES APPAREILS BF A LAMPES

Figure 2.16. Amplificateur
Bouyer ST130 (1966).





BEAM POWER AMPLIFIER

Metal type 6L6 and glass-octal type 6L6-G are used in output stage of radio receivers and amplifiers, especially those designed to have ample reserve of power-delivering ability.

These types provide high power output, sensitivity, and high efficiency. Power output at all levels has low third and negligible higher-order harmonics. For discussion of beam power amplifier considerations, refer to ELECTRONS, ELECTRODES, AND ELECTRON TUBES SECTION.

6L6 6L6-G

HEATER VOLTAGE (AC/DC).....	6.3	volts
HEATER CURRENT.....	0.9	ampere
DIRECT INTERELECTRODE CAPACITANCES (Approx.):		
Grid No.1 to Plate.....	0.4	μf
Input.....	10	μf
Output.....	12	μf

Maximum Ratings: SINGLE-TUBE CLASS A ₁ AMPLIFIER		
PLATE VOLTAGE.....	360 max	volts
GRID-NO.2 (SCREEN) VOLTAGE.....	270 max	volts
PLATE DISSIPATION.....	18 max	watts
GRID-NO.2 INPUT.....	2.5 max	watts
PEAK HEATER-CATHODE VOLTAGE:		
Heater negative with respect to cathode.....	180 max	volts
Heater positive with respect to cathode.....	180 max	volts

Typical Operation:		
	Fixed Bias	Cathode Bias
Plate Voltage.....	250 350	250 300
Grid-No.2 Voltage.....	250 250	250 200
Grid-No.1 (Control-Grid) Voltage.....	-14 -18	-
Cathode Resistor.....	-	170 220
Peak AF Grid-No.1 Voltage.....	14 18	14 12.5
Zero-Signal Plate Current.....	72 54	75 51
Maximum-Signal Plate Current.....	79 66	73 54.5
Zero-Signal Grid-No.2 Current.....	5 2.5	5.4 3
Maximum-Signal Grid-No.2 Current.....	7.3 7	7.2 4.6
Plate Resistance.....	22500 33000	-
Transconductance.....	6000 5200	-
Load Resistance.....	2500 4200	2500 4500
Total Harmonic Distortion.....	10 15	10 11
Maximum-Signal Power Output.....	6.5 10.8	6.5 6.5

Maximum Ratings: SINGLE-TUBE CLASS A ₁ AMPLIFIER (Triode Connection)†		
PLATE VOLTAGE.....	275 max	volts
PLATE AND GRID-NO.2 DISSIPATION (TOTAL).....	12.5 max	watts
PEAK HEATER-CATHODE VOLTAGE:		
Heater negative with respect to cathode.....	180 max	volts
Heater positive with respect to cathode.....	180 max	volts

Typical Operation:		
	Fixed Bias	Cathode Bias
Plate Voltage.....	250	250
Grid-No.1 (Control-Grid) Voltage.....	-20	-
Cathode Resistor.....	-	490
Peak AF Grid-No.1 Voltage.....	20	20
Zero-Signal Plate Current.....	40	40
Maximum-Signal Plate Current.....	44	42
Plate Resistance.....	1700	-
Amplification Factor.....	8	-
Transconductance.....	4700	-
Load Resistance.....	6000	6000
Total Harmonic Distortion.....	5	6
Maximum-Signal Power Output.....	1.4	1.3

† Grid No.2 connected to plate.

Maximum Ratings: PUSH-PULL CLASS A₁ AMPLIFIER (Same as for single-tube class A₁ amplifier)

Typical Operation (Values are for two tubes):		
	Fixed Bias	Cathode Bias
Plate Voltage.....	250 270	270
Grid-No.2 Voltage.....	250 270	270
Grid-No.1 (Control-Grid) Voltage.....	-14 -17.5	-
Cathode Resistor.....	-	125
Peak AF Grid-No.1-to-Grid-No.1 Voltage.....	32 35	40
Zero-Signal Plate Current.....	120 134	134
Maximum-Signal Plate Current.....	140 155	145
Zero-Signal Grid-No.2 Current.....	10 11	11
Maximum-Signal Grid-No.2 Current.....	16 17	17
Plate Resistance.....	24500 23500	-
Transconductance.....	5600 5700	-
Effective Load Resistance (Plate-to-plate).....	6000 5000	6000
Total Harmonic Distortion.....	2 2	2
Maximum-Signal Power Output.....	14.6 17.5	18.5

Maximum Ratings: PUSH-PULL CLASS AB₁ AMPLIFIER (Same as for single-tube class A₁ amplifier)

Typical Operation (Values are for two tubes):		
	Fixed Bias	Cathode Bias
Plate Voltage.....	360 360	360
Grid-No.2 Voltage.....	270 270	270
Grid-No.1 (Control-Grid) Voltage.....	-22.5 -22.5	-
Cathode Resistor.....	-	250
Peak AF Grid-No.1-to-Grid-No.1 Voltage.....	45 45	57
Zero-Signal Plate Current.....	88 88	88
Maximum-Signal Plate Current.....	132 140	100
Zero-Signal Grid-No.2 Current.....	5 5	5
Maximum-Signal Grid-No.2 Current.....	15 11	17
Effective Load Resistance (Plate-to-plate).....	6000 3800	9000
Total Harmonic Distortion.....	2 2	4
Maximum-Signal Power Output.....	20.5 18	24.5

Maximum Ratings: PUSH-PULL CLASS AB₁ AMPLIFIER (Same as for single-tube class A₁ amplifier)

Typical Operation (Values are for two tubes):		
	Fixed Bias	Cathode Bias
Plate Voltage.....	360 360	360
Grid-No.2 Voltage.....	225 270	270
Grid-No.1 (Control-Grid) Voltage.....	-18 -22.5	-
Peak AF Grid-No.1-to-Grid-No.1 Voltage.....	62 72	72
Zero-Signal Plate Current.....	78 88	88
Maximum-Signal Plate Current.....	142 205	142
Zero-Signal Grid-No.2 Current.....	3.5 5	5
Maximum-Signal Grid-No.2 Current.....	11 16	17
Effective Load Resistance (Plate-to-plate).....	6000 3800	9000
Peak Grid-Input Power.....	140 270	140
Total Harmonic Distortion.....	2 2	2
Maximum-Signal Power Output.....	31 47	47

INSTALLATION AND APPLICATION

Types 6L6 and 6L6-G require an octal socket and may be mounted in any position. Outlines 7 and 40, respectively, OUTLINES SECTION. It is especially important that these tubes, like other power-handling tubes, should be adequately ventilated.

The heater is designed to operate at 6.3 volts. The transformer supplying this voltage should be designed to operate the heater at this recommended value for full-load operating conditions at average line voltage. Under the maximum screen- and plate-dissipation conditions, the heater voltage should never fluctuate so that it exceeds 7.0 volts. For cathode connection, refer to type 6AQ5.

In all services, precautions should be taken to insure that the dissipation rating is not exceeded with expected line-voltage variations, especially in the cases of fixed-bias operation. When the push-pull connection is used, fixed-bias values up to 10% of each typical grid-No.2 voltage can be used without increasing distortion.

all values ST 30

OK all ST 30

AMPLIFICATION SYMÉTRIQUE PAR TUBES TÉTRODE OU PENTODE DE PUISSANCE

TYPES	V H.T.	I_a repos mA total 2 tubes	I_a max mA total 2 tubes	Z_a de pl. à pl. k Ω	V pol semi-aut. V	Rk pol autom. Ω	V écran V	W mod W	V eff. B.F. de G à G.
6L6 Classe A	250 270	120 134	140 155	5 5	— 16	125	250 270	14,5 à 2 % 17,5 à 2 %	32 35
6L6 Classe AB1	360 360 450	88 88 116	132 140 210	6,6 3,8 5,6	— 22,5 — 22,5 — 37		270 270 400	26,5 à 2 % 18 à 2 % 55 à 2 %	45 45 70
6L6 Classe AB2	360 360	78 88	142 205	6 3,8	— 18 — 22,5		225 270	31 à 2 % 47 à 2 %	52 (0,15 W) 72 (0,27 W)
6AQ5/EL90 Classe AB1	250 285	70 70	79 92	10 8	— 15 — 19		250 285	10 à 5 % 14 à 5 %	30 38
6BQ5/EL84 Classe AB1	250 300	62 72	75 92	8 8		130 130	250 300	11 à 3 % 17 à 4 %	8 10
6BQ5/EL84 Classe AB2	250 300	20 15	75 92	8 8	— 11,6 — 14,7		250 300	11 à 3 % 17 à 4 %	8 10
EL34/EL503 EL520 Classe AB1	375	150	190	3,4		130	350	35 à 5 %	21
EL34/EL503 EL520 Classe AB2	775	50	182	11	— 39 pol fixe		400	100 à 5 %	23,4