

13

vosre Carrière

REVUE de TECHNIQUE RADIO

magazine des futurs électroniciens

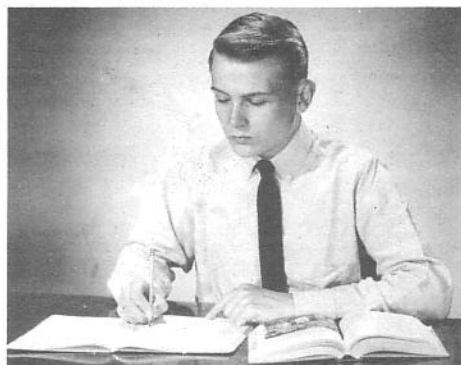


hebdomadaire pour la formation professionnelle - 24 - 30 mai 1965 - le numero 1,60 F.

vosre 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.

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.

PUBLICITE

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



Le Numéro précédent a été tiré à 30 512 exemplaires.

DISTRIBUTION

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

COPYRIGHT

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

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

Sommaire

★ Courrier technique	page 2
★ La télévision de masse pénètre dans les écoles	» 3
★ Transformateurs	» 5
★ Construction des transformateurs d'alimentation	» 14
★ Dictionnaire Anglais - Français d'Electronique	» 17
★ Symboles - Abréviations - Formules	» 27
★ Questions sur les 37 ^{ème} et 38 ^{ème} leçons	» 27
★ Réponses aux questions du numéro précédent	» 28
★ Correspondance entre la numération « B et S » et le diamètre en mm des conducteurs	» 28
★ Calcul rapide de la section nette et brute du circuit magnétique d'un transformateur	» 29
★ Dimensions des tôles pour transformateurs	» 30
★ Caractéristiques des fils pour enroulements de bobines et de transformateurs	» 31
★ Caractéristiques des matériaux isolants pour l'isolement entre les couches de fils	» 32
★ Equipement électronique sur les navires	» 33

Courrier technique

M. CH AUBENAS, nous demande des précisions concernant le montage donné dans le n. 3 de « Votre Carrière ».

Le montage que nous avons donné dans le numéro 3 peut fonctionner parfaitement avec un émetteur situé aux environs de 100 km; néanmoins il est indispensable que vous ayez une antenne en « L » aussi haute que possible et dont la partie verticale ait 10 m au moins.

Si la bobine n'est pas coupée, ni en court circuit, il doit se produire un crachement dans l'écouteur quand vous court-circuitez les lames de l'un des deux condensateurs variables. De même si un condensateur variable est toujours en court-circuit, il n'y aura pas de crachement dans les écouteurs.

La question de la polarisation des diodes est très importante. Il faut les mettre toutes les deux dans le même sens, d'ailleurs, le schéma indique bien le côté +. Le cercle est à adopter pour + et ainsi elles seront branchées semblablement, ce qui est indispensable (en aucun cas ne les mettre en opposition).

Reponse à de nombreux lecteurs et à **M. Ch. L.** de Nanterre.

1^{re}) Nous tenons à la photo de couverture afin que les lecteurs puissent reconnaître facilement cette revue parmi toutes les autres revues radio qui précisément présentent en couverture des schémas ou des appareils.

2^{re}) En ce qui concerne le ronflement de votre tourne disques, il y a plusieurs causes possibles:

1^{re}) Un contact même imparfait entre circuits de chauffage des tubes

(peut être dans un tube surtout le EF 80) et une des cathodes ou une des grilles. Cela peut être dans un support de lampe.

2^{re}) Il peut y avoir seulement induction de connexion grille « en l'air » (résistance de grille coupée) ou blindage de connexion grille séparé de la masse.

3^{re}) Un condensateur claqué entre chauffage et masse.

4^{re}) Vérifier la bonne mise à la masse des condensateurs électrolytiques, il ne suffit pas de les changer !

D.P. à Paris 17^{ème} - J'ai pu voir la télévision en couleurs chez un ami, journaliste technique sélectionné pour les essais de fin 64 - début 65. Où se trouvait l'émetteur et quelle était sa puissance?

Notre Directeur a en effet participé à ces essais, et son installation a pu assumer 186 heures « d'écoute et vision » pour lesquelles il a transmis les Comptes rendus aux laboratoires de l'O.R.T.F. à Issy-les-Moulineaux.

L'émetteur était un émetteur de la Compagnie Française Thomson-Houston sur U.H.F. (canal 28) modulé en télévision couleurs par les circuits SECAM de la Compagnie Française de Télévision, du groupe CSF (donc association de différents groupes industriels, tout comme les 100 récepteurs TV couleurs qui ont été construits par 10 fabricants de téléviseurs différents).

L'émetteur était situé aux Buttes-Chaumont, au-dessus des studios de l'O.R.T.F. consacrés aux programmes dits « dramatiques » (émissions théâtra-

les). Il avait une puissance de 2 kilowatts, multipliée par un gain d'antenne de $\times 15$ à $\times 20$, soit 30 à 50 kilowatts UHF rayonnés sur la région parisienne.

Certains téléviseurs couleurs se trouvaient à 30 et même 40 km de l'émetteur. Les résultats furent partout bons, comme chacun sait, et les notes des comptes rendus étaient en fin de saison, très voisines du maximum (1 : excellent).

Les usagers n'avaient que deux « paramètres » à adapter, tout comme sur un téléviseur noir et blanc : le contraste (c'est-à-dire la sensibilité globale du récepteur) et la luminosité (ce qui

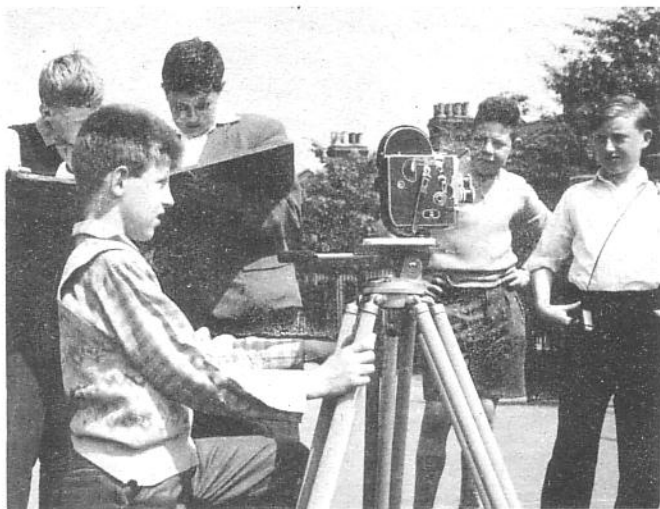
permet ici de saturer plus ou moins les couleurs, plus foncées ou plus claires, mais sans les dénaturer).

L'émetteur 2ème chaîne de la Tour Eiffel, émettant classiquement sur le canal 22, a émis aussi avec ses 20 kW (multipliés par le gain d'antenne) en couleurs « sans le dire à personne » pendant le séjour de la délégation soviétique à Paris en février. Les émissions « couleurs » furent aussi parfaitement reçues par les cent postes, quand leur antenne orientée vers les Buttes Chaumont pour l'émetteur couleurs canal 28, ne tournait pas trop le profil à la direction de la Tour Eiffel.

Pendant ce temps, les téléspectateurs

ordinaires, plusieurs soirs de suite, recevaient en noir et blanc les émissions couleurs, sans s'en douter, car le système français SECAM est parfaitement « compatible ».

C'est ainsi que le chef-d'œuvre de Renoir, le film en couleurs « Une Vie » de Maupassant fut programmé, fort apprécié sur les téléviseurs ordinaires; mais nous le reçûmes en couleurs et nous en conserverons un souvenir inoubliable: film dont chaque prise de vues fut étudiée comme un tableau de maître, et qui, sur le petit écran, dans l'intimité, dépasse cent fois l'intérêt qu'il représente sur l'écran des salles de cinéma.



On est en train de tourner la scène d'un film produit par des écoliers de la Cornwell Secondary School de East Ham, Londres.



Des mesures très précises pour une des scènes sont prises avec un scrupule presque professionnel.

La télévision de masse pénètre dans les écoles

Dans les écoles secondaires de Cornwell à Londres, on essaie d'adapter la méthode d'enseignement, en grande partie orientée sur la parole écrite, à un monde où la faculté d'observer et d'écouter prend une importance toujours plus vitale.

Pendant 400 ans, la civilisation occidentale a vécu dans « l'ère de Gutenberg », période pendant laquelle le mot « écrit » a supplanté le mot « dit » et les formes picturales de communication, commençant ainsi l'ère des communications de masse. Toutefois, pendant ces 100 dernières années et spécialement pendant ces 60 dernières années, un changement fondamental des moyens de communication de masse a eu lieu.

D'abord l'invention de la photographie commença à rétablir les formes picturales; puis, les gramophones, la radio et les inventions successives d'enregistrement sonore ont restitué au mot parlé une partie de son influence primitive. Mais c'est le cinéma parlant et la télévision qui ont complété la transformation et nous ont apporté un langage complètement nouveau, le langage de l'écran, nous donnant également une forme artistique sociale nouvelle et vitale.

Source importante de culture

D'après un récent rapport gouvernemental, la Grande Bretagne révèle qu'il n'est pas exagéré de dire que quand des jeunes gens terminent leurs études, la télévision devient, pour la plus grande partie d'entre eux, la source d'information la plus importante sur le monde extérieur aux limites de leur expérience, l'occasion de jouir des arts, le moyen de connaître toutes les variétés de la personnalité humaine, un contact avec les façons de parler et de penser différentes de celles de leur groupe social.

La culture fournie par tous les moyens de masse et particulièrement par le cinéma et par la télévision, représente le facteur le plus significatif du milieu dont les enseignants doivent tenir compte... A ce point, nous devons faire un appel pressant pour l'étude du

cinéma et de la télévision comme unités propres, comme des forces puissantes de notre culture et les sources significatives du langage et des idées. Jusqu'à présent, on s'est peu préoccupé du degré dans lequel le cinéma et la télévision s'insèrent dans la vie des élèves et de ces moyens comme des voies légitimes de communication d'expériences personnelles, à côté de la littérature, de la musique et de la peinture ».

A la Cornwell Secondary School de Heast Ham, Londres, on essaye, à travers les cours d'études à l'écran, d'adapter un processus d'acquisition, en grande partie encore orienté sur l'imprimerie, à un monde où la capacité d'observer et d'écouter devient toujours plus vitale.

Vaste étude humaine

L'éducation par l'écran est une méthode moderne basée sur l'appréciation de deux principes vitaux, premièrement, que le pouvoir et l'influence des moyens de l'écran sont tels que non seulement il respectent notre société mais ils contribuent aussi à la former. Deuxièmement, que le cinéma et la télévision sont les formes populaires du XX^{ème} siècle et que dans leur meilleure expression, ils peuvent donner une expérience culturelle qui enrichira la vie de nos jeunes.

La méthode de base de l'éducation à l'écran est la discussion. Le premier but est d'enraciner dans l'esprit des enfants le principe suivant: que l'on peut parler des films et des programmes télévisés, que ceci fait partie de l'expérience totale et que la discussion peut enrichir le plaisir que l'on a éprouvé en regardant.

Les discussions en classe peuvent se faire sur un film vu à une réunion de la société cinématographique scolaire, sur un film que les élèves peuvent avoir vu au cinéma ou sur un programme ou sur un film vu à la télévision. De plus dans la salle de classe sont projetés des courts-métrages, des documentaires et des extraits de longs-métrages.

Etude du travailleur qui crée

On étudie également la contribution que divers travailleurs créateurs apportent à la création d'un film ou d'un programme de télévision: metteurs en scène, directeurs artistiques, régisseurs, producteurs etc...

Au cours de ces études les élèves non seulement apprennent à apprécier ce qu'ils voient sur l'écran, mais découvrent aussi quelque chose sur la forme et sur le langage des moyens cinématographiques. Ils découvrent, par exemple, qu'un producteur cinématographique transmet ses idées et sa façon de voir à travers le choix d'une position de la camera, d'un choix d'objectif, d'un ensemble de lumières, d'un style de production comme à travers l'intrigue et le dialogue. Les enfants commencent ainsi à se faire une culture cinématographique. Ils deviennent en même temps passionnés des possibilités (et des règles) des moyens d'expression, et il est juste qu'ils souhaitent avoir l'occasion d'exprimer leurs propres idées dans un film.

Il est parfaitement possible de donner une éducation

cinématographique sans y comprendre la production de films de la part des enfants. Cependant exclure la production de films prive les enfants d'une expérience qui peut avoir un effet significatif sur leurs rapports avec le cinéma et la télévision et qui peut apporter une réelle contribution au développement de leur personnalité.

Professionnalisme surprenant

Les enfants mettent beaucoup plus d'ardeur dans la réalisation de leurs films qu'ils n'en mettent habituellement dans les autres activités scolaires. Non seulement ils sont prêts à lui consacrer beaucoup de temps et de travail, mais ils y apportent un professionnalisme surprenant et pour obtenir un film d'un bon niveau, ils sont prêts à faire et à refaire sans se lasser.

Il est très courant de voir un groupe d'enfants passer 40 minutes à préparer et à éclairer la scène, puis la répéter jusqu'à dix fois avant d'en être suffisamment satisfaits pour la tourner; et ceci pour une scène qui peut ne pas durer plus de six ou sept minutes sur l'écran.

Il est indéniable qu'après avoir fait un film, les enfants ne voient plus un film de la même façon. Ils sont plus compréhensifs et plus critiques en même temps. Leur expérience créatrice les rends plus sensibles au moyen d'expression cinématographique et les incline davantage à considérer le film comme quelque chose d'important qui mérite une considération et un jugement sérieux.

Pour obtenir de la production de film le maximum de résultats, il est important d'observer certains principes et certaines méthodes. Premièrement les meilleurs films sont ceux dont la production rentre dans quelque type de cours ou d'études cinématographiques. Avant de pouvoir s'exprimer couramment dans le langage cinématographique, les enfants doivent savoir ce qu'est un film, de quelle façon le film raconte une histoire en cinématographie.

Tous les films de ces enfants sont brefs (pas plus de 20 minutes), muets (c'est-à-dire sans dialogue), sur pellicule de 16 mm et en noir et blanc. Il est important que les films soient exécutés sous cette forme simple qui permet aux enfants de se mesurer facilement du point de vue technique, atteignant ainsi un niveau élevé de qualité.

La production de chaque film requiert une grande variété de talents divers: régie, photographie, récitation, lumières, direction, projection et construction de scénographies simples etc... Le film a cet avantage sur la récitation traditionnelle des écoles d'être une vraie création des enfants et il reste, il dure, témoignage permanent. Le film et la télévision peuvent créer un pont entre le monde de l'école et celui des enfants et peuvent être les instruments puissants d'une éducation plus large et plus humaine, qui se préoccupe de développer la fantaisie, la sensibilité et les valeurs humaines ainsi que d'élargir la connaissance du monde physique.

LES TRANSFORMATEURS

L'utilisation convenable de l'énergie électrique, tout comme celle de l'énergie mécanique, nécessite l'emploi de dispositifs capables de convertir l'énergie disponible de la source, en une forme d'énergie mieux adaptée à la charge. Par exemple, une boîte de démultiplication à engrenages, placée entre un moteur et une scie circulaire, doit avoir des caractéristiques telles que cette scie puisse tourner lentement (mais avec une force considérable) ou très vite (avec une force plus faible), suivant la dureté du matériau travaillé. De même, il est nécessaire de prévoir des circuits électriques de telle sorte que, vis à vis de la charge, la puissance disponible soit la mieux appropriée en tension et en courant. On doit pouvoir choisir entre les combinaisons multiples, allant d'une tension élevée, sous un faible débit, à une faible tension sous une forte intensité.

Le dispositif électrique qui accomplit une fonction comparable au démultiplicateur mécanique à engrenages s'appelle **transformateur**. Celui-ci transforme l'énergie électrique en faisant varier le rapport tension-courant. Il convient, toutefois, de remarquer que, ni le système mécanique, ni le dispositif électrique *ne peuvent changer la quantité* de puissance disponible.

Le fonctionnement d'un transformateur est basé sur le principe de l'induction électromagnétique, dont nous sommes déjà occupés (ainsi d'ailleurs que du transformateur), et nos lecteurs doivent avoir, dès à présent, une idée assez claire de son fonctionnement, en général. Le transformateur est constitué par un ou plusieurs enroulements soumis, réciproquement, à l'action du courant qui les parcourt, en ce sens que — étant couplés inductivement entre eux — le courant passant dans un des enroulements induit une tension dans les autres. Ceci est dû au fait qu'il existe une *induction mutuelle* entre ces enroulements.

La **figure 1** donne le schéma de principe d'un transformateur: un enroulement — que nous savons être appelé **primaire** — est relié à la source d'énergie, tandis qu'un autre enroulement, le **secondaire** — qui reçoit la tension induite — est relié à la charge d'utilisation. La puissance fournie par le générateur passe par le transformateur et alimente la charge, malgré l'absence de toute liaison directe entre ces deux circuits; le passage se fait — répétons-le — par induction. Il s'ensuit que la puissance consommée au primaire est égale à celle dissipée au secondaire, soit $P_p = P_s$. Si les enroulements du transformateur étaient

trop éloignés l'un de l'autre, ou s'ils étaient complètement blindés l'un par rapport à l'autre, l'énergie électrique ne pourrait passer et le transformateur serait inutilisable.

Pour obtenir le transfert maximum d'énergie du primaire au secondaire, il faut que *le couplage soit le plus serré possible*. Toutes les lignes de force du champ magnétique primaire doivent atteindre l'enroulement secondaire. C'est pourquoi ce dernier est directement enroulé sur le primaire, avec la simple interposition d'une mince couche de matière isolante.

Etant donné que la réluctance de l'air est maximum et que sa perméabilité est minimum, l'introduction, au centre des enroulements, d'un noyau de fer à grande perméabilité, augmente le couplage du flux entre les bobines et donne le transfert d'énergie maximum.

Toutefois, malgré l'utilisation d'un noyau à haute perméabilité, quelques lignes de force sont dispersées — et ne peuvent atteindre le secondaire — ce qui donne lieu à des pertes de puissance. Ce sont ces pertes, inévitables, qui font qu'il est impossible de construire un transformateur ayant un rendement de 100%. Malgré cela, un transformateur convenablement étudié peut permettre le transfert des 98% de l'énergie appliquée au primaire, ce qui signifie, en d'autres termes, que K — coefficient de couplage entre les bobines — peut atteindre 0,98.

La **figure 2** illustre un transformateur type avec noyau de fer. Les lignes de flux produites au primaire sont, comme on le voit, dirigées sur le secondaire, grâce à la faible réluctance du circuit magnétique. On peut également noter, sur cette figure, la présence d'un flux dispersé, dont nous avons parlé plus haut. La **figure 3-A** montre un type de circuit magnétique, en tôles d'acier au silicium, le plus couramment employé. La **figure 3-B** représente la coupe transversale des enroulements dans leur aspect le plus classique. Chaque couche de fil est séparée de la couche supérieure et de la couche inférieure par des feuilles de papier paraffiné; l'enroulement secondaire est séparé de l'enroulement primaire par une feuille de carton ou de papier fort de plus grande épaisseur, recouvert d'un vernis isolant.

THEORIE DU FONCTIONNEMENT D'UN TRANSFORMATEUR

Comme nous l'avons dit plus haut, un transformateur permet de transférer l'énergie du primaire au second-

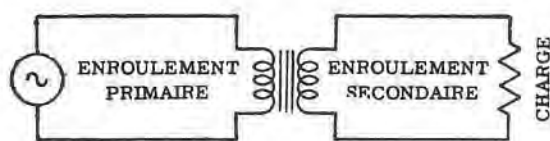


Fig. 1 - Schéma de principe d'un transformateur. Un enroulement primaire est relié à une source de courant alternatif; un autre enroulement, « le secondaire », est branché à la charge d'utilisation. L'énergie est transférée par induction du primaire au secondaire. Pour les courants à la fréquence du réseau ou aux fréquences acoustiques (BF), l'air présente une trop forte réluctance: on introduit alors un noyau de fer (traits verticaux), ce qui augmente la perméabilité, donc le couplage.

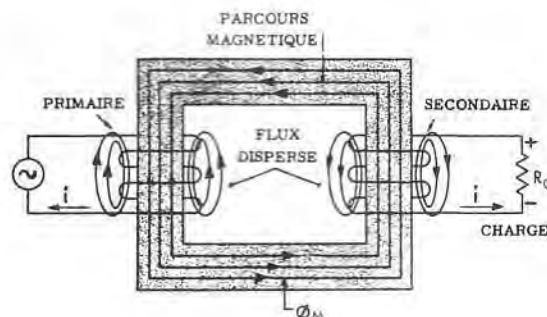


Fig. 2 - La figure met en évidence comment le noyau de fer (circuit magnétique) concentre le flux magnétique entre les deux enroulements, primaire et secondaire. On voit également qu'une partie du flux se disperse inutilement à l'extérieur des enroulements.

daire grâce au couplage inductif réalisé entre ces deux enroulements, c'est-à-dire par induction mutuelle. Pour cette raison, il est logique de conclure que l'inductance de chaque enroulement doit être la plus grande possible. S'il était donné de construire un transformateur idéal (c'est-à-dire avec des enroulements ayant véritablement une inductance infinie), la réactance inductive du primaire serait infinie pour n'importe quelle fréquence du courant alternatif d'alimentation. En pratique, à la fréquence normale du courant alternatif du réseau de distribution électrique (50 Hz), par exemple, l'inductance du primaire, bien que ne pouvant avoir une valeur infinie, doit être suffisamment élevée pour présenter une réactance appréciable à la tension d'alimentation. C'est ainsi que, si le circuit magnétique d'un transformateur fonctionnant à une fréquence de 50 Hz, venait à être retiré, la réactance inductive diminuerait fortement et le circuit primaire absorberait un très fort courant, même en l'absence de toute charge au secondaire.

L'intensité du courant passant dans le primaire du transformateur en l'absence de charge, doit être aussi faible que possible, car cette énergie est perdue. Cela est évident puisque, en l'absence de charge au secondaire, l'énergie consommée par le primaire l'est en pure perte et n'effectue aucun travail.

Plus forte sera la valeur de l'inductance (et, par suite, de la réactance) du primaire, plus faible sera le courant nécessaire pour produire le couplage inductif indispensable.

Une analyse détaillée des phénomènes va nous permettre de mieux comprendre l'importance de la valeur de la réactance du primaire, ainsi que l'effet que le secondaire produit sur elle. La figure 4-A représente un transformateur très simple, comportant un enroulement primaire et un enroulement secondaire bobinés sur un noyau de fer doux. Le primaire est relié à une source de courant alternatif, tandis que le secondaire est laissé libre, il est « ouvert », afin qu'il n'exerce aucune influence appréciable, dans cette première partie de notre analyse. Dans ce cas, le primaire n'est donc pratiquement qu'une simple inductance

avec noyau magnétique, et comme telle, présente une réactance inductive à la source d'alimentation. Le courant, dont l'intensité dépend de la valeur de cette réactance, détermine la formation d'un champ magnétique variable dans le noyau. Le courant et la tension sont déphasés de 90° , le courant étant en retard sur la tension.

La direction des lignes de flux magnétique est précisée au moyen de la règle dite « de la main gauche ». C'est ainsi que se crée une force électromotrice E_p' , opposée à la tension appliquée E_p , et déphasée de 180° par rapport à elle, et également déphasée de 90° sur le courant primaire, qui est en retard sur elle, comme nous l'avons dit plus haut et comme le montre le diagramme vectoriel de la figure 4-B.

Dans la figure 5-A, est représenté le même transformateur et nous avons indiqué les effets que produit le primaire sur l'enroulement secondaire (tout en négligeant, dans un but de simplification, la représentation des phénomènes produits au primaire). Il est facile de constater que le secondaire forme, par lui-même, une simple inductance dans laquelle est induite une tension provoquée par le flux variable produit par le primaire. Cette tension induite a le même sens que la f.e.m. E_p' du primaire (voir figure 4-B).

En nous plaçant au même instant que celui que nous avons choisi lors de l'analyse du primaire, le courant secondaire et les lignes de force sont dans la direction indiquée sur la figure 5-A (règle de la main gauche). Les lignes de flux magnétique créées par le courant circulant dans le secondaire sont de sens opposé à celles créées par le courant primaire. Le courant secondaire, I_s , provoque donc une diminution de la valeur de l'impédance du circuit primaire, en s'opposant aux lignes de flux produites par le courant du primaire. Ce dernier est donc obligé d'augmenter d'intensité, en proportion, pour maintenir le même couplage entre les deux enroulements.

Si la charge reliée au secondaire fait augmenter l'intensité du courant qui y passe, le courant primaire, prélevé à la source d'alimentation, augmentera

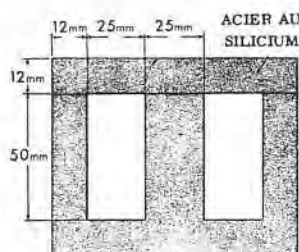


Fig. 3-A - Circuit magnétique de forme classique, constitué par un assemblage de tôles au silicium superposées. Les cotes indiquées, sont purement indicatives, elles permettent de montrer, approximativement, les rapports entre les différentes dimensions du circuit.

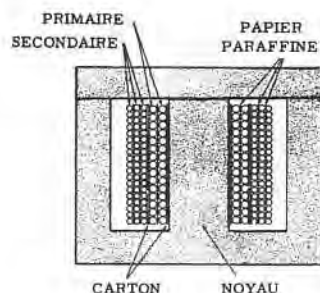


Fig. 3-B - Les enroulements, primaire et secondaire, sont disposés l'un sur l'autre et sont représentés en coupe. Le bobinage se fait sur une carcasse de carton qui est ensuite enfilée sur la partie centrale du circuit magnétique.

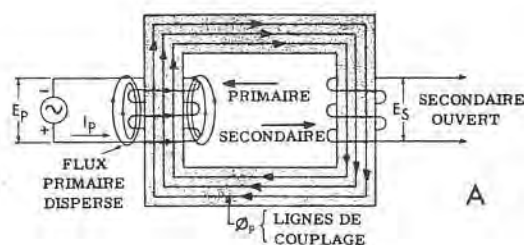


Fig. 4-A et 4-B - Lorsque le secondaire est ouvert, le primaire est, pratiquement, une simple inductance; il s'y crée donc une tension opposée à celle appliquée (voir diagramme vectoriel).

en conséquence. L'opposition entre les lignes de force d'un transformateur suit la **loi de Lenz**, selon laquelle **une tension induite** (et le courant qui en résulte) **a toujours une direction telle qu'elle s'oppose à la force qui lui donne naissance**. Si l'influence du secondaire était telle qu'il en résulte un accroissement des lignes de force produites par le primaire, une augmentation de l'intensité du courant dans le secondaire produirait une augmentation du nombre des lignes de flux magnétique ainsi que de l'inductance (donc de la réactance inductive du primaire), ce qui correspondrait à une diminution de l'intensité du courant passant dans le primaire. Ceci est absurde car, dans un tel cas, le secondaire délivrerait à la charge une puissance supérieure à celle que le primaire emprunte à la source.

La réaction du secondaire sur le primaire peut également être considérée sous un autre angle.

Le courant secondaire produit une f.e.m. d'auto-induction (c'est-à-dire une f.e.m. opposée, E_s , dans le secondaire lui-même) en opposition de phase (180°) par rapport à la tension secondaire. Il produit également une tension induite dans le primaire, elle-même en phase avec la f.e.m., E_s , d'auto-induction.

Étant donné que la tension induite dans le primaire est déphasée de 180° par rapport à E_s — c'est-à-dire à la tension du secondaire — elle est en phase avec E_p , c'est-à-dire avec la tension appliquée au primaire, et déphasée de 180° sur E'_p qui est la f.e.m. opposée du primaire. L'effet produit par le courant secondaire est tel qu'il élimine donc, dans une certaine mesure, la tension opposée primaire, ce qui a pour résultat d'augmenter la tension appliquée et de provoquer le passage d'un courant de plus forte intensité dans le primaire lui-même. Ces tensions induites sont mises en évidence dans le diagramme vectoriel des figures 4-B et 5-B, où elles sont tracées en pointillés.

Nous pouvons, maintenant, analyser le fonctionnement complet du transformateur en nous référant aux diagrammes vectoriels de la figure 6. La section A de la figure donne le schéma du circuit, tandis que la section B donne la représentation vectorielle des tensions et des courants pour une valeur donnée du

courant passant dans le secondaire.

Quand la résistance de charge R_o diminue de valeur, on dit que la charge augmente car l'intensité du courant du secondaire augmente. Étant donné que R_o est directement en parallèle sur le secondaire, le courant résistif augmente et le circuit devient plus résistif; en d'autres termes, la tension et le courant dans le secondaire tendent à devenir en phase et l'angle de déphasage φ_s tend vers 0° .

Du moment que l'intensité du courant passant dans le primaire augmente quand le courant secondaire augmente, la réactance inductive du primaire a, en réalité, diminué de valeur et le circuit primaire est devenu plus résistif. Il en résulte que la tension et le courant du primaire tendent à être en phase et que l'angle de déphasage φ_p tend vers 0° .

Le diagramme vectoriel de la figure 6-C montre ces relations de phase pour le transformateur de la figure 6-A, fonctionnant avec une charge égale à celle pour laquelle il a été construit. Dans un transformateur idéal (parfait), les vecteurs tensions et courants seraient confondus (c'est-à-dire que les angles φ_p et φ_s seraient nuls) et, dans chacun des côtés, la tension et le courant seraient en phase, tandis que la tension et le courant du secondaire seraient déphasés de 180° sur la tension et le courant du primaire. Un tel transformateur permettrait un parfait transfert d'énergie, de telle sorte que le générateur de courant aurait pour charge une résistance pure (tout comme si le transformateur n'était pas relié au circuit), mais avec un déphasage de 180° pour les courants et les tensions.

RAPPORT NOMBRE DE SPIRES: TENSION

Lors de notre étude sur les bobinages, nous avons vu que l'amplitude totale de la f.e.m. induite dans une bobine dépendait du nombre de spires et de la grandeur de la variation du flux de couplage du circuit; ceci est donné par la formule:

$$e = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

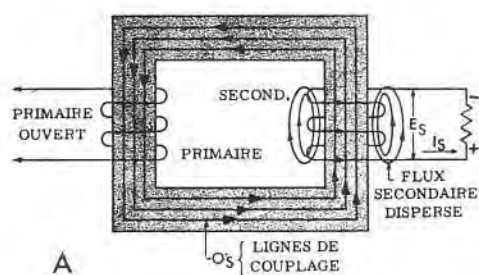
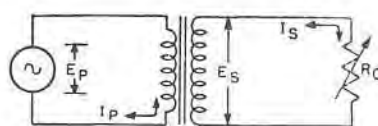
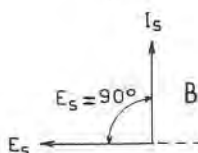
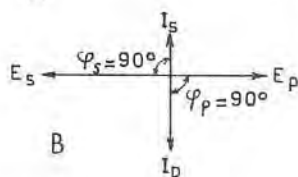


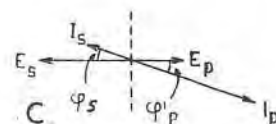
Fig. 5-A et 5-B - Lorsque le primaire est ouvert, le secondaire se comporte comme une simple inductance dans laquelle la tension induite a le même sens que la f.e.m. opposée du primaire (voir diagramme vectoriel).



A



B



C

Fig. 6 A-B-C - En A, schéma du transformateur dont la figure B donne la représentation vectorielle complète des tensions et des courants et en C, les vecteurs concernant la résistance de charge.

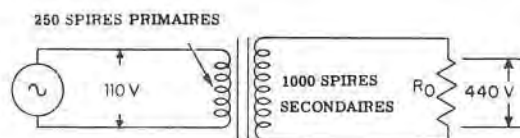


Fig. 7 - Circuit schématique d'un transformateur ayant un rapport du nombre de spires égal à 4. Le modèle illustré ici est dit « élévateur de tension ». Le rapport volt/spire est égal à 0,44.

Du moment que la grandeur de la variation de flux dépend de la fréquence du courant fourni par le générateur, l'amplitude de la tension induite dans chaque enroulement du transformateur dépend directement du nombre de tours des enroulements. En conséquence, la f.e.m. induite par un courant variable circulant dans le primaire n'est pas égale à celle induite dans le secondaire, à moins que le nombre de tours du primaire ne soit égal à celui du secondaire. En outre, du moment que la f.e.m. induite en retour dans le primaire est égale à la tension appliquée, il est possible d'établir un rapport permettant de calculer la f.e.m. induite dans le secondaire en fonction de la tension appliquée au primaire et du rapport entre le nombre de spires de chaque enroulement. On a :

$$\frac{E_p}{N_p} = \frac{E_s}{N_s}$$

dans laquelle E_p est la tension appliquée au primaire, N_p le nombre de spires du primaire, E_s la tension induite au secondaire et N_s le nombre de spires du secondaire.

Cette équation peut être transcrite ainsi :

$$E_p N_s = E_s N_p \quad \text{ou, encore} \quad E_s = \frac{E_p N_s}{N_p}$$

L'expression $N_s : N_p$ ou $N_p : N_s$ s'appelle le *rapport du nombre des spires*, il s'exprime au moyen d'un simple nombre. La figure 7 donne le schéma d'un transformateur comportant 250 tours au primaire et 1000 tours au secondaire. Le rapport du nombre des tours (ou spires) est donc de $1000 : 250 = 4$. Si l'on applique une tension alternative de 110 volts au primaire de ce transformateur, la tension induite au secondaire aura une valeur égale à :

$$E_s = \frac{E_p N_s}{N_p} = \frac{110 \times 1000}{250} = 110 \times 4 = 440 \text{ volts}$$

Un transformateur de ce type est appelé *survolteur*, ou *élévateur*.

Si par contre, le rapport $N_s : N_p$ est plus petit que

1, l'enroulement secondaire comporte moins de spires que le primaire et, en conséquence, la tension secondaire sera inférieure à la tension appliquée au primaire; dans ce cas, le transformateur est dit *sousvolteur* ou, plus couramment *dépoteur*, ou *abaisseur*.

Il convient de remarquer que les termes « élévateur » ou « abaisseur », s'appliquant aux transformateurs, concernent uniquement le niveau des tensions et non celui des courants ou des puissances; d'ailleurs, dans un transformateur bien conçu, la puissance utilisable au secondaire est presque égale à celle absorbée par le primaire.

Etant donné que la tension induite dans le secondaire est directement proportionnelle au rapport du nombre des tours secondaire et primaire, on peut calculer le rapport entre les tensions primaire et secondaire d'un transformateur donné au moyen du facteur **volts par tour**. Ainsi, dans l'exemple précédent, une tension de 110 volts appliquée au primaire, qui compte 250 tours, donne un rapport volts par tour égal à $110 : 250 = 0,44$.

Puisque le nombre de *volts par tour* est un facteur constant pour chaque transformateur, la tension fournie par l'enroulement secondaire peut être calculée en multipliant cette constante par le nombre des tours du secondaire; ainsi, dans l'exemple précédent, on a :

$$E_s = 1000 \times 0,44 = 440 \text{ volts}$$

Ce rapport volts par tour est également employé pour déterminer les tensions fournies par un transformateur comportant plusieurs enroulements secondaires. A titre d'exemple, la figure 8 donne le schéma d'un transformateur comportant un primaire couplé à plusieurs enroulements secondaires. Le primaire comporte 200 tours, l'enroulement secondaire: S1 1200 tours, S2 850 tours, S3 11 tours et, enfin, S4 22 tours. Le facteur volts par tour de ce transformateur est $E_p : N_p = 110 : 200 = 0,55$. Les tensions aux bornes des enroulements secondaires sont donc les suivantes :

$$E_{s1} = 1200 \times 0,55 = 660 \text{ volts}$$

$$E_{s2} = 850 \times 0,55 = 467,5 \text{ volts}$$

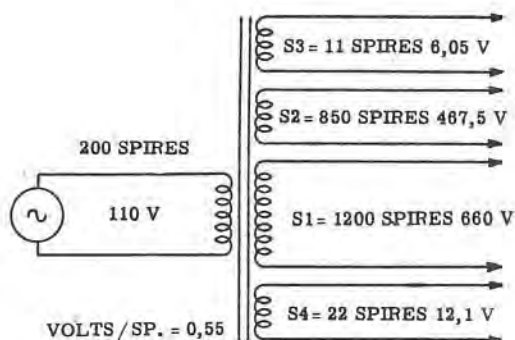


Fig. 8 - Transformateur ayant un rapport volt/spire de 0,55. Au moyen de ce rapport, il est facile de calculer les tensions secondaires.

$$\begin{aligned} E_{s3} &= 11 \times 0,55 = 6,05 \text{ volts} \\ E_{s4} &= 22 \times 0,55 = 12,1 \text{ volts} \end{aligned}$$

RAPPORT NOMBRE DE TOURS: COURANT

Au cours du transfert d'une puissance électrique au moyen d'un transformateur parfait, la puissance absorbée par le primaire peut être considérée comme étant égale à celle délivrée par le secondaire, donc:

$$P_p = P_s$$

Dans ce cas, la charge se comporte comme une résistance pure vis-à-vis du générateur, ainsi que nous l'avons dit plus haut, et la puissance apparente est égale à la puissance effective. Il s'ensuit que le facteur de puissance de ce transformateur est égal à 1 et que l'angle de phase est nul. Par suite, la puissance dissipée dans chaque enroulement est égale au produit volt-ampère, soit:

$$P_p = E_p I_p \quad \text{et} \quad P_s = E_s I_s$$

d'où $E_p I_p = E_s I_s$

et: $\frac{I_p}{I_s} = \frac{E_s}{E_p}$

Etant donné que le rapport entre la tension secondaire et la tension primaire est égal au rapport du nombre des tours de ces enroulements, soit:

$$\frac{E_s}{E_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

il en résulte que le rapport entre les intensités des courants primaire et secondaire sera égal au rapport du nombre des tours:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

ou bien: $I_p = I_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right)$

En examinant la chose sous un autre point de vue, les relations entre le courant et le nombre de tours peuvent être déterminées en considérant le transforma-

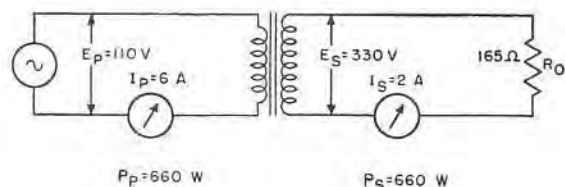


Fig. 9 - Dans un transformateur ayant un rapport du nombre des spires égal à 3/1, si on applique une tension de 110 volts au primaire on recueille 330 volts au secondaire. Le courant au secondaire (pour une charge purement résistive de 165 ohms) est de 2 ampères; celui du primaire est de $2 \text{ A} \times 3 = 6$ ampères. En conséquence, la puissance primaire ($110 \times 6 = 660$ watts) est égale à celle du secondaire ($330 \times 2 = 660$ watts).

teur comme un électro-aimant et en appliquant la notion « ampères/tour ». En effet, lors de notre étude sur l'électromagnétisme, nous avons dit que la puissance d'un électro-aimant peut s'exprimer en ampères-tour. Les lignes de flux produites dans le noyau d'un transformateur par un courant primaire donné, sont en nombre directement proportionnel à N fois I , c'est-à-dire au nombre d'ampères-tour. Nous savons, par la loi de Lenz, que la tension induite dans le secondaire et l'intensité du courant qui en résulte, donnent naissance à des lignes de flux égales et de sens opposé à celles du primaire. Du moment que nous envisageons toujours le cas d'un transformateur idéal, le couplage est parfait et:

$$N_p I_p = N_s I_s$$

d'où: $I_p = N_s$ et $I_s = N_p$

ce qui donne: $I_p = \frac{I_s N_s}{N_p}$

Cette équation nous permet de constater que le courant circulant dans un transformateur est inversement proportionnel au nombre des spires. La figure 9 représente un transformateur d'alimentation, ayant 300 spires au primaire et 900 au secondaire, relié respectivement à une tension de 110 volts et à une charge de 165 ohms. Comme nous pouvons le voir, le rapport du nombre des tours est égal à 3 : 1 et $E_s = 330$ volts. De plus, l'énergie utilisée étant déterminée par la valeur de la charge, le courant passant dans le secondaire aura une intensité égale à:

$$I_s = \frac{E_s}{R_o} = \frac{330}{165} = 2 \text{ ampères}$$

L'intensité du courant au primaire sera:

$$I_p = \frac{I_s N_s}{N_p} = 2 \times 3 = 6 \text{ ampères}$$

Dans ce cas, le rapport du nombre des tours étant égal à 3 : 1, la tension augmente de 110 à 330 volts et, en même temps, l'intensité diminue de 6 à 2 ampères. De ce fait, on en déduit facilement que le produit de

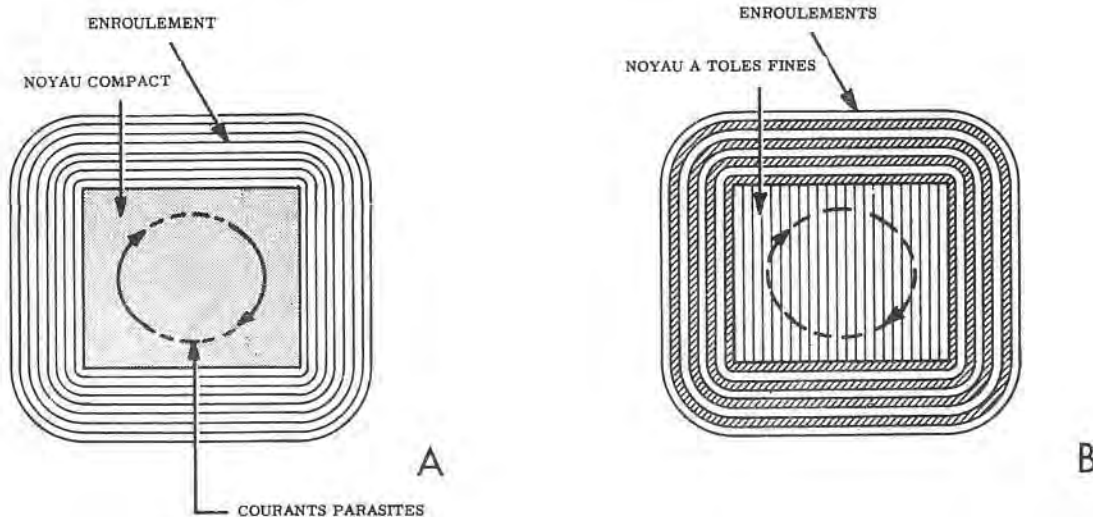


Fig. 10 - Schémas des sections transversales d'un transformateur mettant en évidence: (A), la formation des courants parasites (courant de Foucault), (B), leur suppression grâce à une structure lamellaire à noyau.

la tension par l'intensité du courant relatif à un des enroulements d'un transformateur idéal est égal au produit de la tension par l'intensité du courant de l'autre enroulement. C'est ainsi que, dans ce cas particulier, la puissance absorbée par le primaire est égale à $110 \times 6 = 660$ watts et la puissance délivrée par le secondaire est égale à $330 \times 2 = 660$ watts.

PERTES DANS LES TRANSFORMATEURS - RENDEMENT

Nous avons considéré, jusqu'à présent, le cas d'un transformateur idéal, parfait. Le rendement d'un tel transformateur est égal à 100%, ce qui signifie que le rapport entre la puissance d'entrée et celle de sortie est égal à 1. En pratique, les transformateurs enroulés sur des circuits magnétiques ne peuvent atteindre une telle efficacité (100%) mais, s'ils sont convenablement étudiés et réalisés, leur rendement peut atteindre des valeurs très élevées comprises entre 95 et 98%. Une telle efficacité ne peut être obtenue qu'en s'efforçant de réduire au minimum les pertes dues à la dispersion du flux, à l'hystérésis, aux courants de Foucault, à la saturation du noyau, ainsi qu'à la résistance ohmique des enroulements et la capacité répartie.

Quand on utilise le fer comme noyau magnétique d'un transformateur, ce fer est évidemment soumis à un champ magnétique variable. L'aimantation produite dans le métal par le champ magnétique est en retard sur la force d'aimantation elle-même. Etant donné que les atomes de fer ne changent pas facilement de position — comme ils doivent le faire quand ils sont aimantés — une certaine force est nécessaire pour provoquer ce déplacement et, en conséquence, une partie du courant primaire est employée (et, par suite, perdue) pour modifier l'état d'aimantation du noyau. Les pertes de cet ordre, dites **pertes d'hystérésis magnétique**, sont assimilables à une « friction magnétique » et, tout comme la friction mécanique, produisent de la chaleur. Pour réduire au maximum les pertes d'hystérésis, on utilise du fer doux contenant un pourcentage élevé de silicium.

D'autre part, le fer étant un bon conducteur, le champ magnétique variable y induit des courants de circulation. Ces courants parasites (fig. 10 A) constituent une nouvelle source de pertes d'énergie, car en passant dans la résistance ohmique du fer, ils produisent également de la chaleur. On peut neutraliser considérablement ces courants parasites, soit en divisant le noyau magnétique en fines tôles isolées les unes des autres, (fig. 10 B) soit en employant des noyaux en poudre de fer. Les tôles sont employées dans la construction des transformateurs pour fréquences basses, tandis que la poudre de fer sert à faire des noyaux magnétiques utilisables en Haute Fréquence, jusqu'à 100 MHz.

Les courants parasites et les pertes par hystérésis augmentent rapidement lorsque la fréquence du courant augmente; c'est pour cette raison que les noyaux en tôles minces au silicium ne peuvent être employés au delà de 16 000 Hz. En Haute Fréquence, les pertes deviennent rapidement excessives, c'est pourquoi les transformateurs H.F. ne comportent pas de noyaux, ou bien sont pourvus de noyaux en poudre de fer pulvérisé de composition spéciale.

Outre les pertes d'hystérésis, les noyaux de fer provoquent des pertes par **saturation**. Il arrive, en effet, que les lignes de force magnétique du noyau atteignent un nombre tel qu'une augmentation de l'intensité du courant du primaire ne puisse pas produire une aimantation plus grande, ou que, tout au moins, l'accroissement de cette aimantation soit inférieur à celui que l'augmentation de l'intensité du courant devrait normalement produire.

Les figures 10 bis et 11 donnent les courbes d'aimantation du fer. La figure 11 donne la courbe de la densité du flux (en teslas) en fonction de l'intensité du courant continu passant dans l'enroulement, ou du nombre d'ampères/tour. On voit qu'à partir d'une certaine valeur, la courbe fait un coude et la densité du flux cesse d'augmenter linéairement; à partir de ce point, une forte augmentation de l'intensité du courant ne produit plus qu'une faible augmentation de la densité du flux. C'est ainsi que, tandis que pour une aug-

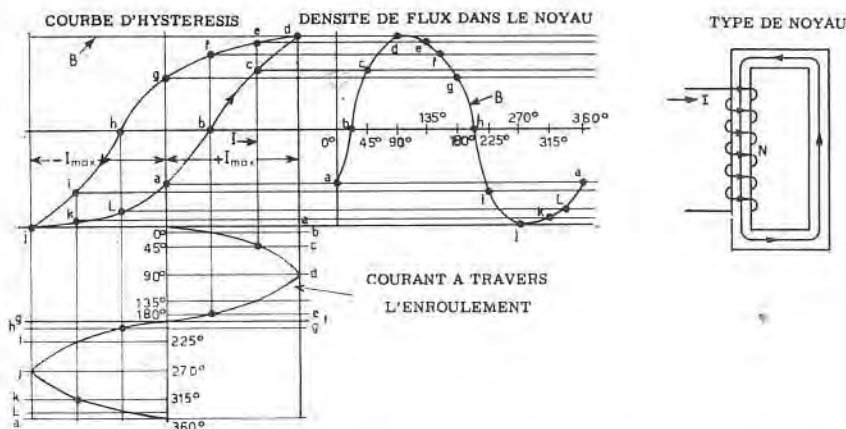


Fig. 10 bis - La figure montre, à gauche, la courbe sinusoïdale du courant passant dans l'enroulement, la courbe d'hystérésis du noyau et la courbe de densité du flux qui en résulte. À droite, la figure montre le circuit magnétique examiné pour lequel le nombre d'ampères/tour est donné par le produit $N \times I$.

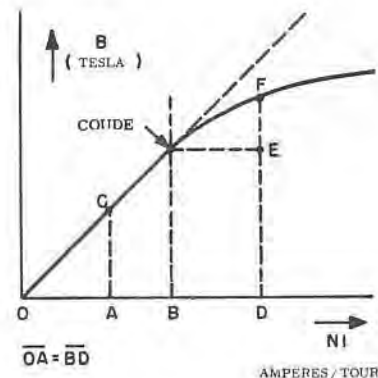


Fig. 11 - Courbe d'aimantation. L'augmentation de l'intensité du courant 0 - A, produit l'augmentation A - C de l'aimantation, tandis qu'après le coude, une augmentation égale (B-D) ne produit qu'une aimantation plus faible (E-F).

mentation de l'intensité du courant de 0 à A, la densité du flux passe de 0 à C, pour une même augmentation de l'intensité de B à D, la densité du flux passe seulement de E à F. On peut en déduire que, en augmentant l'intensité du courant au delà du coude de saturation de la courbe, on provoque une perte importante de rendement, puisque le même effet d'aimantation pourrait être réalisé avec une plus faible augmentation d'intensité si le noyau n'était pas saturé.

Une augmentation de la surface de la section transversale du noyau diminuerait la densité du flux pour un courant donné, mais augmenterait le poids, le prix et les pertes par hystérésis du transformateur. C'est pour ces raisons que la plupart des transformateurs devant fonctionner à la fréquence du réseau électrique (50 Hz), sont conçus pour être utilisés près du point de saturation de la substance magnétique employée comme noyau.

Nous avons vu que la perméabilité d'un noyau magnétique diminue rapidement lorsque la densité de flux dépasse la valeur optimum. Cela veut dire que, dès que le noyau est saturé, le rapport de B à H (c'est-à-dire le rapport entre la densité du flux et la force d'aimantation) qui définit la perméabilité, devient plus petit. En outre, si une certaine quantité de courant continu passe dans les enroulements, comme cela se produit souvent dans les transformateurs utilisés en électronique, ce courant aimante d'une façon permanente le noyau, dans un certain sens, et réduit, ainsi, les variations d'aimantation utiles dues au courant alternatif. C'est pourquoi les bobines à noyau de fer (à l'exception de celles dites à « fer-saturé ») et les transformateurs, sont réalisés de telle sorte que leur circuit magnétique soit coupé par une faible lame d'air, cette coupure étant appelée **entrefer**. La réluctance de la lame d'air étant beaucoup plus grande que celle du fer, la réluctance totale du circuit augmente, ce qui entraîne une diminution de l'inductance, mais réduit considérablement le risque de saturation du noyau. Cet entrefer doit être extrêmement faible et on peut le réaliser en plaçant les tôles de telle sorte que leurs extrémités soient

juste en contact, ou bien, ce qui est le plus fréquent, en insérant une mince feuille de papier ou de carton en un point du circuit magnétique. Naturellement, dans ce cas, on doit prévoir un nombre plus important de spires, pour obtenir la même valeur d'inductance que celle que l'on aurait sans entrefer, mais on limite au maximum les pertes par saturation du noyau.

Le courant primaire et le courant secondaire doivent passer dans la résistance ohmique que leur oppose les conducteurs formant les enroulements. C'est ainsi qu'une certaine quantité de puissance effective ($I R$) est dissipée en chaleur, en pure perte. Les transformateurs de puissance sont bobinés en conducteurs de forte section pour diminuer autant que possible l'échauffement qui, non seulement représente de l'énergie perdue, mais encore, réduit la perméabilité du noyau et augmente la résistance, ajoutant, ainsi, aux autres pertes. Toutefois, comme une forte inductance est nécessaire pour avoir un bon couplage inductif, il est nécessaire de trouver un compromis entre les dimensions du noyau et le nombre de tours des enroulements: un transformateur comportant peu de spires sur un gros circuit magnétique présenterait, pour une inductance donnée, peu de pertes dans le cuivre, mais il serait lourd et encombrant et les pertes dans le noyau seraient plus importantes. Le contraire se produirait en employant un circuit magnétique trop faible: les pertes dans le fer seraient plus faibles, mais les pertes dans le cuivre seraient plus importantes, en raison du plus grand nombre de tours requis pour obtenir la même inductance.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

Nous avons dit, tout au début de ce Cours, que les lignes électriques destinées à l'acheminement de l'énergie sur de grandes distances, produisaient des pertes inévitables dues à la résistance des conducteurs; ces pertes sont proportionnelles à la résistance et au carré du courant. Cela signifie qu'en *doublant* l'intensité du courant, les pertes deviennent *quatre fois* plus importantes, tandis qu'en réduisant de moitié l'intensité

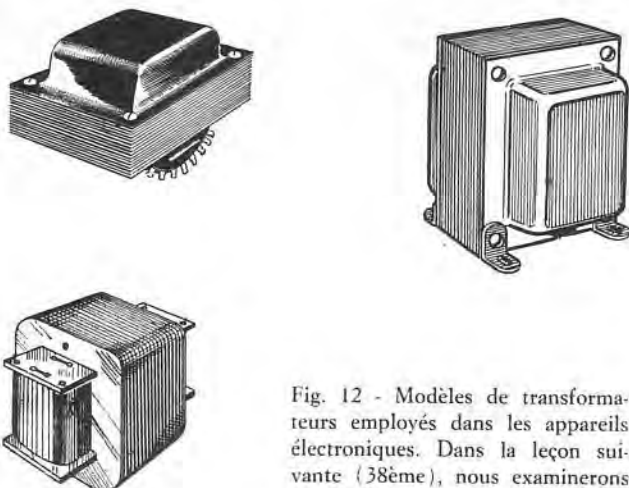


Fig. 12 - Modèles de transformateurs employés dans les appareils électroniques. Dans la leçon suivante (38ème), nous examinerons en détail leur construction et nous donnerons un exemple de calcul pratique.

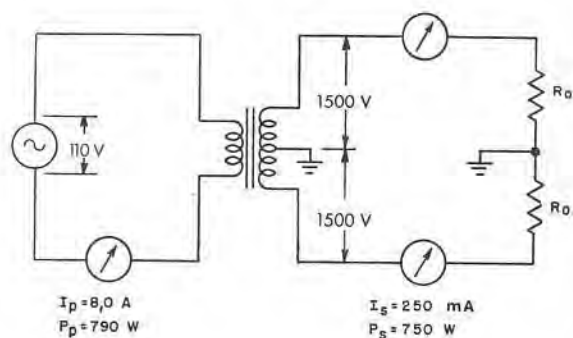


Fig. 13 - Transformateur de moyenne puissance pris comme exemple pour le calcul de la puissance primaire, en fonction du rendement courant, en fonction du facteur de puissance.

de ce courant, elles deviennent quatre fois plus faibles. Il en résulte, évidemment, que les pertes dues à la résistance des conducteurs sont d'autant plus faibles que l'intensité du courant est moins grande. Pour conduire, le plus économiquement possible, l'énergie électrique d'un point à un autre, on transforme la puissance fournie par le générateur, de telle façon que la tension soit la plus élevée possible, et l'intensité la plus faible, au moyen d'un transformateur élévateur. Au point d'utilisation, un transformateur abaisseur reconvertis l'énergie de la ligne haute tension en une tension plus faible, sous une plus forte intensité. Par exemple, si l'on transmet une puissance de 1 000 watts (5 ampères sous 200 volts) dans une ligne ayant une résistance de 10 ohms, la perte de puissance (I^2R) s'élève à $5^2 \times 10 = 250$ watts, soit le quart de la puissance à transmettre. Si au contraire, on transforme cette puissance en un courant de 0,5 ampère sous 2 000 volts, la perte ne sera plus que de 2,5 watts, soit dix fois moins, ce qui est extrêmement avantageux.

Normalement le transport de l'énergie électrique se fait par des lignes supportant des tensions comprises entre 10 000 et 300 000 volts; dans chaque localité à desservir, un poste de transformation, équipé de transformateurs à l'huile, réduit cette haute tension à la valeur généralement utilisée dans les réseaux de distribution (110 ou 200 volts), avec un fort ampérage.

Les transformateurs utilisés pour l'alimentation des appareils électroniques sont, naturellement, beaucoup plus petits que ceux dont nous venons de parler, quoiqu'ayant un fonctionnement identique. La figure 12 en montre quelques exemplaires classiques. Les transformateurs de ce type doivent toujours fonctionner aux environs de 90% de leur puissance car, comme nous l'avons dit, si l'intensité du courant passant dans le secondaire a une valeur convenable, la tension et le courant sont en phase, ce qui réduit l'angle de phase et permet d'obtenir un facteur de puissance s'approchant de l'unité. Il convient, ici, de se rappeler que le facteur de puissance d'un circuit à courant alternatif est égal au cosinus de l'angle de phase, c'est-à-dire au rapport entre la puissance effective

et la puissance apparente, et qu'il est désirable de maintenir la première entre des valeurs aussi proches que possible de la seconde, pour éviter des tensions et des courants excessifs dans le circuit. Par exemple, un transformateur d'alimentation fonctionnant au cinquième de sa puissance normale, aurait des réactances inductives au primaire et au secondaire considérables et les tensions induites dans les deux enroulements seraient très élevées, entraînant des risques de claquage des isolants, pouvant conduire à la destruction des enroulements eux-mêmes. Par contre, à pleine charge, la réactance inductive du primaire est presque entièrement annulée par la force d'aimantation opposée produite par le courant du secondaire, l'angle de phase est très faible et — en conséquence — le facteur de puissance avoisine l'unité. Dans un transformateur bien étudié, on réduit au minimum la réactance de fuite et les pertes du circuit magnétique dans le cuivre comme dans le fer: son facteur de puissance est élevé et son rendement est maximum. Les transformateurs d'alimentation du commerce ont un facteur de puissance égal ou légèrement supérieur à 0,9, et un rendement voisin à 95%.

La figure 13 donne le schéma d'un transformateur de puissance. Son rendement est de 95%, le facteur de puissance est égal à 0,9; le secondaire donne 250 mA sous 3 000 volts (1 500 volts entre chaque extrémité de l'enroulement et son centre). La puissance fournie est égale à:

$$P_s = 3\,000 \times 0,25 = 750 \text{ watts}$$

Etant donné que le rendement est le rapport entre la puissance effective de sortie et celle d'entrée, on a:

$$\text{Rendement} = \frac{P_{\text{moyenne (secondaire)}}}{P_{\text{moyenne (primaire)}}}$$

$$P_{\text{moyenne (primaire)}} = \frac{P_{\text{moyenne (secondaire)}}}{\text{rendement}} = \frac{750}{0,95}$$

$$P_{\text{moyenne (primaire)}} = 790 \text{ watts}$$

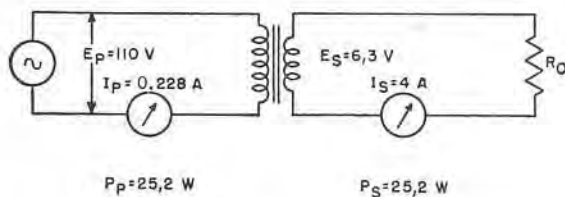


Fig. 14 - Dans les transformateurs de faible puissance, on peut négliger l'influence du facteur de puissance et du rendement. Dans cet exemple, les deux puissances, primaire et secondaire, sont considérées comme étant égales (25,2 W). On calcule l'intensité du courant primaire en faisant intervenir le rapport des tensions.

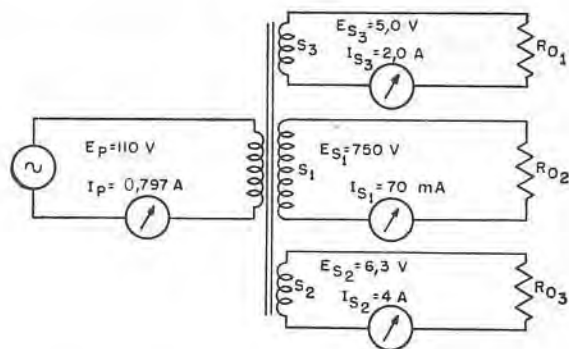


Fig. 15 - Lors du calcul d'un transformateur plus important, comme celui représenté ici qui est un transformateur d'alimentation pour récepteur de radio, on tient compte de la différence existant entre la puissance absorbée au primaire et celle que peut fournir le secondaire.

Le facteur de puissance du transformateur étant égale à 0,9, on a :

$$\frac{P_{\text{moyenne}}}{P_{\text{apparente}}} = 0,9$$

$$P_{\text{apparente}} = \frac{P_{\text{moyenne}}}{0,9} = \frac{790}{0,9}$$

$$P_{\text{apparente}} = 877 \text{ watts}$$

Etant donné que la puissance apparente est toujours égale à E_p fois I_p il en résulte que :

$$I_p = \frac{\text{Puissance apparente}}{E_{\text{primaire}}} = \frac{877}{110}$$

$$I_p = 8 \text{ ampères environ}$$

Il est évident que, dans le cas où de faibles puissances sont seules en jeu, le rendement et le facteur de puissance n'ont que peu d'importance. La figure 14 montre le schéma d'un transformateur abaisseur de tension typique, destiné à convertir la tension du secteur, 110 volts, en une tension de 6,3 volts destinée à chauffer les filaments d'un certain nombre de tubes électroniques. Le rapport du nombre des tours du secondaire au nombre des tours du primaire est égal au rapport des tensions :

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{6,3}{110} = \frac{1}{17,6} = 0,057$$

en conséquence, si dans le secondaire passe un courant ayant une intensité de 4 ampères, l'intensité du courant au primaire sera de :

$$I_p = I_s \frac{N_s}{N_p} = 4 \times 0,057 = 0,228 \text{ ampère}$$

Dans ce type de transformateur (abaisseur de tension), un faible courant primaire donne un courant secondaire élevé, mais sous une faible tension.

La puissance fournie par le circuit secondaire est

égale à $6,3 \times 4 = 25,2$ watts, tandis que la puissance absorbée au primaire est égale à $110 \times 0,228 = 25,2$ watts, également.

Dans le calcul de la puissance totale fournie par un transformateur comportant plusieurs enroulements secondaires, la puissance du circuit primaire est égale à la somme arithmétique des puissances disponibles dans les divers secondaires.

La figure 15 donne le schéma d'un transformateur classique pour l'alimentation des petits récepteurs de radio. La puissance délivrée par S_2 est de 25,2 watts, celle de S_3 est de 5 fois 2, soit 10 watts et celle de S_1 est de 750 fois 0,07, soit 52,5 watts et la puissance totale est :

$$P_s = 25 + 10 + 52,5 = 87,5 \text{ watts}$$

et la puissance absorbée au primaire est à peu près la même. Nous verrons, toutefois lors des calculs effectués pour établir le projet de construction pratique d'un transformateur, que la puissance absorbée au primaire est toujours supérieure à celle délivrée par le secondaire.

Le courant du primaire a une intensité égale à :

$$I_p = \frac{P_p}{E_p} = \frac{87,5}{110} = 0,795 \text{ ampère}$$

Le courant effectif mesuré au primaire a, en réalité, une intensité de 10% supérieure à celle-ci, soit 0,876 ampère, cela étant dû au fait que le facteur de puissance est toujours inférieur à 1. Ainsi, étant donné que la puissance effective est égale à $E I \cos \varphi$ et que la tension E est égale à 110 volts, on peut calculer rapidement la puissance effective si le courant primaire et le facteur de puissance (0,9, dans ce cas) sont connus. Le calcul est le suivant :

$P_{\text{moyenne}} = I \times E \cos \varphi = 0,876 \times 110 \times 0,9 = 87,6$ (environ)
c'est ainsi, qu'en multipliant par 100 l'intensité du courant mesurée au primaire, on a une mesure approximative de la puissance effective :

$$P_{\text{moyenne}} = 0,876 \times 100 = 87,6 \text{ watts}$$

Leçon n° 38

CONSTRUCTION DES TRANSFORMATEURS D'ALIMENTATION

Les transformateurs et les bobines sur circuits magnétiques sont des composants fondamentaux, largement utilisés dans les appareils électroniques; on les trouve, presque toujours, réunis dans les circuits fonctionnant à la fréquence du réseau (alimentation et filtres) ou aux fréquences acoustiques (amplificateurs B.F.).

Le lecteur qui entend mettre en pratique ce qu'il apprend dans ce Cours, trouvera utile d'approfondir ces questions, et cela pour trois raisons: en premier lieu, parce qu'il pourra déterminer lui-même, si un transformateur de remplacement, n'ayant pas exactement les mêmes caractéristiques que celui d'origine, peut convenir dans un montage donné, en second lieu, parce qu'il sera à même de rebobiner ou de réparer un transformateur, évitant ainsi d'en acheter un nouveau. Enfin, parce qu'un technicien qui a bien étudié ces questions est en mesure de calculer et de construire tous les transformateurs dont il peut avoir besoin pour ses montages, épargnant ainsi de l'argent.

Le but de cette leçon est de permettre à nos lecteurs de réaliser pratiquement un transformateur, ou d'effectuer des modifications ou des réparations sur du matériel existant.

LES TRANSFORMATEURS D'ALIMENTATION

Nous avons vu que, lorsque l'enroulement primaire d'un transformateur d'alimentation est relié au secteur électrique, le flux magnétique variable, produit par le courant alternatif passant dans cet enroulement, induit une tension alternative dans le secondaire. La valeur de cette tension, que l'on recueille aux bornes du secondaire (ou des divers secondaires dans le cas où le transformateur comporte plusieurs enroulements secondaires distincts), dépend du nombre de tours du primaire et du secondaire.

Supposons, que la tension du réseau électrique soit de 100 volts alternatifs et que l'enroulement primaire comporte 100 spires: pour chaque tour du primaire on a une tension de 1 volt, c'est-à-dire un tour par volt, ou un *volt par tour*. Ce rapport est également valable pour chaque secondaire: si un secondaire fournit une tension de 300 volts, son enroulement comporte 300 spires. Il est important de noter que cette tension atteint cette valeur seulement lorsque le secondaire est « en l'air » ou « ouvert », c'est-à-dire sans aucune charge branchée à ses bornes.

Par contre, dès que l'on branche une charge qui consomme le courant fournit par le secondaire, la

tension diminue de 5 à 10%, selon les caractéristiques propres du transformateur.

Mathématiquement, le facteur tours/volt d'un transformateur donné peut être exprimé au moyen de la formule ci-dessous:

$$\text{N. de tours par volt} = \frac{\text{Nombre de tours de l'enroulement}}{\text{Tension à ses bornes}}$$

Les circuits magnétiques ont pour rôle de concentrer le flux magnétique dans la zone où l'on désire obtenir la plus grande intensité, là où le champ est pratiquement le plus efficace. En d'autres termes le circuit magnétique (ou noyau) fait en sorte que toutes les lignes de force contribuent à induire, dans le secondaire, une tension alternative lorsque le courant passe dans le circuit primaire. Si l'on n'employait pas un circuit magnétique, la majeure partie du flux se disperserait dans l'air et le transfert d'énergie du primaire au secondaire serait trop faible pour justifier dans la pratique, l'emploi des transformateurs. De plus, un transformateur sans circuit magnétique (sans noyau), fonctionnant à la fréquence du secteur (50 Hz), devrait avoir des dimensions absurdes pour pouvoir fournir une quantité appréciable d'énergie.

Les circuits magnétiques, ou noyaux, des transformateurs sont formés d'un assemblage de tôles minces, découpées aux dimensions voulues, et superposées pour atteindre la section désirée. Les pertes dues aux courants parasites sont d'autant plus faibles que les tôles sont plus minces; on diminue ainsi les pertes de puissance et l'échauffement du transformateur.

Les fabricants mettent sur le marché, à la disposition de l'industrie électronique, divers modèles de tôles pour transformateurs, dont la forme et les dimensions sont adaptées aux puissances mises en jeu. Les tôles les plus courantes sont découpées en forme de « E » ou de « M », avec un « I » pour la fermeture du circuit, elles sont bien connues de tous les techniciens, et le tableau 53 (page 308) donne les dimensions les plus usuelles. Les tôles sont désignées par leurs dimensions extérieures, c'est ainsi que l'on parle de tôles de 32 x 28, 37 x 44, 63 x 76, 76 x 80, etc... (les cotes étant données en millimètres).

Lorsque l'on introduit les tôles à l'intérieur de la carcasse supportant les enroulements, on prend soin de les croiser, c'est-à-dire de les placer alternativement dans un sens et dans l'autre, de telle sorte que la lettre « E » soit vue, une fois dans le sens normal et

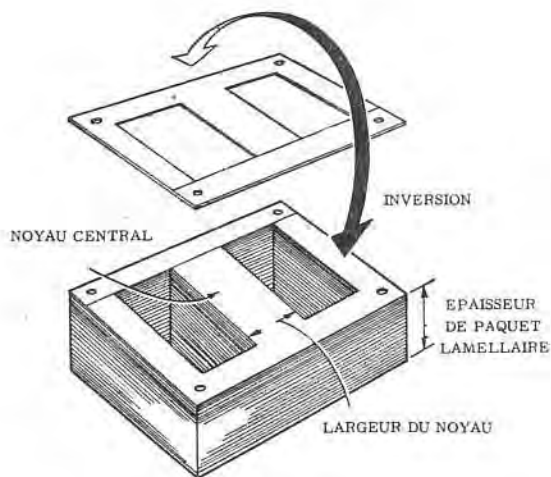


Fig. 1 - Le circuit magnétique du transformateur est constitué par un assemblage de tôles, placées une à une dans la carcasse supportant les enroulements, en alternant les tôles en « E » avec celles en « I », servant à fermer le circuit.

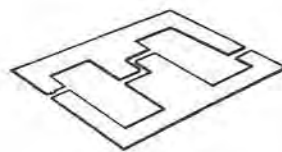


Fig. 2 - On obtient les mêmes résultats avec des tôles découpées suivant le profil ci-dessus, en prenant soin de les placer alternativement d'un côté et de l'autre.

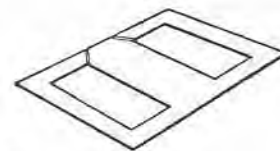


Fig. 3 - Type de tôles en un seul morceau; la partie centrale est légèrement pliée pour permettre son introduction au centre des enroulements. L'empilage se fait toujours en plaçant les tôles alternativement d'un côté et de l'autre.

la fois suivante dans le sens contraire. Il va sans dire qu'à chaque fois, le circuit magnétique est fermé par une tôle en « I » (voir figure 1).

On dispose d'un autre type de tôle d'usage courant permettant d'éviter d'employer les segments en « I » pour compléter le circuit. La figure 2 montre la forme de ces tôles qui comportent une jambe centrale de longueur inégale pour les deux moitiés du circuit (voir figure 2). En introduisant les deux moitiés dans l'enroulement, en prenant soin de les placer une fois dans un sens, une autre fois dans l'autre, de telle sorte qu'à une jambe courte se superpose une jambe longue de la tôle suivante, on obtient un bloc compact, d'épaisseur constante. Un troisième type (figure 3) correspond au N° 3 du tableau; il est introduit au centre de l'enroulement en fléchissant légèrement la partie centrale et les tôles sont placées alternativement dans un sens et dans l'autre.

On comprend facilement pourquoi les tôles magnétiques ont les formes, les découpes indiquées ci-dessus. Etant donné que les enroulements sont exécutés à part avant l'introduction du circuit magnétique, les tôles constituant le circuit doivent être découpées ou fractionnées, de telle sorte qu'il soit possible de les introduire facilement à l'intérieur de la carcasse supportant les enroulements.

Il existe d'autres types et d'autres formes de tôles pour circuits magnétiques. Cependant les différences sont d'ordre mécanique et ne changent en rien le résultat final.

EXEMPLE DE CALCUL

Lorsque l'on veut calculer un transformateur d'alimentation, on doit déterminer cinq facteurs principaux:

- 1) La puissance totale au primaire.
- 2) La section du circuit magnétique.
- 3) La section, ou le diamètre, du fil de cuivre.
- 4) Le nombre des spires des enroulements.
- 5) Les dimensions des tôles du circuit magnétique.

La puissance — Supposons que nous désirons cons-

truire un transformateur (figure 4) comportant deux secondaires: l'un devant fournir une tension de 6,3 volts sous une intensité de 3 ampères, et l'autre devant donner une tension de 5 volts sous une intensité de 2 ampères. La tension primaire est de 125 volts (nous verrons, plus loin, les variantes pour des tensions différentes au primaire).

En premier lieu, nous calculerons la puissance de ce transformateur. Le produit volts-ampères du premier secondaire est égal à $6,3 \times 3 = 18,9$ et celui du second est $5 \times 2 = 10$. La puissance totale que doit fournir le transformateur est égale à la somme de ces deux produits, soit: $18,9 + 10 = 28,9$ volts-ampères. Mais il convient de remarquer maintenant que c'est la puissance absorbée par le primaire qu'il convient de déterminer pour pouvoir calculer les autres éléments. Si le transformateur ne présentait aucune perte, la puissance absorbée au primaire serait égale à celle fournie par les secondaires; mais cela n'est pas vrai, nous le savons déjà. En pratique, pour tenir compte de ces pertes, on doit multiplier par 1,4 le total des volts-ampères (VA) fournis par le secondaire; dans notre cas, la puissance absorbée au primaire est égale à: $28,9 \times 1,4 = 40,46$ VA

La section du circuit magnétique — La formule permettant de calculer la section du circuit magnétique est la suivante:

$$\text{Section nette } (S_n) = 1,5 \sqrt{\text{puissance au primaire } (P_p)}$$

On peut aussi — si l'on veut éviter ce calcul — se reporter à l'abaque du tableau 52, page 307. Dans l'un et dans l'autre cas nous trouvons que la section nécessaire est égale à $9,6 \text{ cm}^2$.

Connaissant la section nécessaire, il convient de déterminer l'épaisseur des tôles à employer (voir tableau 53, p. 308); on pourra ensuite, avec l'aide de l'abaque de la p. 307, trouver la section brute. En adoptant des tôles de 0,35 mm d'épaisseur (plus la tôle est fine, plus faibles sont les pertes), la section brute, donnée par l'abaque pour une puissance de 40, 46 VA, sera de 11 cm^2 .

La section des fils — La section du fil de cuivre à

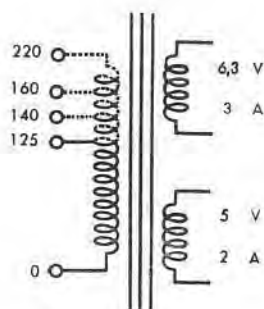


Fig. 4 - Schéma du transformateur pris pour exemple dans le texte. Les données relatives aux tensions primaires supérieures à 125 volts, figurent comme des variantes possibles.

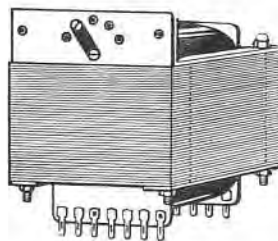


Fig. 5 - Le « répartiteur de tensions », permettant d'adapter la tension du primaire à celle du secteur d'alimentation, est souvent monté à même le transformateur, comme le montre cette figure.

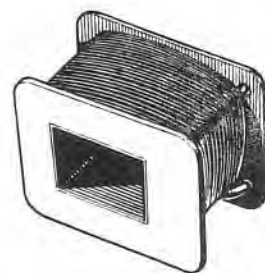


Fig. 6 - Les enroulements sont bobinés sur un support en matière isolante, appelé « carcasse », muni de deux joues maintenant le fil et empêchant tout contact avec les tôles.

employer pour les divers enroulements dépend uniquement de l'intensité du courant devant passer dans ceux-ci. Nous connaissons les valeurs des intensités passant dans les secondaires de notre transformateur : elles ont servi de base à nos calculs : il nous reste à calculer l'intensité du courant circulant dans le primaire.

Comme nous le savons, l'intensité du courant est égale au quotient de la puissance par la tension ($I = P : V$). La puissance au primaire de notre transformateur est de 40,46 VA (nous prendrons 40,5 VA, pour simplifier les calculs). La tension primaire étant de 125 volts, l'intensité du courant sera :

$$\frac{\text{VA primaire}}{\text{tension primaire}} = \frac{40,5}{125} = 0,32 \text{ ampère}$$

Nous pouvons, maintenant, calculer la section des fils à employer.

La densité de courant admissible par mm^2 de section du fil de cuivre dépend des qualités exigées du transformateur (service continu ou intermittent, transformateur économique ou de qualité, température maximum de service). Habituellement, on admet une intensité comprise entre 2 et 3,5 ampères/ mm^2 ; nous conseillons d'adopter une valeur de 3 ampères/ mm^2 si le transformateur ne doit fonctionner que par intermittence (2 ou 3 heures de fonctionnement suivi d'un repos suffisamment prolongé pour permettre son refroidissement), une valeur de 2,5 ampères/ mm^2 pour un fonctionnement continu de sept heures et 2 ampères/ mm^2 , s'il doit fonctionner 24 heures sur 24.

Nous avons préparé un tableau concernant les fils de cuivre employés pour les bobinages (tableau 54, page 311). On y trouvera diverses indications permettant de connaître rapidement les caractéristiques essentielles (diamètre, section, tours par cm, résistance...). À l'aide de ce tableau, nous pouvons trouver le diamètre du fil permettant d'atteindre la densité de courant choisie. Si nous exigeons une densité de courant de 2,5 ampères par mm^2 , nous voyons que pour notre courant primaire de 0,32 ampère, nous devons utiliser un fil de 0,40 mm de diamètre (4/10 de mm).

De la même façon, nous trouvons que le fil de l'enroulement secondaire devant fournir 3 ampères doit avoir un diamètre de 1,2 mm (12/10) et celui du secondaire 2 ampères devra avoir 1 mm de diamètre. On admet, naturellement, une certaine tolérance sur la valeur du courant ou le diamètre et l'on choisit le fil se rapprochant le plus des valeurs requises.

Ainsi que nous le disions au début de cette étude, la majorité des transformateurs d'alimentation pour appareils de radio ont un enroulement primaire comportant diverses prises permettant son fonctionnement sur des tensions différentes. Le choix de la tension d'alimentation se fait au moyen d'un « répartiteur de tension » (figure 5), lequel permet de mettre en service un nombre de spires en rapport avec la tension du secteur électrique. De cette façon, le transformateur pourra être branché sur 110, 127, 145, 220 ou 240 volts (tensions les plus courantes des réseaux de distribution électrique) et les secondaires fourniront, dans chaque cas, la même tension. La puissance absorbée (et fournie) sera la même, quelle que soit la tension au primaire ; dans le cas d'un branchement sur une tension secteur élevée (220 volts, par exemple), l'intensité du courant passant dans le primaire sera moins grande que sur 110 volts, mais le produit VA restera le même. L'intensité du courant primaire variant suivant la tension appliquée, il en résulte que le diamètre du fil utilisé pour cet enroulement ne sera pas le même d'un bout à l'autre. C'est ainsi que, partant du début de l'enroulement (point zéro) jusqu'à la prise 110 volts, la section du fil sera celle calculée plus haut, puis, au fur et à mesure que l'on passera à des tensions plus élevées, on pourra employer du fil de section de plus en plus faible, d'où économie de cuivre et d'encombrement. En pratique, toutefois, pour ne pas multiplier le nombre de types de fils, on se limite à trois sections différentes : une section de 0 à 127 volts, une section plus faible de 127 à 145 ou 160 volts, enfin une section encore plus faible de 160 à 240 volts. Nos lecteurs pourront calculer les diverses parties : il leur suffira, connaissant ces intensités, de se reporter au tableau 54, comme indiqué au début de ce chapitre.

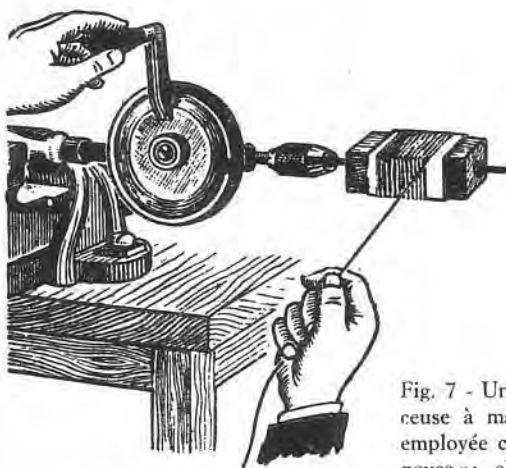


Fig. 7 - Une simple perceuse à main peut être employée comme « bobineuse »; elle sert aussi bien à bobiner le fil qu'à compter rapidement les spires.

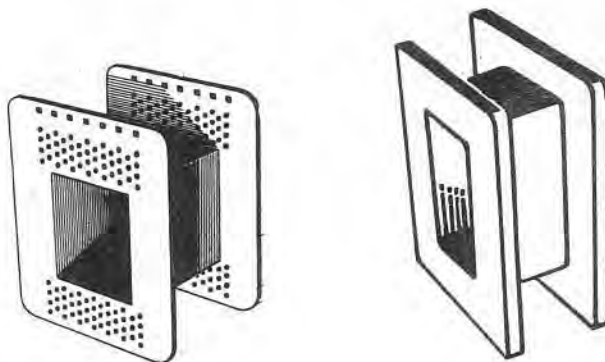


Fig. 8 - Souvent, dans les transformateurs d'usage courant construits par des maisons spécialisées, on trouve des carcasses particulièrement robustes en matière plastique moulée.

Le nombre des spires — Le nombre des spires enroulées sur un circuit magnétique est un des facteurs déterminant la densité du flux magnétique dans le noyau. C'est ainsi que l'enroulement du primaire déterminera la densité du flux de notre transformateur. Nous avons déjà vu que nous devons nous efforcer d'atteindre une densité de flux aussi grande que possible, sans toutefois arriver à la saturation du fer nous avons souligné, à cette occasion, que la majorité des transformateurs construits pour fonctionner à la fréquence du réseau électrique (50 Hz), marchaient à proximité du point de saturation, ceci pour des raisons d'économie, de réduction d'encombrement, etc.

En tenant compte de la nature des tôles formant le circuit magnétique des transformateurs de ce type (fer au silicium), nous pouvons prendre pour base de nos calculs une densité de flux de l'ordre de 10 000 lignes par cm^2 (voir tableau 31). En outre, étant donné que nous nous occupons ici exclusivement des transformateurs d'alimentation, (les transformateurs pour Basse Fréquence seront étudiés dans une prochaine leçon), il est entendu que la fréquence de travail sera toujours celle du réseau électrique, actuellement standardisée à 50 Hz.

Il est facile de calculer le nombre de spires par volt de l'enroulement primaire au moyen de la formule ci-dessous:

$$\text{Spires/volt primaire} = \frac{45}{\text{section du circuit magnétique}}$$

Précisons que la section du circuit magnétique entrant dans la formule ci-dessous est la section nette. Appliquons-la au calcul de notre transformateur: nous savons que la section nette requise est de $9,6 \text{ cm}^2$, ce qui nous donne:

$$\text{Spires par volt primaire} = \frac{45}{9,6} = 4,68, \text{ que nous arrondissons à } 4,7.$$

La tension appliquée au primaire étant de 125 volts, on aura:

$$\text{Nombre de spires au primaire} = 4,7 \times 125 = 587.$$

Si nous désirons que le primaire de notre transformateur puisse être également branché sur des réseaux électriques de tensions différentes, il sera facile de calculer le nombre des spires en fonction de ces tensions (140, 160 et 220 volts, par exemple):

$$\begin{aligned} 4,7 \times 140 &= 658 \text{ spires} \\ 4,7 \times 160 &= 752 \text{ spires} \\ 4,7 \times 220 &= 1034 \text{ spires} \end{aligned}$$

Ce qui nous donne, en d'autres termes, un enroulement primaire de 1034 spires avec prises à la 752^{ème}, la 658^{ème} et la 587^{ème} spire.

En ce qui concerne le nombre des spires/volt du secondaire, nous appliquerons cette autre formule:

$$\text{Spires/volt secondaire} = \frac{48}{\text{section du circuit magnétique}}$$

$$\text{Nombre de spires/volt secondaire} = \frac{48}{9,6} = 5$$

En conséquence, le secondaire 6,3 volts comportera $6,3 \times 5 = 31$ spires et celui 5 volts aura, $5 \times 5 = 25$ spires.

Nous sommes maintenant en possession des principales données nécessaires pour mener à bien la construction de ce transformateur. Il nous reste à déterminer les dimensions des tôles destinées à constituer le circuit magnétique, particulièrement les dimensions de la jambe centrale (formant le noyau) et des fenêtres (où prendront place des enroulements). En même temps nous devons estimer approximativement l'encombrement des enroulements, car c'est ce facteur qui va influencer sur le choix des tôles.

Les dimensions des tôles — Il convient, tout d'abord, de calculer la largeur de la partie centrale. Pour des raisons pratiques, il est utile de donner au noyau une section de forme carrée (autant que possible): dans ces conditions, la largeur de la jambe centrale sera donnée par l'expression $\sqrt{S_1}$, c'est-à-dire par la racine carrée de la section brute. Nous verrons que cette mesure n'est presque jamais adoptée en pratique, toutefois il est nécessaire de faire ce calcul qui sert de point de départ pour le choix final.

$$\text{Dans notre cas: } \sqrt{11} = 3,3 \text{ cm.}$$

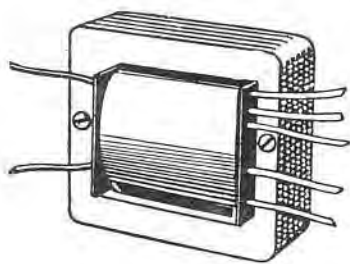


Fig. 9 - Très souvent, pour des raisons d'économie et de simplicité de construction, ce sont les fils des enroulements eux-mêmes (à la condition qu'ils soient d'un diamètre suffisant) qui servent à relier le transformateur aux autres éléments du circuit. Ces fils sont alors recouverts de gaines isolantes colorées suivant le code indiqué à la page 310.

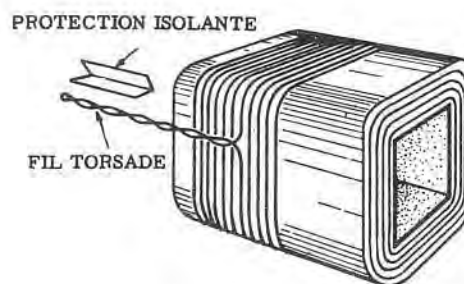


Fig. 9-bis - Pour faire une prise intermédiaire sur un enroulement, on torsade le fil sur une certaine longueur et on prend bien soin de l'isoler par un morceau de papier replié ou par de la toile isolante, dans sa traversée vers l'extérieur.

Parmi les tôles du commerce (voir tableau 53, colonne C), nous trouvons des tôles du type 79 x 94, dont la partie centrale a 32 mm de largeur. Nous pourrions donc construire notre transformateur avec des tôles de ce type, mais nous nous apercevrons alors que les « fenêtres », c'est-à-dire l'espace dans lequel est placé le bobinage, sont trop larges: l'espace disponible serait mal utilisé et notre transformateur serait inutilement encombrant. Pour éviter cela, on choisira des tôles de plus petites dimensions mais, comme dans ce cas la partie centrale sera moins large, il faudra — pour conserver la même section brute de 11 cm² — augmenter l'épaisseur totale du circuit magnétique et renoncer à l'idée d'avoir un noyau de forme carrée. C'est ainsi que le noyau magnétique est généralement de forme rectangulaire, mais il n'en reste pas moins, et c'est ce que nous avons voulu mettre en évidence, que chaque fois que le facteur encombrement peut être négligé, il convient d'adopter un circuit de forme carrée.

Comment pouvons-nous alors déterminer a priori le type de tôles qui conviendra le mieux, par ses dimensions, au transformateur que nous avons en projet? C'est seulement avec un peu de pratique que nous parviendrons à choisir rapidement le modèle le mieux adapté à nos besoins, celui permettant de loger les enroulements nécessaires dans le plus petit espace. Fort heureusement, ce « coup d'oeil » s'acquiert assez rapidement et on arrive très bien, après avoir construit quelques modèles de transformateurs, à évaluer l'espace, ou mieux, le volume qu'occuperont les enroulements (suivant le diamètre et l'isolement des fils) et à juger s'ils pourront être logés dans l'espace disponible entre les branches du circuit magnétique.

Il est évident qu'au début, avant d'avoir acquis la technique nécessaire, il conviendra de se livrer à quelques calculs pour éviter, une fois le travail presque terminé, de manquer de l'espace nécessaire pour loger la totalité des enroulements. Ces calculs — indiqués ci-dessous — porteront sur le volume des enroulements, en partant de l'emploi présumé d'un certain type de tôles.

Nous avons déjà mentionné un point de départ, la

largeur de la partie centrale du circuit magnétique que nous avons choisie égale à la racine carrée de la section brute (soit 33 mm dans notre cas). A partir de cette donnée, nous conseillons de choisir des tôles dont la largeur de la branche centrale est de 20% inférieure à cette dimension. C'est ainsi que nous choisirons des tôles dont la branche centrale a une largeur de 25 mm (tableau 53) et dont les dimensions sont évidemment inférieures à celles dont la largeur est de 33 mm. S'il se trouve que plusieurs modèles soient disponibles, on donnera la préférence à celui dont les dimensions générales se rapprochent le plus de celles du type ayant servi de base à nos calculs (79 x 94). C'est ainsi que, dans notre cas, nous choisirons le type 76 x 80, de préférence au 63 x 76.

Etant donné que nous devons avoir une section de 11 cm² et que la largeur de la branche centrale est de 2,5 cm, nous devons réaliser un empilage de ces tôles sur une hauteur de $11 : 2,5 = 4,4$ cm.

Nous devons, maintenant, vérifier si les enroulements peuvent trouver place dans les fenêtres qui, dans notre cas, mesurent 52 x 16 mm (tableau 53).

Ce n'est pas seulement le fil du bobinage que nous devons loger dans l'espace disponible. Entre chaque couche de fil on doit intercaler une couche de papier paraffiné; entre le primaire et les secondaires, tout comme entre les secondaires eux-mêmes, on doit prévoir une couche de papier forte ou de toile isolante. Le début et la fin de chaque enroulement devront aboutir à l'extérieur, ce qui nécessite l'emploi d'un conducteur transversal bien isolé, maintenu par un ruban de toile, ce qui augmente encore l'encombrement.

Enfin, le bobinage devra se faire sur une carcasse de carton, qui absorbera, à elle seule, une partie de de l'espace disponible dans les fenêtres.

Si la fenêtre mesure 52 mm de long et si nous adoptons une carcasse comportant des joues (figure 6) nous disposerons d'un espace utile (pour bobiner notre fil) de 52 mm, moins l'épaisseur des deux joues, soit environ 48 mm utilisables.

Considérons, tout d'abord l'enroulement primaire. Nous savons qu'il doit comporter 587 tours de fil de

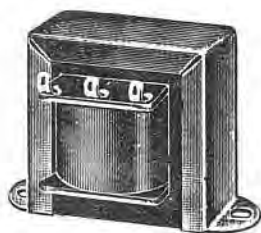


Fig. 10 - Lorsque le fil des enroulements est très fin, ce qui est le cas des transformateurs B.F. de faible puissance, on le soude sur des cosses rivées sur une des joues de la carcasse.

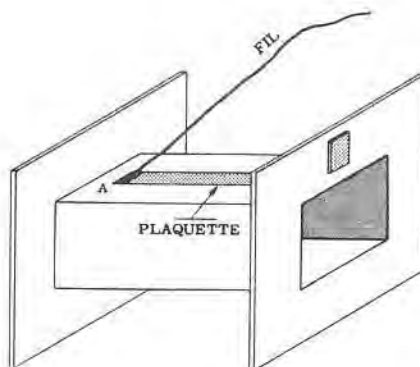


Fig. 10 bis - Voici un système pratique représenté ci-dessous pour faire sortir de la bobine les extrémités des enroulements.

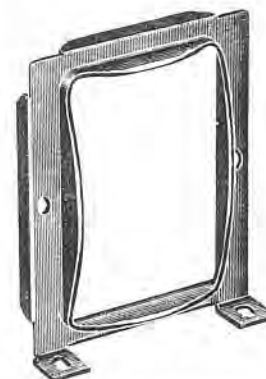


Fig. 11 - Type de flasque de serrage pour montage vertical. La nervure la rend particulièrement rigide; elle est accouplée à un autre élément semblable.

cuiivre émaillé de 0,40 mm; en consultant le tableau 54 — extrêmement utile — nous voyons qu'il est possible de bobiner 20 spires de ce fil par centimètre de longueur; comme nous disposons d'un espace utile de 4,8 cm, nous pourrions bobiner:

$$20 \times 4,8 = 96 \text{ spires par couche.}$$

Pour loger nos 587 spires, il faudra 6 couches entières et une couche supplémentaire ne comportant que 11 spires. En pratique, étant donné qu'au fur et à mesure que l'on superpose les couches, il est possible que quelques spires viennent à manquer, on prévoiera 7 couches complètes.

Nous pouvons également considérer le cas d'un primaire prévu pour fonctionner sur plusieurs tensions. Comme nous l'avons calculé plus haut, la prise 140 volts doit comporter 658 spires au total, soit 71 de plus que la prise 125 volts qui en compte 587. Pour atteindre la prise 160 volts, il nous faut ajouter encore 94 spires et, enfin, pour la totalité de l'enroulement (prise 220 volts) nous devons bobiner encore 282 spires. Les fils utilisés pour ces divers bobinages supplémentaires pourront être de diamètres décroissants. On peut connaître la section des divers fils à employer au moyen du tableau 54, comme pour calculer celle du primaire 125 volts: pour cela, nous divisons d'abord la puissance absorbée au primaire (40,5 VA) par les tensions, ce qui nous donne les intensités des courants soit: 0,29, 0,25 et 0,18 ampère et, en nous basant sur une densité de courant de 2,5 ampères par cm², le tableau nous indique que nous devons utiliser des fils ayant, respectivement, 0,38, 0,35 et 0,30 mm de diamètre.

C'est ainsi que, pour un primaire universel, nous devons bobiner:

- 1 couche comportant 71 spires de fil émaillé de 0,38 mm.
- 1 couche comportant 94 spires de fil émaillé de 0,35 mm.
- 2 couches comportant chacune 141 spires de fil émaillé de 0,30 mm.

Un des enroulement secondaire doit avoir 31,5 spires de fil émaillé de 1,2 mm de diamètre. Le tableau 54 indique que nous pouvons loger 7,5 spires par cm:

sur une longueur de 4,8 cm nous pourrions bobiner facilement ce secondaire sur une seule couche. L'autre secondaire comportera une couche de 25 spires de fil émaillé de 1 mm de diamètre.

Les sept couches de fil du primaire (0,40 mm) occupent environ 3,5 mm de hauteur (toujours d'après le tableau 54, 3^{ème} colonne), nous devons y ajouter 1,2 et 1 mm pour les deux secondaires, soit au total, environ 5,7 mm pour le fil seulement. La carcasse de carton a une épaisseur de 1,5 cm et l'épaisseur totale des couches de papier et de toile isolante peut être évaluée à 2,5 mm (voir tableau 55) pour 6 ou 7 couches de papier et deux ou trois de toile ou de carton mince. L'épaisseur totale sera donc de $5,7 + 1,5 + 2,5 = 9,7$, soit 10 mm, en arrondissant. Puisque la largeur de la fenêtre des tôles choisies est de 16 mm, nous pourrions y loger facilement les enroulements qui devront, toutefois, être soigneusement réalisés; spires jointives, fil bien tendu, sans chevauchement des spires, papier isolant de largeur convenable bien plaqué sur le fil.

Dans le cas d'un enroulement primaire universel, les diverses couches supplémentaires occuperont une épaisseur de 2,5 mm environ (calculée au moyen du tableau 54), y compris les couches isolantes nécessaires, ce qui portera l'épaisseur totale à 12,5 mm et, là encore, la totalité des enroulements pourra être facilement logée dans l'espace disponible.

REALISATION PRATIQUE

Bien que la construction d'un transformateur ne soit pas une opération particulièrement difficile, un problème important se pose au technicien: celui du bobinage proprement dit. Le transformateur pris pour exemple est de petite dimension mais, en général, les transformateurs d'alimentation comportent un enroulement primaire à prises multiples permettant le fonctionnement sur les diverses tensions des réseaux (par exemple: 110, 125, 145, 220 et 245 volts), des secondaires basse tension et d'un secondaire haute tension. Il est alors évident que le nombre total des spires est beaucoup plus grand que celui pris pour exemple, qui compte déjà pourtant près de 600 spires, rien que pour

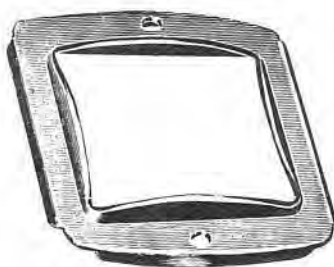


Fig. 12 - Type de flasque de serrage pour transformateur à encastrer. Dans ce cas, on utilise, assez souvent une seule flasque car le transformateur est fixé, de l'autre côté, directement sur la tôle du châssis.

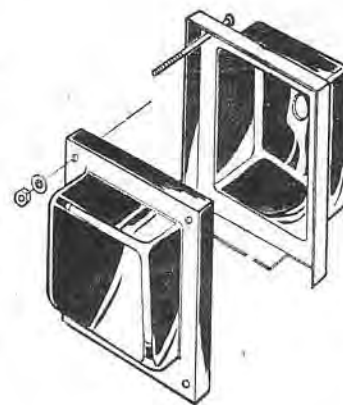
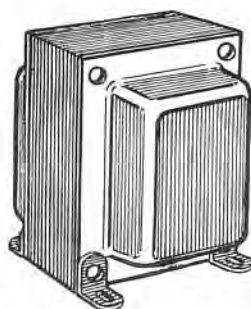
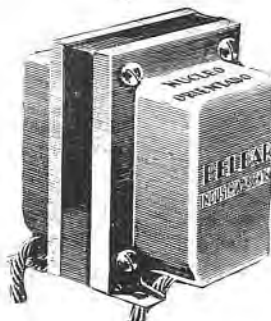


Fig. 13 - Les capots améliorent la présentation, assurent la protection des enroulements et le blindage du transformateur. Certains sont suffisamment rigides pour servir également au serrage des tôles.

le primaire. Cette difficulté ne peut être résolue qu'en employant une machine à bobiner, avec laquelle il sera possible de réaliser des enroulements réguliers dans un espace minimum. Toutefois, une telle machine coûte cher et c'est au technicien de décider si l'importance et le nombre des travaux à exécuter peuvent justifier une telle dépense.

Nous voulons indiquer ici une solution facile à ce problème qui puisse être employée dans le cas où les rares bobinages à effectuer ne sauraient justifier l'achat d'une machine spéciale. La bobineuse peut être remplacée par une simple perceuse à main (figure 7); à cet effet, on fixe la carcasse sur un parallélépipède de bois, traversé en son centre par une longue tige filetée que l'on serre à une extrémité, dans le mandrin de serrage de la perceuse, la carcasse tournera rapidement, et régulièrement, et l'on pourra bobiner le fil, en ayant soin de le tenir toujours fortement tendu. La multiplication du mécanisme de la perceuse facilitera cette opération: si l'on prend soin, à l'avance, de connaître ce rapport, on pourra savoir combien de tours de manivelle seront nécessaires pour bobiner le nombre de spires désiré; ce qui est très précieux dans le cas d'un enroulement comportant un grand nombre de tours.

Ayant choisi le type de tôles à employer, suivant la méthode exposée plus haut, il convient de fabriquer la carcasse destinée à recevoir le fil. Celle-ci sera construite avec le bande de carton, de la largeur de la fenêtre, pliée en quatre pour former un tube de section rectangulaire, que l'on munira, ensuite de deux joues de ce même carton (figure 6); parfois — dans les transformateurs du commerce — cette carcasse est en matière plastique moulée d'une seule pièce (figure 8). Le rôle de cette carcasse est évident: elle doit supporter les enroulements, les isoler du circuit magnétique en fer et les maintenir en place sur le noyau central du transformateur. Nous avons indiqué, plus haut, que l'épaisseur du carton, employé pour la construction de cette carcasse et des joues, doit être de l'ordre de 2 mm, pour assurer une rigidité suffisante à l'ensemble.

On procède, ensuite au bobinage des enroulements,

dont l'ordre est indifférent. Nos lecteurs savent, en effet qu'en raison du principe même de fonctionnement d'un transformateur, il importe peu que le primaire soit placé en dessous, au-dessous ou entre les secondaires. Toutefois, dans la majorité des cas, on bobine d'abord le primaire (particulièrement quand il comporte plusieurs prises), puis le secondaire haute tension et, en dernier, les secondaires donnant les tensions plus faibles et les intensités les plus fortes (gros fil). On doit garder présent à l'esprit qu'au fur et à mesure que les couches se superposent, la spire augmente de longueur, et qu'il est donc préférable que les enroulements comportant le plus grand nombre de tours de fil fin soient bobinés en premier, c'est-à-dire le plus près du noyau pour que leurs spires soient les plus courtes (ce qui économise également sur le prix du fil).

Dans certains cas, lorsqu'on a un secondaire à prise médiane comportant un très grand nombre de spires, pour éviter que les deux moitiés aient des résistances ohmiques trop inégales, ce qui nuirait à la symétrie, on bobine un demi-secondaire sur la première moitié de la longueur de la carcasse et l'autre demi-secondaire, à côté, sur la seconde moitié. Nous verrons dans une autre leçon — quand nous traiterons des transformateurs pour Basse Fréquence — que cela est souvent nécessaire pour de multiples raisons. En ce qui concerne plus spécialement les transformateurs d'alimentation objet de cette étude, ce procédé est plus rarement employé.

Selon que le transformateur à construire doit être fixé verticalement ou horizontalement (semi encastré), les fils de sortie, servant à la liaison avec les circuits extérieurs sont disposés différemment. Lorsque les fils des enroulements (entrée et sortie) sont d'une section suffisante, ils peuvent servir eux-mêmes de fils de liaison avec les autres circuits; il suffit, alors, de les laisser suffisamment longs et de les isoler soigneusement à leurs points de sortie (figure 9). Les fils plus fins sont soudés à des cosses rivées sur les joues de la carcasse (figure 10) et les connexions extérieures viennent se raccorder à ces points. Dans certains modèles de transformateurs de fabrication

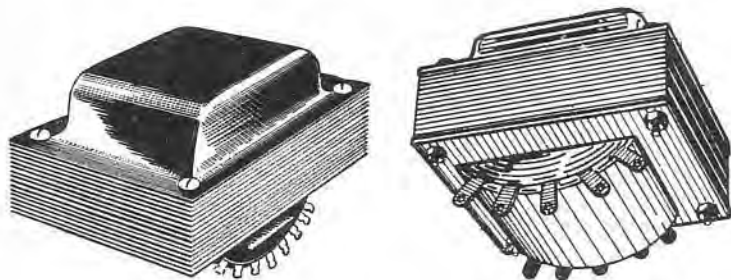


Fig. 14 - Dans le cas d'un transformateur prévu pour être encastré dans le châssis, seule la partie supérieure est capotée. Là encore, le capot sert de flasque de serrage et protège les enroulements.

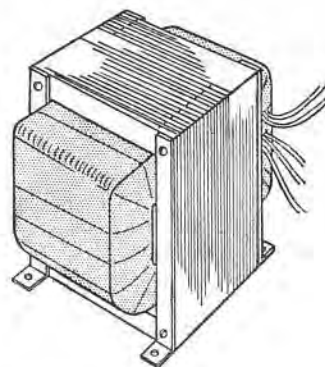


Fig. 15 - Lorsque le transformateur n'est pas protégé par un capot, on peut recouvrir les enroulements d'un ruban isolant protecteur, avant de mettre en place le circuit magnétique.

étrangère (USA, par exemple) pour faciliter l'utilisation de ces transformateurs, que l'on trouve parfois aux « surplus militaires », nous donnons, page 312, le code des couleurs permettant d'individualiser les sorties.

Nous ne voulons pas nous étendre davantage sur les particularités de construction qui, pour être bien comprises, doivent être étudiées sur l'objet lui-même. C'est pourquoi, nous conseillons à tous ceux qui désirent entreprendre la construction de ces éléments, de démonter et d'examiner attentivement des transformateurs hors d'usage, qu'il leur sera facile de se procurer chez n'importe quel dépanneur.

Il nous faut dire quelques mots maintenant, de deux accessoires fort utiles: les *flasques de serrage* des tôles et les *capots*. Les flasques de serrage (**figure 11**) servent, comme leur nom l'indique, à serrer fortement le paquet de tôles une fois le transformateur terminé. Ceci est indispensable car, si les tôles n'étaient pas suffisamment serrées les unes contre les autres pour former un ensemble rigide, elles entreraient en vibration sous l'effet du courant alternatif passant dans les enroulements. Ces flasques sont presque toujours constituées par un cadre métallique épais, ayant les dimensions des tôles; elles sont très souvent en métal fondu. Elles sont pourvues d'épaulements et de trous servant au passage des tiges filetées, ou vis de serrage qui traversent tout le paquet de tôles du circuit magnétique. Parfois, lorsque le transformateur est prévu pour être encastré partiellement dans le châssis dans un trou spécialement prévu à cet effet, seule la flasque de serrage supérieure est nécessaire (**figure 12**); c'est le châssis lui-même qui, étant suffisamment rigide, sert de flasque inférieure.

Les capots (**figure 13**) ne sont pas indispensables, mais ils sont souvent adoptés pour améliorer la présentation du transformateur, tout en donnant une sécurité et une facilité d'utilisation plus grande. S'ils sont suffisamment rigides, ils peuvent également servir de flasques de serrage du circuit magnétique et, dans le cas de transformateurs à encastrer, seul le capot supérieur est nécessaire, comme le montre la (**figure 14**).

On prendra soin que les vis de serrage des tôles, dont nous avons parlé à propos des flasques, soient bien isolées des tôles elles-mêmes, particulièrement dans le cas où elles passent dans des trous prévus à cet usage. Il est facile de réaliser un isolement suffisant en insérant à l'intérieur des trous de passage une longueur de tube isolant souple (souplesse) le diamètre convenable. L'isolement entre les couches de fil, entre les enroulements et le fer, entre le primaire et les secondaires et entre les secondaires eux-mêmes sera particulièrement soigné, principalement dans le cas où des différences de potentiel importantes existent entre les divers circuits. On doit utiliser largement le papier paraffiné et le carton isolant; faire très attention au passage des fils d'entrée et de sortie, à leur fixation au moyen de ruban ou de ficelle pour éviter leur déplacement accidentel à la suite d'une traction extérieure, les souder soigneusement aux coses prévues à cet effet sur les flasques de carton de la carcasse; ne pas hésiter, partout où cela semble nécessaire, à employer du ruban isolant ou du souple. On peut également, lorsqu'on n'utilise pas de capot protecteur, entourer l'ensemble constitué par les enroulements et la carcasse de carton, d'un ruban de toile isolante comme le montre la **figure 15**.

Une fois le bobinage des enroulements terminé, il faut introduire les tôles une à une, en prenant soin — comme nous l'avons dit plus haut — de les placer alternativement dans un sens et dans l'autre. Dans le cas de tôles en « E », le circuit sera fermé chaque fois, par une tôle en « I ». C'est une opération facile mais qui doit être exécutée avec soin, d'où dépend la vie du transformateur. On constatera, enfin, que d'introduction des dernières tôles ne se fera pas sans difficultés, il sera nécessaire de presser énergiquement le paquet pour pouvoir y introduire le maximum de tôles possible (**figure 16**).

La mise en place des tôles, suivie de leur serrage au moyen des flasques métalliques ou des capots protecteurs est la phase terminale de notre construction. Dans certains cas toutefois, on procède à une opération supplémentaire: l'imprégnation à la paraffine ou

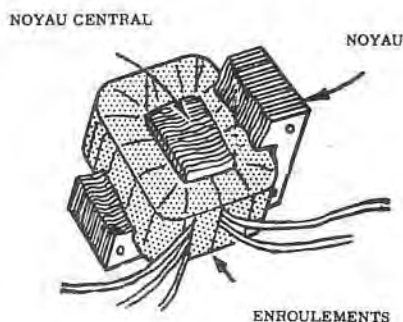


Fig. 16 - Vue en coupe du circuit magnétique. On doit s'efforcer d'enfiler le plus grand nombre possible de tôles à l'intérieur des enroulements.

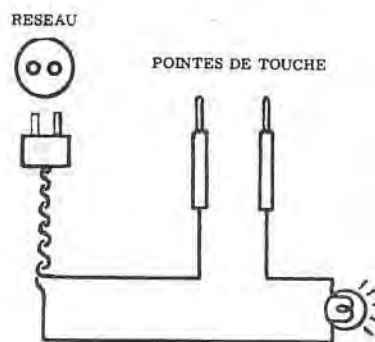


Fig. 17 - On peut faire les essais d'isolement d'un transformateur au moyen du circuit ci-dessous comportant une lampe d'éclairage prévue pour la tension du réseau. Si l'isolement est suffisant, la lampe ne doit pas s'allumer lorsque les pointes de touche sont mises en contact avec les tôles, d'une part, et les enroulements, d'autre part.

au vernis isolant. Elle consiste tout d'abord, à placer le transformateur pendant 30 minutes environ, dans un four chauffé à 150°, ce qui a pour effet d'enlever toute trace d'humidité, puis de le plonger dans un bain de substance isolante pour le protéger de toutes atteintes ultérieures et pour le rendre parfaitement compact. Ce procédé d'imprégnation n'est appliqué, répétons-le, qu'à certains transformateurs spéciaux dont les conditions d'emploi nécessitent des précautions particulières d'isolement et de rigidité; elle présente l'inconvénient d'augmenter sensiblement le prix et de rendre difficiles toutes opérations de dépannage ou de récupération du matériel. Les progrès techniques réalisés ces dernières années dans la fabrication des fils de cuivre émaillés — vernis et isolants résistant mieux à la chaleur et aux efforts mécaniques — rendent encore plus exceptionnels les cas où l'on doit recourir à l'imprégnation. Nous ajouterons que l'amateur, ou même le technicien radio, n'est pas outillé pour mener à bien ce genre d'opération et qu'en conséquence, les transformateurs qu'il sera à même de réaliser seront toujours du type non-imprégnés.

Une fois la construction achevée, il sera prudent, avant de le mettre sous tension, de vérifier l'isolement du transformateur. Une simple vérification à l'ohmmètre ne peut pas être absolument concluante, toutefois, en l'absence d'autres moyens de contrôle, elle permettra, au moins de déceler la présence éventuelle de courts-circuits. La tension de la pile de l'ohmmètre est insuffisante pour contrôler efficacement l'isolement du transformateur; il faudrait pouvoir lui appliquer une tension supérieure à la tension de service, ce qui dépasse, très souvent les possibilités du constructeur amateur. Nous indiquons, ci-dessous, un dispositif simple, mais efficace, pouvant servir au contrôle de l'isolement.

On réalise le circuit de la **figure 17**, comportant une prise de courant, une lampe (125 ou 220 volts, selon la tension du secteur) et deux pointes de touche. On place une des pointes en contact avec les tôles du circuit magnétique et, l'autre pointe de touche sera mise successivement en contact avec les extrémités des

divers enroulements: en aucun cas la lampe ne devra s'allumer. Si la lampe s'allume normalement, cela indique la présence d'un court-circuit, c'est-à-dire d'un contact franc entre le fil d'un des enroulements et le circuit magnétique; si la lampe n'éclaire que faiblement, cela indique également un court-circuit, mais avec une certaine résistance de contact. Dans les deux cas, il faut revoir complètement le travail pour trouver le défaut d'isolement et y remédier, si cela est possible. On répètera le même essai entre les divers enroulements qui, selon le schéma du transformateur, doivent être isolés les uns des autres.

Au cours de ces manipulations on prendra bien soin de ne toucher aucune partie métallique avec les mains: n'oublions jamais que la tension du secteur est dangereuse!

L'essai d'isolement effectué dans les conditions ci-dessus, est en réalité un essai bien modeste si l'on songe que, dans les laboratoires, les contrôles se font avec des tensions dix fois supérieures à la tension maximum fournie par le transformateur. Il n'en constitue pas moins une vérification utile à laquelle on doit procéder avant la mise sous tension.

Ceci fait, on pourra passer à l'opération suivante qui consiste à s'assurer que le transformateur donne bien les tensions désirées. L'opération est facile; il suffit de relier le primaire au secteur (en plaçant, au préalable, le répartiteur de tension sur la position convenable). Si le primaire comporte plusieurs prises, on pourra contrôler l'exactitude des calculs en mesurant les tensions (avec un voltmètre alternatif) entre le point « zéro » et chacune des prises: les diverses tensions lues sur le voltmètre devront être celles prévues par le calcul. On passera ensuite aux enroulements secondaires et on mesurera les tensions à leurs bornes: il ne faudra pas s'étonner de lire des tensions un peu supérieures à celles prévues. Ceci est dû au fait que la mesure est faite « à vide », c'est-à-dire sans charge; lorsque le transformateur sera branché aux circuits à alimenter (filaments des lampes, redresseurs...) les tensions descendront à leurs valeurs normales, ce qu'il faudra d'ailleurs contrôler à ce moment-là.

SYMBOLES - ABREVIATIONS

A_{sp} = Ampère/spire
 $\cos \Phi$ = Facteur de puissance
 E_p = Tension au primaire
 E_s = Tension au secondaire
 I_p = Courant au primaire
 I_s = Courant au secondaire
 N_p = Nombre de spires au primaire
 N_s = Nombre de spires au secondaire
 P_{app} = Puissance apparente
 P_m = Puissance moyenne
 P_p = Puissance au primaire
 P_s = Puissance au secondaire
 R_o = Résistance ohmique de la charge
 S_l = Section brute du noyau
 S_n = Section nette du noyau
 S_p/V = Spires par volt
 VA = Volt-ampère
 V/S_p = Volt par spire

FORMULES

Diamètre des fils:

Pour 2 ampères par mm^2

$$d = 0,8 \sqrt{I}$$

Pour 2,5 ampères par mm^2

$$d = 0,7 \sqrt{I}$$

Pour 3 ampères par mm^2

$$d = 0,65 \sqrt{I}$$

$$e = -N (d\Phi : dt)$$

$$E_p = E_s N_p : N_s$$

$$E_s = E_p N_s : N_p$$

$$I_p = I_s N_s : N_p$$

$$I_p = P_p : E_p$$

$$I_s = E_s : R_o$$

$$I_s = P_s : E_s$$

$$P_m = I \times E \times \cos \Phi$$

$$P_p = E_p I_p$$

$$P_s = E_s I_s$$

$$S_n = 1,5 \sqrt{P_p}$$

$$S_l = S_n + 10\% \text{ (pour des tôles de 0,35 mm)}$$

$$S_l = S_n + 15\% \text{ (pour des tôles de 0,50 mm)}$$

Nombre de spires de l'enroulement

$$S_p/V = \frac{\text{Nombre de spires de l'enroulement}}{\text{Tension à ses bornes}}$$

Tension à ses bornes

$$S_p/V \text{ primaire} = 45 : S_n$$

$$S_p/V \text{ secondaire} = 48 : S_n$$

$$V/S_p = E_p : N_p$$

QUESTIONS sur les LEÇONS N°s 37 et 38

N. 1 — Quelle est la fonction d'un transformateur ?

N. 2 — Est-il possible, au moyen d'un transformateur, de diviser la puissance absorbée dans un circuit et de la distribuer dans plusieurs circuits indépendants les uns des autres ?

N. 3 — Quels sont les éléments principaux d'un transformateur ?

N. 4 — Quelles sont les fonctions du « primaire » et du « secondaire » ?

N. 5 — Quelle relation existe-t-il entre le rapport des tensions au primaire et au secondaire et le rapport des spires au primaire et au secondaire ?

N. 6 — De combien de façons peut-on utiliser un transformateur ?

N. 7 — Pour quelle raison ne peut-on obtenir au secondaire du transformateur une puissance absolument égale à celle absorbée par le primaire ?

N. 8 — Pourquoi le circuit magnétique d'un transformateur doit-il être composé de tôles minces, isolées entre elles, au lieu d'être formé d'un bloc unique ?

N. 9 — Un transformateur donné comporte 2 000 spires au primaire et 1 500 spires au secondaire. Quelle sera la tension aux bornes du secondaire si l'on applique au primaire une tension de 150 volts ?

N. 10 — Existe-t-il une différence entre les tensions secondaires mesurées « à vide » et celles mesurées avec une charge ?

N. 11 — Pour quelle raison les tôles d'un transformateur sont-elles placées alternativement dans un sens et dans l'autre ?

N. 12 — Un transformateur peut-il être caractérisé par plus d'un facteur « spires par volt » ?

N. 13 — Quelle est la relation existant entre l'intensité du courant et le nombre des spires de chaque enroulement ?

N. 14 — Qu'entend-on par « rendement » d'un transformateur ?

N. 15 — Quelles sont les sources de pertes dans un transformateur ?

N. 16 — Pour quelle raison, dans un enroulement ayant une forte différence de potentiel à ses bornes, est-il indispensable d'isoler les couches de fil les unes des autres ?

REPONSES aux QUESTIONS de la p. 283

N. 1 — Elles sont toujours déphasées de 90° dans les deux types de circuit, mais les déphasages sont de sens opposés.

N. 2 — Celles aux bornes des éléments réactifs sont toujours déphasées entre elles de 180° et peuvent être directement retranchées l'une de l'autre.

N. 3 — Dans ce cas, le circuit se comporte comme s'il était uniquement résistif, c'est-à-dire que le courant est en phase avec la tension.

N. 4 — Le circuit est en résonance sur la fréquence de la tension alternative appliquée. Le courant a une intensité maximum si le circuit est du type série, elle est minimum s'il est du type parallèle.

N. 5 — Ils sont déphasés de 180° l'un par rapport à l'autre.

N. 6 — Les courants des deux branches sont égaux mais de signes contraires, donc ils s'annulent. Le courant de ligne tend donc vers zéro et l'impédance vers une valeur infinie.

N. 7 — Non; elle a également une alternance négative.

N. 8 — Par « puissance apparente » on entend le produit de la tension par l'intensité du courant: $P_{app} = E \times I$.

N. 9 — $P_{moy} = I^2 R$ ou bien, $P_{moy} = E \times I \times \cos \Phi$.

N. 10 — La puissance est effectivement dissipée par la résistance ohmique seulement, car les résistances réactives, aussi bien la réactance capacitive que la réactance inductive, ne dissipent pas d'énergie. En fait, aussi bien un condensateur qu'une bobine peuvent emmagasiner une certaine quantité d'énergie et la restituer, avec de faibles pertes, dès que la source ne débite plus de courant.

N. 11 — La tension appliquée et la résistance du circuit.

N. 12 — Il se comporte comme une capacité seule.

N. 13 — Une inductance de 405 microhenrys.

N. 14 — La fréquence de résonance diminue.

N. 15 — Les tensions aux bornes des deux composants sont très élevées, du fait que l'intensité du courant est maximum et est limitée seulement par la résistance ohmique du circuit.

N. 16 — Il se comporte comme une simple inductance.

N. 17 — Il doit être branché en série avec la charge, car l'impédance d'un circuit résonant parallèle est maximum à la fréquence de résonance. L'impédance maximum provoque donc la chute de tension maximum à la fréquence à éliminer.

N. 18 — Du type « passe-bas ». Il est, en fait, branché en parallèle sur la tension alternative et se comporte donc, à son égard, comme un véritable court-circuit.

TABLEAU 51 — CORRESPONDANCE ENTRE LA NUMÉROTATION AMERICAINE « B & S » ET LE DIAMÈTRE EN MILLIMETRES DES CONDUCTEURS

Numérotation B & S	Diamètre mm	Numérotation B & S	Diamètre mm
0000	11,684	24	0,510
000	10,405	25	0,455
00	9,266	26	0,405
0	8,254	27	0,360
1	7,348	28	0,321
2	6,544	29	0,286
3	5,827	30	0,255
4	5,189	31	0,227
5	4,621	32	0,202
6	4,115	33	0,180
7	3,665	34	0,160
8	3,264	35	0,143
9	2,906	36	0,127
10	2,588	37	0,113
11	2,305	38	0,100
12	2,053	39	0,090
13	1,829	40	0,080
14	1,628	41	0,071
15	1,450	42	0,063
16	1,291	43	0,056
17	1,150	44	0,050
18	1,024	45	0,045
19	0,899	46	0,040
20	0,812	47	0,035
21	0,723	48	0,032
22	0,644	49	0,028
23	0,573	50	0,025

Le tableau 51 sera extrêmement utile à tous ceux qui ont, ou auront, l'occasion de consulter des revues américaines. Aux USA, le diamètre des conducteurs n'est pas exprimé directement en millimètres, ou en fractions de pouce, mais bien selon une numérotation conventionnelle appelée « Gauge B & S ».

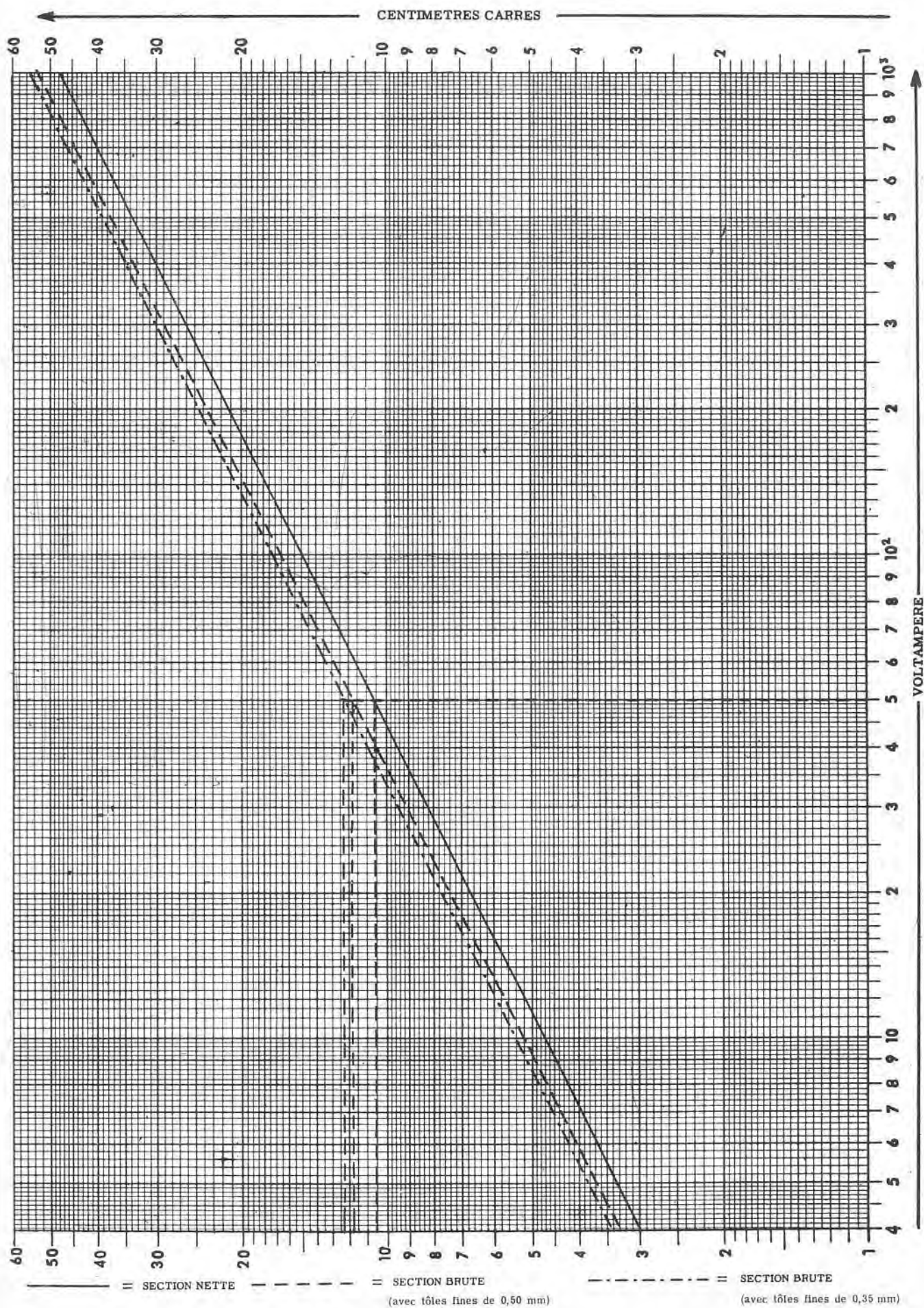
Le tableau ci-dessus permet de convertir cette numérotation en indications pratiques, puisqu'à côté de chaque numéro du code « B & S », est indiqué le diamètre en millimètres s'en rapprochant le plus. Naturellement, la correspondance n'est qu'approximative, mais la précision est largement suffisante.

Par exemple, si un enroulement doit être fait avec du fil « N. 32 » correspondant au diamètre de 0,002 mm, on pourra utiliser du fil de 0,20 mm. Du moment que la section du conducteur est calculée sur la base d'une densité de courant en ampères par millimètre carré, la différence résultant des faibles écarts possibles ne peut compromettre le résultat final.

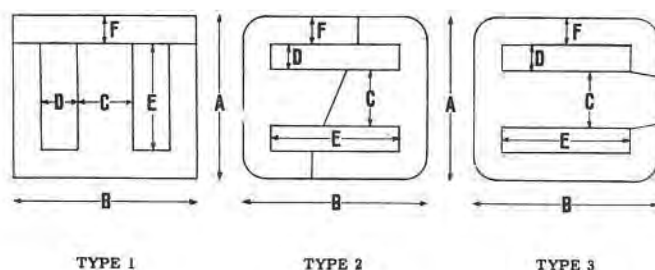
Le tableau 52 est un abaque permettant de calculer rapidement la section du circuit magnétique (nette ou brute) d'un transformateur, en fonction de la puissance. Il est d'un emploi très facile.

La puissance requise est lue sur l'échelle du bas (Volts-Ampères). De ce point on élève une perpendicu-

TABLEAU 52 - ABAQUE POUR LE CALCUL RAPIDE DE LA SECTION NETTE ET BRUTE DU
CIRCUIT MAGNETIQUE D'UN TRANSFORMATEUR EN FONCTION DE SA PUISSANCE EN VA



**TABEAU 53 - DIMENSIONS DES TÔLES
POUR TRANSFORMATIONS**



Dimensions en millimètres					
A	B	Type	C	D et F	E
32 × 38		1	13	6,5	19
37 × 44		1	14	7,5	22
40 × 48		1	16	8,0	24
47 × 57		1	19	9,5	28
50 × 64		3	14	10,0	50
52 × 67		3	16	16,0	38
54 × 54		2 e 3	16	11,0	38
55 × 66		1	22	11,0	33
55 × 82		2	20	22,0	37
63 × 76		1	25	13,0	38
70 × 70		2 e 3	20	16,0	50
70 × 100		1	28	23,0	54
72 × 92		2	27	18,0	43
76 × 80		2	20	21,0	52
76 × 80		3	20	21,0	58
76 × 80		2 e 3	25	16,0	52
79 × 94		1	32	16,0	47
80 × 100		1	28	21,0	52
82 × 105		2	30	22,0	52
84 × 87		3	23	19,0	60
95 × 115		2	31	26,0	63
100 × 102		1	28	22,0	74
105 × 105		2 e 3	30	22,0	74
105 × 110		3	25	30,0	79
110 × 115		2	32	25,0	78
116 × 126		2	40	25,0	80
119 × 145		2	40	32,0	79
120 × 100		1	40	20,0	60
124 × 115		1	18	35,0	79
145 × 145		2	40	32,0	105
166 × 196		2	60	40,0	110
220 × 240		1	70	40,0	160
220 × 400		1	70	40,0	320

laire qui vient couper les trois droites inclinées, tracées sur l'abaque. A partir des points d'intersection on trace des droites horizontales qui rencontrent les échelles verticales (droite ou gauche) sur lesquelles on lit directement la section en centimètres carrés. La sec-

tion brute est donnée pour deux épaisseurs de tôles (0.35 et 0.50 mm).

L'exemple indiqué, montre que pour une puissance de 50 VA, il faut un circuit magnétique de 10,5 cm² de section nette, soit une section brute de 11,7 cm² avec des tôles de 0.35 mm et de 12.3 cm² avec des tôles de 0.50 mm.

Le tableau 53 ci-contre, donne les dimensions des tôles pour les circuits magnétiques les plus fréquemment employés pour la réalisation de transformateurs de petite puissance.

Les dessins figurant au-dessus du tableau permettent de repérer les dimensions indiquées par des lettres dans les colonnes du tableau. On n'a pas mentionné l'épaisseur, étant donné que ces tôles se trouvent en deux épaisseurs standards, 0.35 et 0.50 mm.

Si, par exemple, nous devons construire un transformateur ayant un circuit magnétique de 10 cm² de section, nous pourrions calculer son encombrement en employant, par exemple, des tôles de 76 × 80 (type N° 2). Dans ce cas, du moment que la largeur de la branche centrale (colonne C) est de 25 mm, l'épaisseur du paquet de tôles devra être de $10 : 2,5 = 4$ cm (si la section brute est de 10 cm²).

Les fenêtres dans lesquelles devra être logé l'enroulement, auront pour dimensions D × E, soit 21 × 52 mm. Connaissant ces dimensions, il est possible (comme nous l'avons indiqué dans le texte de la 38^{ème} leçon) de vérifier si le bobinage peut y être logé.

Le tableau 54 — page suivante — donne les principales caractéristiques des fils de cuivre émaillés, de diamètres allant de 0.05 millimètre (5/100) à 4 millimètres, qui sont les plus employés en électronique.

Cette table est extrêmement utile dans tous les cas où l'on doit réaliser un enroulement quelconque, que ce soit une bobine pour Haute Fréquence, une impédance B.F. ou un transformateur (nous l'avons vu, en particulier, lors du calcul du transformateur d'alimentation donné en exemple dans la 38^{ème} leçon). Elle permet de connaître, à l'avance et avec une bonne approximation, l'encombrement total des bobinages et de juger, en conséquence, si l'espace disponible est suffisant.

Il convient de remarquer, à ce propos, que nous avons indiqué aussi bien le nombre de spires par centimètre de longueur, que le nombre des spires par centimètre carré. Dans ce dernier cas, on entend le nombre de spires pouvant être bobinées en couche superposées sur un centimètre de longueur et un centimètre de hauteur, c'est-à-dire sur un centimètre carré de la section de l'enroulement à couches multiples.

Théoriquement, le nombre de couches devrait être obtenu en divisant 1 cm par le diamètre du fil, mais il est en réalité plus petit, car la table tient compte de l'épaisseur de la couche d'émail qui recouvre le

TABLEAU 54 - CARACTERISTIQUES DES FILS DE CUIVRE EMAILLES POUR ENROULEMENTS DE BOBINES ET DE TRANSFORMATEURS

Diam. fil mm	Section mm ²	Spires par cm	Spires par cm ²	Ohms par m	Mètres par 10 ohms	Poids en g par 100 m	Longueur par 100 g m	Résistance par 100 g ohm	Poids par 100 ohms	Courant max. en ampères		
										2,0 A par mm ²	2,5 A par mm ²	3,0 A par mm ²
0,05	0,002	125,0	15.500	9,500	0,112	1,90	5.263,10	47.103,000	gr 0,210	0,004	0,005	0,006
0,06	0,003	113,0	13.450	6,310	0,161	2,70	3.703,70	22.995,000	» 0,430	0,005	0,007	0,008
0,07	0,004	100,0	10.000	4,560	0,219	3,70	2.702,70	12.159,000	» 0,780	0,007	0,010	0,011
0,08	0,005	86,0	7.200	3,500	0,286	4,90	2.040,82	7.140,000	» 1,400	0,010	0,013	0,015
0,09	0,006	78,0	6.150	2,760	0,362	6,00	1.666,67	4.498,000	» 2,170	0,012	0,016	0,019
0,10	0,008	72,0	5.200	2,220	0,452	7,70	1.298,70	2.881,000	» 3,450	0,016	0,020	0,023
0,11	0,009	67,0	4.560	1,840	0,543	9,00	1.111,11	2.044,000	» 4,850	0,020	0,024	0,028
0,12	0,011	61,0	3.740	1,550	0,645	10,60	943,39	1.461,000	» 6,750	0,022	0,029	0,035
0,15	0,018	50,0	2.500	0,990	1,010	16,70	598,80	597,000	» 16,800	0,035	0,046	0,052
0,18	0,025	42,0	1.765	0,685	1,460	23,50	425,53	297,000	» 34,200	0,055	0,066	0,080
0,20	0,032	38,0	1.400	0,657	1,795	29,50	338,98	186,000	» 53,650	0,063	0,081	0,095
0,22	0,038	35,7	1.225	0,460	2,174	35,50	281,69	129,250	» 77,000	0,075	0,099	0,115
0,25	0,049	31,0	960	0,357	2,801	45,50	219,78	78,900	» 127,000	0,096	0,125	0,150
0,28	0,062	28,5	790	0,285	3,509	57,00	175,43	49,000	» 200,000	0,125	0,160	0,180
0,30	0,071	26,0	670	0,248	4,032	66,50	150,37	37,500	» 260,000	0,140	0,175	0,210
0,32	0,080	24,5	600	0,218	4,587	74,00	135,13	29,700	» 375,000	0,160	0,198	0,240
0,35	0,096	23,0	530	0,182	5,495	91,00	109,89	19,620	» 500,000	0,195	0,250	0,290
0,38	0,113	21,7	475	0,154	6,494	103,50	97,08	14,550	» 670,000	0,225	0,285	0,340
0,40	0,126	20,0	400	0,139	7,199	116,00	86,20	12,240	» 825,000	0,250	0,310	0,380
0,45	0,159	18,5	350	0,110	9,091	147,00	68,02	7,480	kg 1,325	0,320	0,400	0,480
0,50	0,196	16,7	275	0,089	11,173	178,00	56,17	4,940	» 1,970	0,390	0,500	0,590
0,55	0,238	15,4	240	0,074	13,550	217,00	46,08	3,350	» 2,940	0,475	0,600	0,720
0,60	0,283	14,3	205	0,062	16,181	262,00	38,16	2,310	» 3,939	0,566	0,700	0,850
0,65	0,332	13,3	160	0,053	18,904	300,00	33,33	1,710	» 5,670	0,660	0,830	1,000
0,70	0,385	12,3	155	0,046	21,978	360,00	27,77	1,260	» 7,884	0,775	1,000	1,150
0,75	0,442	11,6	135	0,040	25,189	403,00	24,81	1,000	» 10,040	0,885	1,110	1,330
0,80	0,503	10,9	118	0,035	28,736	460,00	21,73	0,710	» 13,202	1,000	1,250	1,500
0,85	0,567	10,3	105	0,031	32,363	515,00	19,41	0,580	» 16,634	1,130	1,410	1,700
0,90	0,636	9,7	96	0,028	36,364	580,00	17,24	0,460	» 21,054	1,270	1,600	1,920
0,95	0,709	9,3	86	0,025	40,323	650,00	15,38	0,360	» 26,195	1,420	1,750	2,130
1,00	0,785	8,5	72	0,022	44,843	715,00	13,98	0,310	» 31,808	1,570	1,960	2,360
1,20	1,131	7,5	56	0,016	64,516	1.040,00	9,61	0,140	» 67,080	2,250	2,850	3,400
1,40	1,539	6,5	43	0,011	87,719	1.410,00	7,09	0,080	» 123,657	3,080	3,850	4,620
1,50	1,767	6,0	36	0,010	100,806	1.615,00	6,21	0,060	» 161,000	3,530	4,400	5,280
1,80	2,545	5,4	29	0,007	144,928	2.320,00	4,31	0,030	» 334,080	5,000	6,350	7,650
2,00	3,142	4,9	23	0,006	178,571	2.850,00	3,50	0,020	» 507,300	6,280	7,860	9,400
2,50	4,909	3,9	15	0,004	277,778	4.450,00	2,24	0,008	» 1.113,976	9,850	10,300	14,700
3,00	7,069	3,3	10	0,003	400,000	6.580,00	1,51	0,003	» 2.632,000	14,400	17,700	21,200
4,00	12,566	2,6	6	0,001	714,422	9.650,00	1,03	0,001	» 6.893,960	25,400	31,500	37,700

conducteur. Cette épaisseur est d'autant plus forte que le conducteur est de plus grand diamètre.

Les autres colonnes du tableau donnent diverses indications permettant de calculer (avec une approximation suffisante): la longueur, en mètres, de fil nécessaire pour effectuer un enroulement déterminé, sa résistance ohmique, son poids (et donc le prix du fil), l'encombrement total, ainsi que l'intensité du courant admissible dans le conducteur. A ce propos, la table indique les intensités admissibles pour trois valeurs de

densité de courant par mm², ce qui permet de choisir le diamètre du fil en fonction du service prévu pour le transformateur: 2 A/mm² (pour un fonctionnement de quelques heures consécutives) et 3 A/mm² (pour un transformateur fonctionnant par intermittence pour quelques heures, alternant avec des périodes de repos assez longues).

Le tableau 55 donne la liste des isolants les plus communément employés pour l'isolement entre couches des enroulements de transformateurs ou pour l'isolement des divers enroulements entre eux.

TABEAU 55 - CARACTERISTIQUES MECANQUES ET ELECTRIQUES DES PRINCIPAUX TYPES DE MATERIAUX ISOLANTS EMPLOYES POUR L'ISOLEMENT ENTRE LES COUCHES DE FILS

Diamètre fil d'enroulem. mm	Type de matériel	Epaisseur du matériel mm	Tension isolement volts couche
0,02 ÷ 0,10	papier parch.	0,02	25
0,10 ÷ 0,20	papier parch.	0,03	40
0,20 ÷ 0,50	papier parch.	0,05	75
0,50 ÷ 1,00	papier larix	0,10	150
1,00 ÷ outre	papier larix (couches superp.)	0,15	220

Isolément entre enroulements	Type de matériel	Epaisseur du matériel mm	Tension isolement volts couche
	Latéroïde	0,20	400
	Latéroïde	0,30	600
	Souplisso	0,15	400
	Souplisso	0,25	600

Les indications fournies par ce tableau permettent de calculer l'isolement effectif ainsi que l'épaisseur de l'enroulement. C'est ainsi que, connaissant le nombre de couches de fil d'un enroulement donné (facilement calculé à l'aide du tableau 54), et sachant que pour chaque couche de fil il faut enrouler une couche de papier (ou plusieurs, selon la tension), il sera facile de connaître l'épaisseur totale du papier nécessaire et de calculer, avec une bonne approximation, l'encombrement du bobinage.

Pour réaliser l'isolement entre les divers enroulements d'un même transformateur (par exemple, entre un secondaire, haute tension et un secondaire basse tension, ou entre un enroulement en fil fin et un autre en gros fil), on préfère employer du carton paraffiné ou du verni ou, encore, de la toile isolante.

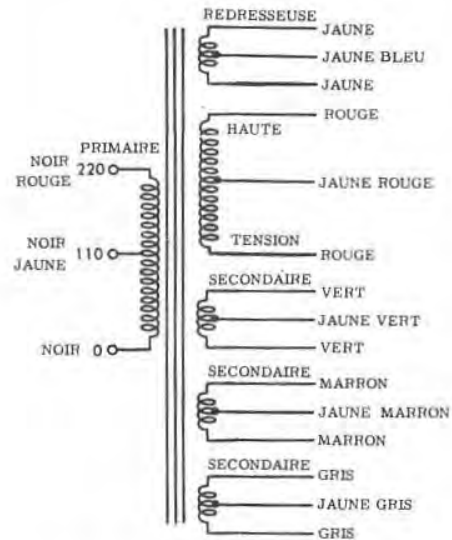
CODE DES COULEURS POUR FILS DE SORTIES DES TRANSFORMATEURS

Pour reconnaître rapidement les fils de sorties des divers enroulements d'un transformateur, des codes spéciaux ont été créés, principalement aux USA.

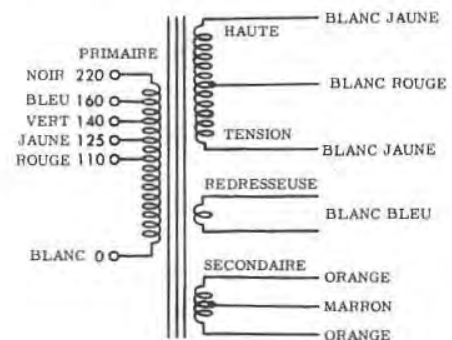
La figure 1 illustre le schéma électrique d'un transformateur et donne la couleur des fils suivant un code adopté par la majorité des constructeurs américains.

On remarquera que le primaire comporte deux prises (110 et 220 volts) qui correspondent aux deux tensions normalisées des réseaux de distribution électrique aux USA. Nous avons représenté quatre secondaires, mais ceux-ci peuvent également être en nombre inférieur (rarement supérieur). Dans chaque cas, un des secondaires basse tension (5 volts, en général) sert au chauffage du filament de la valve redresseuse (nous verrons, sous peu, de quoi il s'agit), tandis que les autres enroulements secondaires peuvent être utilisés pour le chauffage des lampes amplificatrices, des lampes témoins, etc...

L'enroulement secondaire haute tension fournit la « tension anodique » nécessaire au fonctionnement des lampes (ce que nous étudierons très bientôt) et il est facilement reconnaissable.



Les couleurs mentionnées sont celles de l'isolant (coton ou plastique) recouvrant les fils sortant du transformateur.



La figure 2 donne le schéma et les couleurs des fils d'un autre type de transformateur d'alimentation comportant un plus grand nombre de prises au primaire, permettant son adaptation aux diverses tensions des réseaux de distribution électrique. Il ne possède que trois secondaires: un pour la haute tension, un pour le chauffage du filament de la valve redresseuse et le troisième pour le chauffage des lampes.



La figure 3 représente un auto-transformateur employé pour l'alimentation des récepteurs du type « économique ». Dans ce cas, toutes les tensions sont obtenues à partir d'un enroulement unique lequel comporte un enroulement constitué par des fils de sections différentes selon l'intensité du courant nécessaire (ce type de transformateur sera étudié plus tard).

Notre REVUE DE TECHNIQUE RADIO vous apportera chaque année:

- 52 leçons et exposés théoriques
- 52 leçons de technique appliquée
- 52 leçons de réalisations pratiques, de schémas et de références
- 52 exercices de révision, avec réponses aux questions posées
- Un Dictionnaire Anglais-Français d'Electronique, etc...

soit un total de plus de 1 872 pages de texte, figures ou tableaux, dans lesquelles seront traités, entre autres sujets:

Les transistors, les organes les plus récents, les plus révolutionnaires parmi les réalisations de l'Electronique. L'emploi des transistors s'étend rapidement: de très nombreux récepteurs et amplificateurs du commerce en sont dotés et leur nombre est, indubitablement, destiné à aller croissant car, de plus en plus, les transistors remplaceront les lampes thermoniques. Il est, en conséquence, nécessaire que le radiotechnicien les connaisse, sache les utiliser, se rende compte pourquoi et comment ils diffèrent d'une lampe, soit tenu au courant des divers types et de leurs caractéristiques. Nous décrirons de nombreux montages de récepteurs, d'émetteurs et de dispositifs électroniques à réaliser avec des transistors.

Une autre technique en pleine évolution est celle dite: **Haute Fidélité**. Les exigences, en ce qui concerne la fidélité de la reproduction sonore, sont devenues nettement plus grandes. Le matériel employé dans la partie Basse Fréquence des nombreux récepteurs, dans les amplificateurs ou reproducteurs de toutes sortes, est allé constamment en se perfectionnant: il en est résulté de nouvelles techniques, de nouveaux circuits ou procédés qu'il faut connaître. Nous citerons, en particulier, **l'enregistrement magnétique** qui a vu le développement rapide des magnétophones, auquel fait pendant, dans la bataille entre le ruban et le disque, le microsillon. Récemment, tous deux ont encore affiné leur technique avec la **production stéréophonique**.

Ces derniers temps, ont fait apparition des récepteurs et amplificateurs construits selon la technique des **circuits imprimés**. Ce sont des plaquettes en matière isolante sur lesquelles les connexions nécessaires à la liaison entre les divers éléments sont imprimées, sous la forme de conducteurs obtenus suivant certains procédés de la technique de l'imprimerie. Il est évident que ces circuits — adoptés parfois seulement pour une partie de l'appareil — permettent une réduction importante du prix de revient si le matériel est construit en grande série. On conçoit donc que le technicien doive, d'ores et déjà, savoir quels sont les points délicats et comment il doit se comporter au regard de ces nouvelles méthodes de construction. Notre Revue, le moment venu, étudiera ce procédé et illustrera ses moindres détails.

Une des activités les plus attrayantes dans le domaine de la Radio est celle de **l'Emission d'Amateur**. Tout le monde peut obtenir une autorisation d'émission en passant un examen facile sur les sujets et les matières exposées en détail dans notre Revue, mais nous ne nous limiterons pas simplement à la préparation à cet examen: nous donnerons des descriptions d'émetteurs, de récepteurs faciles à construire; nous ferons connaître les règlements qui régissent cette activité, les caractéristiques du matériel spécial, les préfixes, abréviations, etc... Rappelons que le **Trafic** c'est-à-dire les communications à distance entre les Amateurs du monde entier, est la forme la plus suggestive et la plus passionnante de l'activité dans le domaine de la Radio; c'est une activité qui conduit, le plus souvent, à la formation des techniciens les plus capables, comme le démontre amplement l'expérience. C'est, de ce fait, un passe-temps de la plus haute valeur instructive qui, dans le même temps, favorise les liens d'amitié entre les Amateurs de tous les continents.

Une forme particulière de cette activité est la **télécommande des modèles réduits**. Cette branche compte également de nombreux passionnés, et le sujet ne sera pas négligé, ni pour celui qui pratique déjà cette technique, ni pour celui qui désire s'y initier.

Les instruments et **appareils de mesure** sont, c'est évident, d'une importance capitale. Sans eux, on peut dire que toute activité et toute notion sont vaines et incomplètes dans notre domaine: l'ingénieur et l'amateur, le dépanneur et l'installateur et même le commerçant averti ont tous besoin d'effectuer des contrôles d'efficacité, des mesures de rendement, des vérifications, des recherches de pannes, des étalonnages, mises au point, etc... toutes opérations qui se font au moyen d'appareils de mesure. Il existe naturellement, pour chaque opération, des instruments particuliers et nous en donnerons les détails de construction, la technique à employer, ainsi que leur utilisation dans des cas généraux ou particuliers. Nous traiterons, ainsi, des méthodes de **mise au point** et de la **recherche des pannes**.

C'est un fait connu que les laboratoires de recherches appliquées les plus avancés et les plus fameux du monde sont ceux des Etats-Unis. De ce pays arrivent les découvertes les plus sensationnelles dans le domaine de la radio, de même que les applications, les schémas qui font suite à ces découvertes lorsqu'elles passent dans le domaine de l'exploitation et du développement industriel. Et, bien qu'il soit de la plus grande utilité, pour un technicien, de connaître la langue anglaise et de pouvoir suivre le progrès directement dans les revues américaines, celui qui ne connaît pas cette langue pourra tout de même interpréter suffisamment les schémas et les indications importantes s'il a la possibilité de consulter un **dictionnaire technique Anglais - Français**. C'est ainsi que nous publierons, dans chaque fascicule, quatre pages de vocabulaire et termes techniques avec leurs traductions, et nous sommes certains que cela se révélera utile même à ceux qui connaissent la langue.

IMPRIME PAR G.T.C. - MILAN - DEPOT LEGAL EDITION N. 34 - 2^{ème} TRIM. 1965



Les anciens
Numéros
sont vendus
au même prix
de couverture: 1 F. 60



Les anciens
Numéros
sont vendus
au même prix
de couverture: 1 F. 60



DEMANDEZ LES NUMEROS QUI VOUS MANQUENT AUX EDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE - PARIS 6^e

IMPORTANT : si les prochains numéros vous intéressent, avisez dès à présent votre fournisseur.