

2.4. Les transformateurs

2.4.1. Généralités

Si nous branchons une bobine sur une source de courant alternatif, il y aura un courant alternatif dans la bobine et un champ magnétique alternatif.

Si nous disposons une seconde bobine dans ce champ magnétique, une tension y sera induite. C'est le principe du **transformateur**¹².

Mais dans ce dispositif seul une petite partie du flux magnétique coupe la bobine du secondaire. On améliore alors le dispositif en plaçant les deux bobines sur un noyau magnétique.

Lorsque deux bobines se trouvent ainsi l'une près de l'autre, on dit alors que les deux bobines sont couplées, et qu'il existe entre elles une **inductance mutuelle**.

Le rapport entre l'inductance mutuelle et l'inductance mutuelle maximale obtenue lorsque tout le flux magnétique traverse l'autre bobine est appelé **coefficient de couplage**.

Dans un transformateur on essaie que ce facteur de couplage soit le plus élevé possible, c.-à-d. qu'il soit voisin de 1. C'est pour cette raison que les deux bobinages sont sur un noyau magnétique. Ce noyau magnétique peut être constitué de tôles ou de matériaux magnétiques (voir les bobinages).

Tout transformateur possède donc au moins deux enroulements : un enroulement primaire et un enroulement secondaire (raccordé à l'utilisation). La figure ci-contre montre les 3 symboles utilisés pour les transformateurs.

Dans un transformateur, l'énergie peut être transférée d'un circuit vers un autre sans connexion galvanique, c.-à-d. sans contact.

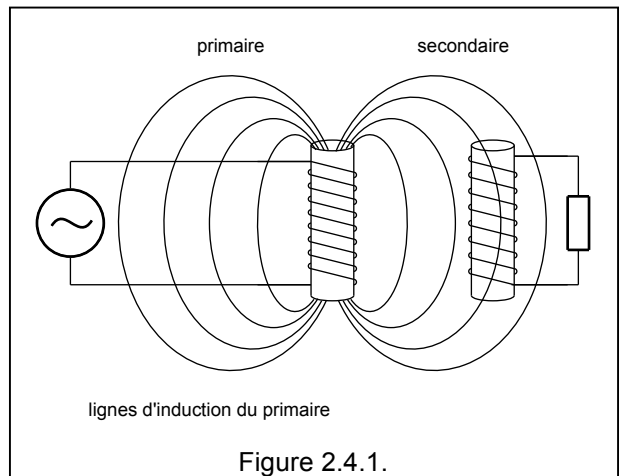


Figure 2.4.1.

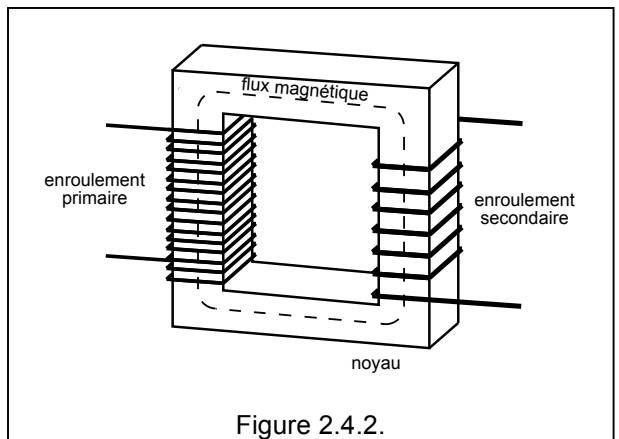


Figure 2.4.2.

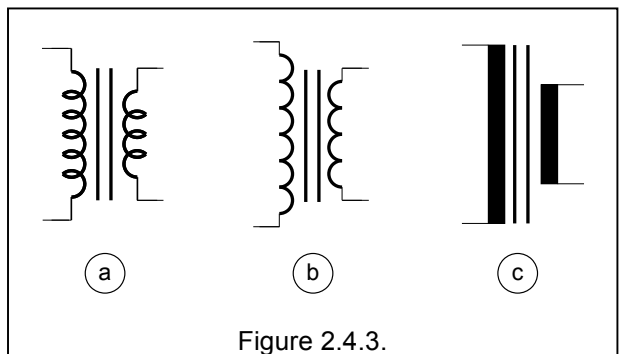


Figure 2.4.3.

On dit d'un transformateur est un transformateur parfait si toute la puissance du primaire se retrouve au secondaire, c'est-à-dire

$$\text{transformateur parfait} : P_{\text{primaire}} = P_{\text{secondaire}}$$

La puissance d'un transformateur est exprimée en **VA** c.-à-d en Volt-Ampère ou en multiples.

¹² On dit aussi "transfo".

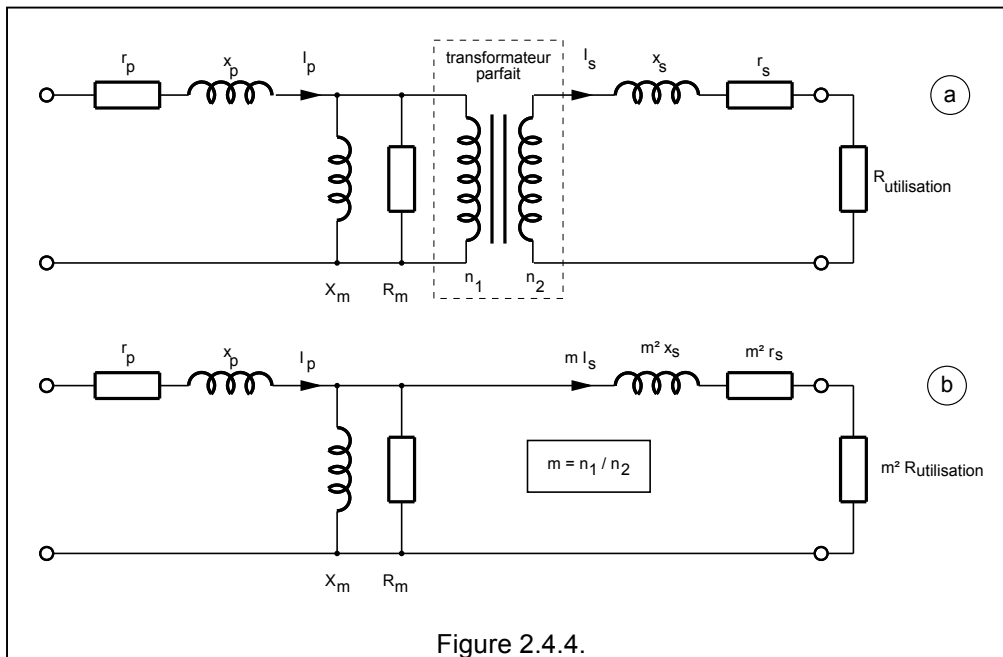
Il faut toutefois savoir qu'en réalité il n'en est pas exactement ainsi dans un transformateur réel :

- une partie de la puissance est perdue par l'effet Joule, en effet le courant I_p qui circule dans le bobinage primaire de résistance interne r_p produit une puissance thermique égale à $r_p I_p^2$. Il en est de même au secondaire où r_s produit une perte $r_s I_s^2$. Les pertes totales sont donc égales à $r_p I_p^2 + r_s I_s^2$ et sont appelées des "**pertes dans le cuivre**".
- une autre partie de la puissance est perdue par les courants de Foucault. Le champ magnétique coupe également le noyau et induit des courants dans les tôles du noyau. Ce courant produit aussi une certaine quantité de chaleur qui chauffe les tôles. C'est pour réduire ces pertes que le noyau est constitué de tôle. Ces pertes dépendent de la nature des tôles utilisées pour le noyau, ou de la nature du noyau ferrite. Ces pertes sont appelées les "**pertes dans le fer**". On peut représenter ces pertes comme une résistance R_m en parallèle sur le primaire.

Enfin pour trouver le schéma équivalent il faut aussi tenir compte de

- X_m représente l'inductance due au flux magnétique dans le noyau
- L_p et L_s représente les réactances de fuite réelles

Ainsi donc le schéma équivalent d'un transfo devient :



Le rendement d'un transformateur (P_{sec} / P_{prim}) traduit donc les effets de ces pertes.

- les tout petits transformateurs (< 10 VA) ont des rendements de l'ordre de 50 à 60 %.
- les transformateurs de 20 à 200 VA ont des rendements de 70 à 80 %
- les transformateurs de forte puissance (> 500 VA) ont des rendements de l'ordre de 90 à 95 %

Pour un transformateur réel on a donc

$$P_{primaire} = P_{secondaire} + \text{pertes}_{fer} + \text{pertes}_{cuivre}$$

Comment détermine t'on les pertes cuivre et les pertes fer ?

Pour mesurer les pertes cuivres, on court-circuite le secondaire et on alimente le primaire du transfo par une tension réduite de telle façon que le courant primaire soit égal au courant nominal. La puissance mesurée au primaire est alors égale aux pertes dans le cuivre.

Pour mesurer les pertes dans le fer, il suffit de laisser le secondaire du transfo ouvert et de mesurer la puissance au primaire.

2.4.2. Relations entre les tensions, les courants et les impédances

La formule de base qui régit les transformateurs

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

mais un transformateur permet aussi d'adapter l'impédance c.-à-d. que l'impédance vue du côté primaire du transformateur ou d'une façon encore plus générale.

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

Exemples :

- 1) Un transformateur d'alimentation (50 Hz ou 60 Hz) possède 100 spires au primaire et 2000 spires au secondaire. Ce transformateur est alimenté par 120 V. Calculez la tension au secondaire ?

$$U_s = U_p (n_s / n_p) = 120 (2000/100) = 120 \times 20 = 2400 \text{ V}$$

Dans ce cas nous avons un transformateur élévateur (sous entendu de tension)

- 2) Un autre transformateur d'alimentation (50 Hz ou 60 Hz) possède 100 spires au primaire et 20 spires au secondaire. Ce transformateur est alimenté par 120 V. Calculez la tension au secondaire ?

$$U_s = U_p (n_s / n_p) = 120 (20/100) = 120 \times 0,2 = 24 \text{ V}$$

Dans ce cas nous avons un transformateur abaisseur (sous entendu de tension)

- 3) On a un transformateur 220 V / 24 V. Du côté secondaire (24 V), le courant est de 10 A. Quel est le courant au primaire ?

$$I_p = I_s (n_s / n_p) = 10 (220/24) = 91,66 \text{ A}$$

4) On a un transformateur 220 V / 3500 V. Du côté primaire (220V), le courant est de 25 A. Quel est le courant au secondaire ?

$$I_s = I_p (n_p / n_s) = 25 (220 / 3500) = 3,9 \text{ A}$$

5) On a un générateur qui fournit 100 V et sa résistance interne est de 10.000 Ω. On doit adapter ce générateur à une impédance de 400 Ω. Calculez le rapport de transformation et calculez la tension au secondaire.

$$n_p / n_s = \sqrt{Z_p / Z_s} = \sqrt{10000 / 400} = \sqrt{25} = 5$$

La tension au secondaire sera donc de 100 / 5 = 20 V

6) On a un transformateur audio dont l'impédance du primaire est de 2000 Ω et le rapport de transformation est de 24. Calculez l'impédance du secondaire.

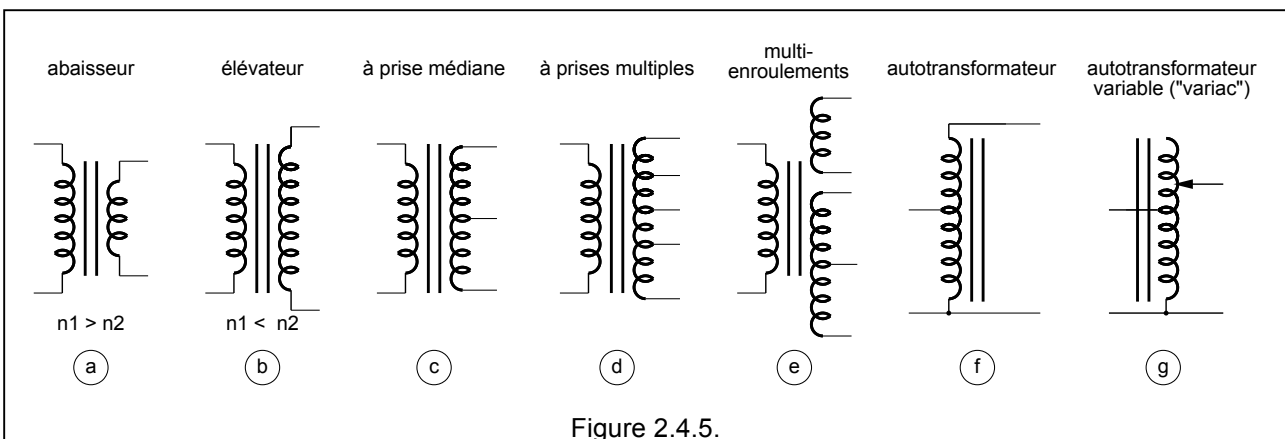
$$Z_s = Z_p (n_s / n_p)^2 = 2000 (1 / 24)^2 = 3,47 \text{ } \Omega . \text{ En pratique on pourra donc brancher un haut parleur de } 4 \text{ } \Omega , \text{ entre } 3,47 \text{ et } 4 \text{ il ne devrait pas y avoir une trop grande désadaptation.}$$

2.4.3. Les différents types de transformateurs

2.4.3.1. Classification d'après les enroulements

On peut distinguer :

- le transformateur abaisseur de tension où $n_2 < n_1$
- le transformateur élévateur de tension où $n_2 > n_1$
- le transformateur à prise médiane
- le transformateur à prises multiples
- le transformateur à enroulements multiples
- l'autotransformateur
- l'autotransformateur variable



2.4.3.2. Les transformateurs à la fréquence du secteur

Les transformateurs à la fréquence du secteur (50 Hz ou 60 Hz) ont des noyaux en minces tôles d'un alliage fer et de silicium (2 à 5% Si). L'épaisseur des tôles se situe entre 0,35 et 0,5 mm.

Pour les transfos (monophasés) de forte puissance (de 100 VA à 2 kVA), on utilise des tôles de forme "EI" (fig. a). En donnant un dimensionnement correct, on peut arriver à faire des tôles "sans déchets" (fig. b), le transfo a alors un format $6a \times 5a$. Les tôles EI sont empilées en quinconce de façon à ne pas avoir tous les entrefers d'un même côté (fig. c).

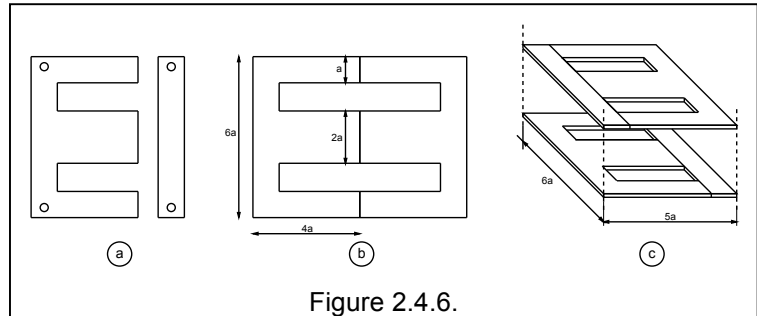


Figure 2.4.6.

Remarquons que la "colonne centrale" du transfo a une largeur $2a$, alors que les colonnes latérales n'ont d'une largeur de a .

En général on essaie d'avoir une hauteur de tôle empilée (h) voisine de la largeur de la colonne centrale ($2a$).

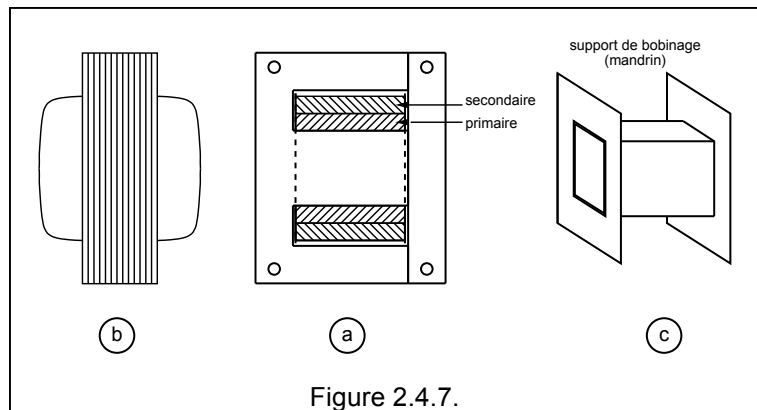


Figure 2.4.7.

En pratique, on utilise un mandrin en carton imprégné ou en plastic (fig. c) sur lequel on bobine le primaire, puis le secondaire et on intercale les tôles EI en quinconces.

Pour les transfos de faible puissance ($< 150 \text{ VA}$) on peut soit utiliser des tôles de formes EI comme expliqué plus haut. Mais notons que le rapport $6a / 5a$ ne doit pas nécessairement être respecté (tant pis pour le gaspillage!).

Mais pour les transfo de faible puissance on peut aussi utiliser des tôles de type "M" (fig. a) ou de type "MD". Lors de l'assemblage les tôles sont déformées de façon à venir remplir le mandrin.

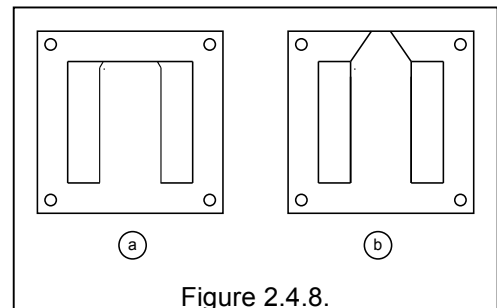


Figure 2.4.8.

L'entrefer peut être la source de fuites magnétiques, et le transformateur Philbert permet de réduire ces fuites en plaçant les entrefers à l'intérieur de bobinages et en évitant les arrêtes. Les tôles ont ici la forme de J.

Les tôles d'un transformateur sont maintenues

- soit par des tiges filetées
- ou, pour les petites puissances ($< 50 \text{ VA}$) par un cerclage en tôle emboutie comme indiqué à la figure ci-contre.

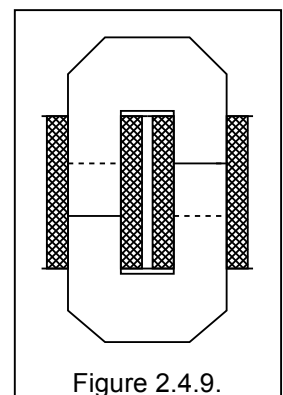


Figure 2.4.9.

Enfin le transfo torique possède un noyau constitué d'une mince lame de fer au Si (0,3 à 0,5 mm) enroulée sur elle-même (figure a). Ce noyau est garni d'un gabarit en carton et/ou d'une mince feuille de mylar (ou de plastic) pour éviter de blesser le bobinage et pour l'isoler.

On bobine alors sur ce noyau le primaire et le secondaire (figure b).

Le transfo terminé prend l'apparence de la figure c.

La figure d montre la coupe. Une tôle préformée permet de fixer le transfo torique dans un boîtier. Notez également deux feuilles de caoutchouc pour éviter d'endommager le bobinage (figure d).

Les avantages du transformateur torique sont :

- gain de poids,
- dimensions plus réduites
- fixation par une seule vis
- un rendement électrique supérieur.

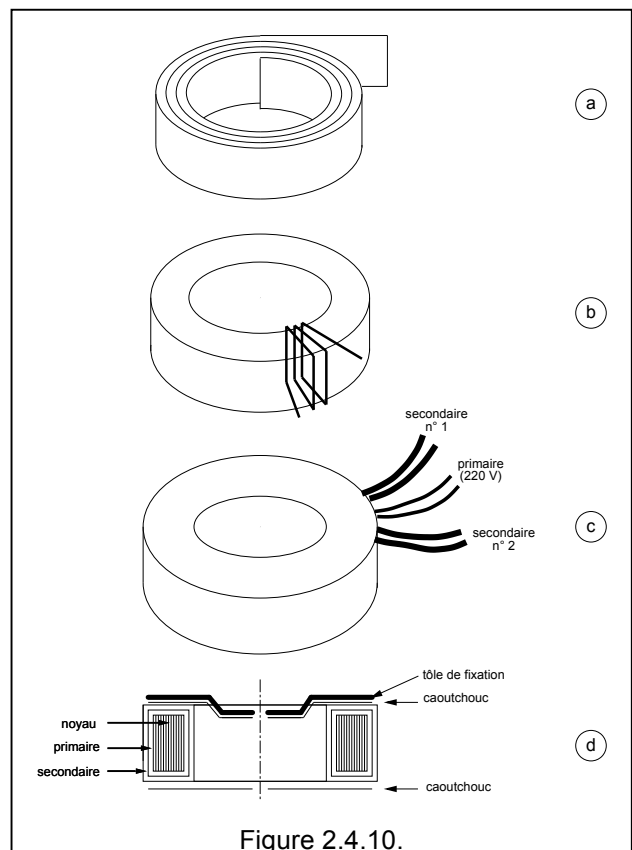


Figure 2.4.10.

Finition des transformateurs

- pour les connexions on trouve des plaques à bornes pour les transfos de fortes puissances, des cosses à souder pour les transfos d'alimentation ou des picots pour les transfos enrobés.
- les transformateurs sont souvent imprégnés, c-à-d recouvert d'une laque ou d'un vernis.

La question concernant la fréquence du réseau

Un transfo conçu pour 60 Hz (appareils importés des Etats-Unis) aura un noyau magnétique un peu moins important que celui qui aura été conçu pour 50 Hz.

Si on applique du 50 Hz à un transformateur conçu pour 60 Hz et qu'on essaye d'en "tirer" la puissance nominale, ce transformateur va chauffer. A la longue ce transformateur peut même brûler. Au contraire si on applique du 60 Hz à un transformateur conçu pour 50 Hz, il n'y aura aucun problème et on pourra en "tirer" la puissance nominale.

Dans les avions, la fréquence est de 400 Hz, ce qui veut dire que dans ces transformateurs il y a encore moins de fer et que leur fonctionnement sur 50 ou 60 Hz est totalement incompatible.

La question de la tension nominale

Si on utilise un transfo sous une tension supérieure à celle prévue par le constructeur, le flux magnétique sera plus important, les pertes seront plus importantes, mais aussi le noyau sera plus fortement saturé. Une tolérance de + 10% est cependant tout à fait acceptable. Donc un transfo prévu pour 220 V peut parfaitement fonctionner sous 240 V. Bien sûr si on augmente la tension d'entrée de 10%, la tension au secondaire sera également plus élevée de 10 % ! $U_1 / U_2 = n_1 / n_2$ reste valable !

Il n'y a pas d'inconvénient à alimenter un transfo sous une tension plus faible que la tension nominale, mais on ne pourra évidemment pas obtenir la même puissance.

2.4.3.3. Les applications spéciales des transformateurs à la fréquence du secteur :

- transformateur d'isolement** : Un transformateur d'isolement permet de résoudre les problèmes de d'isolation galvanique. Si par exemple il faut mettre un des conducteurs à la masse, il est préférable de passer par un transfo d'isolement. Les transfos d'isolement sont aussi utilisés dans les laboratoires, pour permettre de raccorder par exemple la masse de l'oscilloscope à la terre et pour ne pas avoir à le laisser à un potentiel flottant.

Les transfos d'isolement permettent aussi (parfois) d'adapter la tension (110, 130, 220, 240 ou 380 Volt) (fig. b).

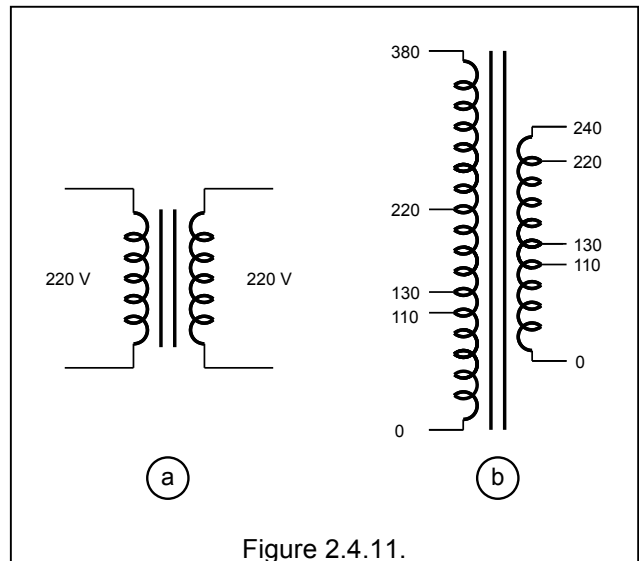


Figure 2.4.11.

- autotransformateur** : Dans un autotransformateur le primaire et le secondaire du transformateur utilisent une partie du bobinage en commun. L'autotransformateur peut être élévateur de tension ou abaisseur de tension. Les propriétés de l'autotransformateur sont :

- le primaire et le secondaire ne sont pas isolés,
- à puissance égale un autotransformateur est plus petit qu'un transformateur. L'autotransfo sera plus léger et moins coûteux.

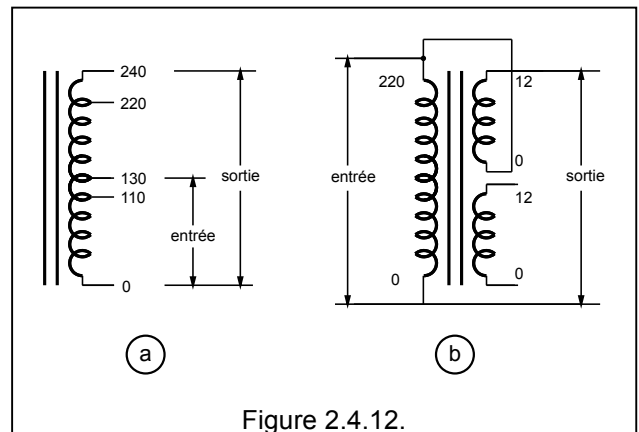


Figure 2.4.12.

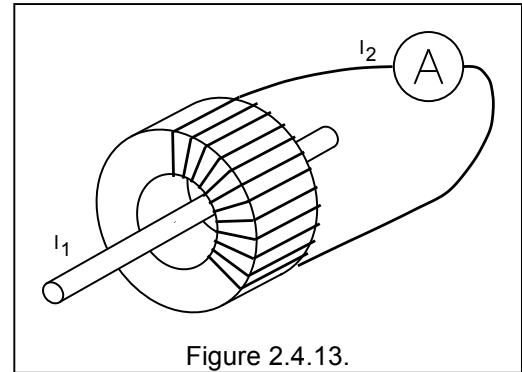
On utilise essentiellement des autotransformateurs:

- pour alimenter des appareils électriques qui étaient prévus pour une autre tension: par exemple pour alimenter des vieux appareils 110 V à partir du 220 V ou inversement.
- on peut aussi utiliser un autotransformateur en voyage pour alimenter des appareils électriques qui ne marchent qu'en 220 V sur un réseau à 110 V.
- pour rattraper la tension en bout de ligne. Supposons que l'on soit très loin de la cabine de transformation de la compagnie d'électricité et que la tension soit de 190 V au lieu de 220 V. Dans ce cas on peut utiliser un autotransfo pour "regagner" ces quelques 30 Volts. Le montage de la figure b montre comment utiliser un transfo "ordinaire" en auto transfo pour regagner 12 V à la sortie. En fonction de la phase relative des deux bobines on pourrait "gagner" ou "perdre" ces 12 V. En utilisant le 2eme enroulement secondaire, et en respectant les phases, on pourrait regagner 24 V.
- autotransformateur variable** : il s'agit d'un autotransformateur qui possède un curseur. Le bobinage est réalisé sur un noyau cylindrique et le fil est dénudé pour former une piste sur laquelle glisse un curseur (un peu comme le curseur d'un potentiomètre). Ce type de transfo est parfois appelé **variatic**.

L'autotransformateur variable est utilisé dans les laboratoires pour faire des tests d'alimentations par exemple.

- **transformateur d'intensité (TI)** : Ce transfo est utilisé pour la mesure de courants alternatifs au-delà de 10 A. (voir aussi chapitre 8). Le primaire est constitué par le conducteur principal parcouru par une forte intensité. En général ce conducteur ne fait que passer au travers du transfo d'intensité (ce n'est donc qu'une spire). Le secondaire est branché sur un ampèremètre avec un calibre de 1 à 5 A.

Un transfo d'intensité, se caractérise donc par un rapport de courant on parlera d'un TI de 100 /1 A par exemple. Etant donné que le TI se place sur un conducteur existant, la forme la plus adaptée est le transfo toroïdal.



Le secondaire d'un TI ne doit jamais rester en circuit ouvert.

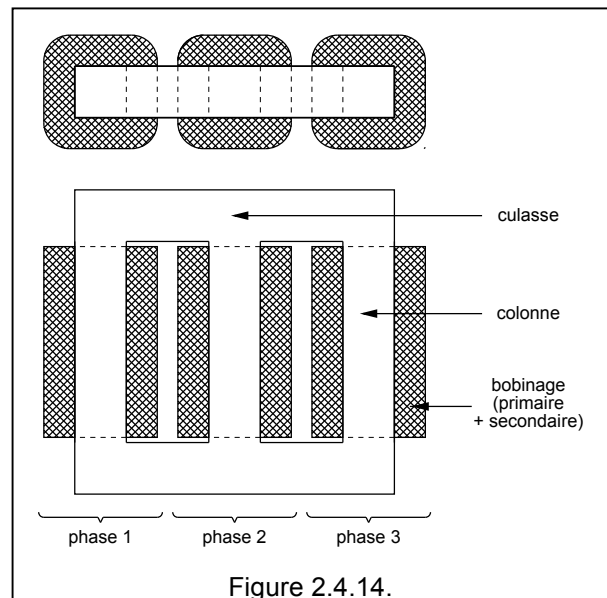
La pince ampère métrique n'est rien d'autre qu'un transfo d'intensité que l'on peut mettre autour d'un conducteur et ce de façon à ne pas devoir couper le conducteur.

- **transformateur triphasé¹³** : Les transfo triphasés comportent trois bobinages au primaire et 3 bobinages au secondaire.

Ces bobinages sont montés en étoile ou en triangle.

Les 3 colonnes du transfo ont la même section (à comparer avec le transfo monophasé à tôles EI).

Au-delà d'une certaine puissance, il est nécessaire de refroidir le transformateur soit par une circulation d'air forcée, soit par de l'huile. Mais ceci n'est plus de l'électronique c'est du "courant fort".

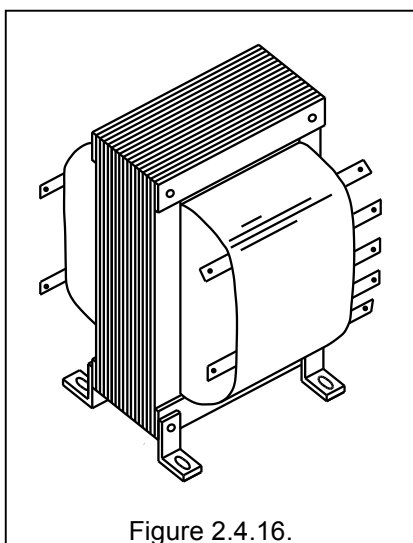
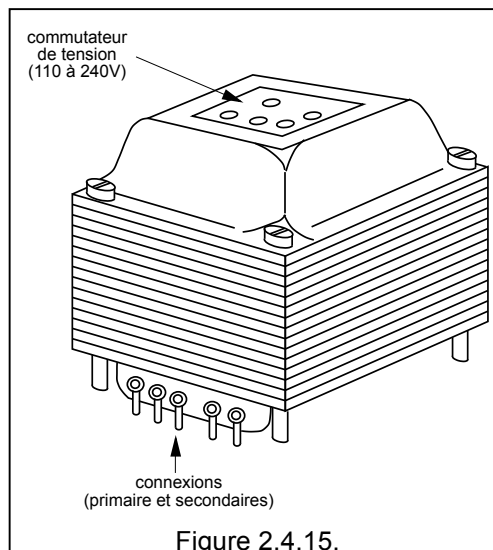


¹³ Il va de soi que les transformateur triphasés sont presque toujours utilisés pour des fortes puissances (> 1kVA).

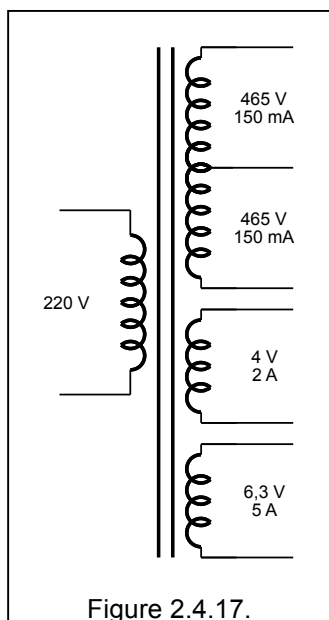
2.4.3.4. Les transformateurs d'alimentation

On appelle **transformateur d'alimentation**¹⁴ les transformateurs qui servent à adapter la tension du secteur aux montages électroniques. La tension du secteur (généralement 220V~) ne convient pas directement pour alimenter un montage, pour les équipements à tubes, elle est trop faible et pour les équipements à transistors, elle est trop élevée.

La figure ci-contre représente un transformateur semi-blindé avec un commutateur de tension pour la tension d'entrée (110 à 240 V). Les bornes sont situées en dessous.



La figure ci-contre (à gauche) représente un transformateur utilisé pour les petits montages à tubes (ampli, récepteurs, appareils de mesure, etc ..).



Typiquement pour un récepteur radio à tubes, un tel transfo comporte

- un enroulement à prise médiane pour la haute tension, avec une tension alternative de 2 x 250 à 2 x 500 V sous des courants de 100 à 200 mA
- un enroulement 4 V sous 2 A qui servira pour le chauffage du tube redresseur
- un enroulement 6,3 V sous 5 A qui servira pour les filaments des autres tubes

Pour les montages à tubes, le redresseur double alternance est le plus facile à réaliser. On utilise pour cela une double diode à cathode commune. La cathode étant alors à un potentiel très élevé, il faut un enroulement séparé pour le chauffage de ce tube.

Pour les amplificateurs de puissance (utilisés par les radioamateurs), la valeur de la haute tension, le courant à fournir et donc la puissance sont plus importants. La taille du transfo est donc également plus importante que celle d'un transfo pour un récepteur!

¹⁴ L'expression "transformateur d'alimentation" est peut être un pléonasme puisque tout transfo sert à alimenter quelque chose. Mais cette expression est utilisée par opposition aux transformateurs utilisés dans la distribution du courant industriels ou pour les autres applications électriques.

Une autre réalisation est représentée ci-contre. Ici les tôles ne sont pas maintenues par des tiges filetées, mais par une carcasse emboutie. Ce genre de transfo n'est utilisé que jusqu'à des puissances de l'ordre de 50 VA.

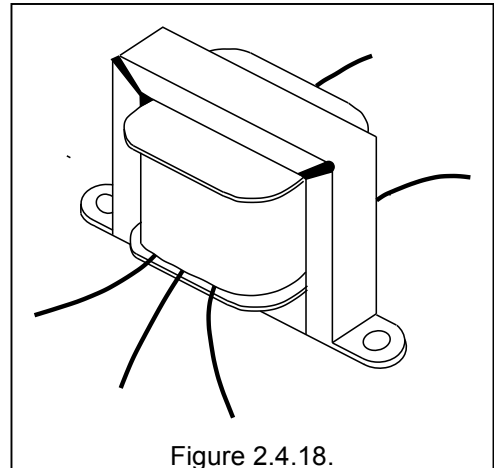


Figure 2.4.18.

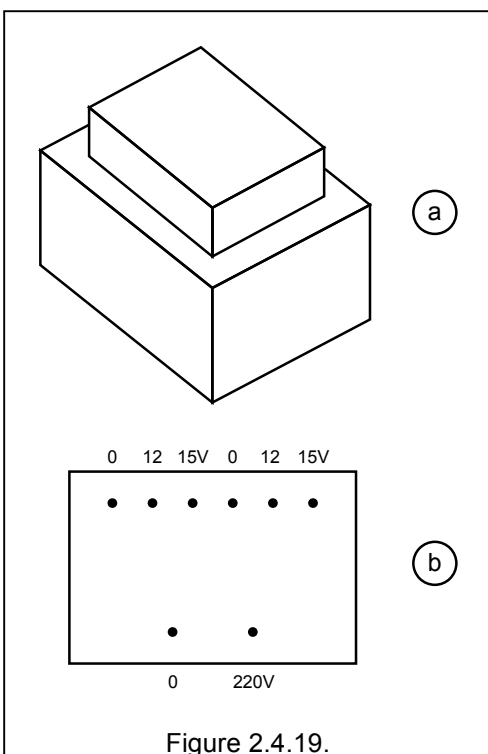


Figure 2.4.19.

Encore pour les faibles puissances (jusqu'à environ 50 VA) les transfos sont souvent moulés. Partant d'un transfo comme représenté ci-dessus, on l'enrobe simplement dans un bloc de résine. On ne distingue alors plus de tôles ni d'enroulements, il n'y a plus rien à voir ! (fig. a)

Seuls restent visibles les picots de connexions (fig. b).

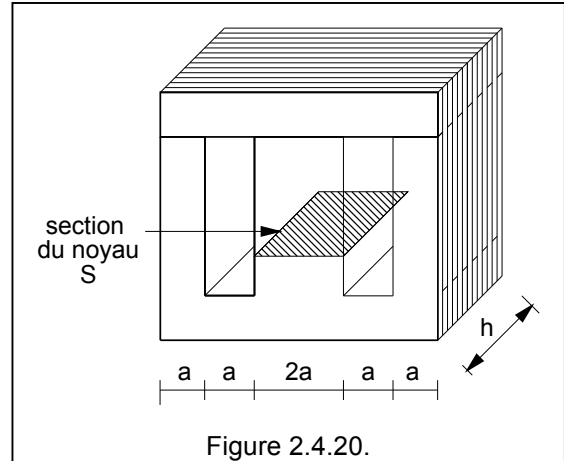
Pour l'alimentation des circuits à transistors, on a besoin de tension beaucoup plus faible. Ces transfos ont des puissances de 1 à 100 VA (environ) et les tensions au secondaire vont (typiquement) de 5 à 35 V.

Les transformateurs utilisés en électronique et dans le domaine des radioamateurs vont de quelques VA à quelques centaines de VA.

2.4.4. Méthode de calcul pour un transfo de petite ou moyenne puissance

- on calcule la puissance au secondaire ou on fait la somme des puissances au secondaire s'il y a plusieurs enroulements secondaire
- on tient éventuellement compte d'un facteur d'utilisation (voir plus loin dans le cas d'un émetteur CW/SSB)
- on détermine la puissance au primaire $P_p = P_s \eta$ où η est le rendement (75 à 95 %)
- on calcule la section du noyau ("section fer") :
$$S_{Fe} (cm^2) = 1,2 \dots 1,3 \sqrt{P_p (W)}$$
- on choisit (dans le catalogue d'un fournisseur) le type de tôle et les dimensions, en veillant que la hauteur h soit à peu près égal à $2a$. On corrige éventuellement la S_{Fe} en prenant cette fois la vraie section.
- on calcule le nombre de spires par Volt :
$$n = \sqrt{27} B_{max} S_{Fe} \omega$$

avec $B_{max} \approx 1,2$ à $1,6$ Wb/m²
- on calcule le nombre de spires pour chaque enroulement
- et pour le fil de bobinage on choisit généralement une densité de courant de l'ordre de 4 A/mm² pour les petits transfos (jusqu'à 50 VA) à 2 A/mm² pour les transfos à partir de 500 VA



2.4.5. Les transformateurs audio

Pour les fréquences audio, on utilise soit des transformateurs avec des noyaux de fer ou avec des noyaux en ferrites. La principale caractéristique est la bande passante à transmettre. Un transfo audio pour la Hi-Fi doit par exemple laisser passer de 20 Hz à 20000 Hz.

En audio on utilise essentiellement les transfos

- pour adapter l'impédance, par exemple l'impédance d'un amplificateur audio de puissance à l'impédance du haut parleur
- pour isoler galvaniquement un montage d'un autre, par exemple la sortie d'un récepteur avec l'entrée de la carte son d'un ordinateur

Le classique transfo 600 Ω / 600 Ω initialement destiné aux lignes téléphoniques permet une isolation galvanique. La puissance qu'il peut supporter est évidemment très faible (de l'ordre de 0,1 W).

2.4.6. Les transformateurs FI et HF

Les transformateurs sont également utilisés dans les étages moyenne fréquence des récepteurs, toutefois il s'agit de transformateurs accordés. Les fréquences typiquement utilisées sont 455 kHz pour les récepteurs OL/OM et 10,7 MHz pour les récepteurs FM. Dans les récepteurs OC (et plus spécialement ceux pour radioamateurs) on trouve encore d'autres valeurs standard de FI. Pour l'instant considérons uniquement le problème sous l'angle "transformateur".

La figure a ci-contre représente un tel transformateur pour un circuit à tubes. Les deux circuits sont généralement identiques.

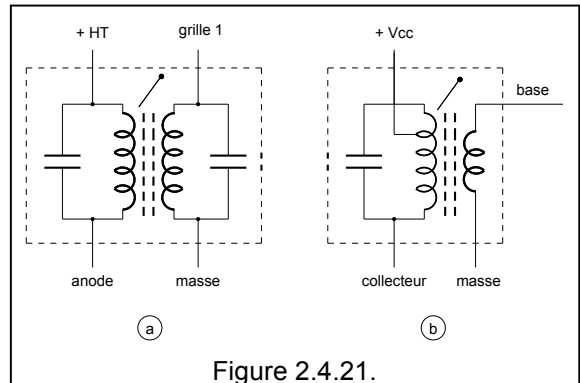


Figure 2.4.21.

La figure b représente un transformateur pour circuits à transistor. Les montages à transistors (et notamment le montage EC) ayant une impédance de sortie "moyenne", et afin d'avoir une bande passante relativement étroite (9 kHz en AM, 300 kHz en FM) on utilise une prise intermédiaire sur le bobinage. Ceci permet de ne pas trop amortir le circuit accordé.

On trouve donc généralement un mandrin avec un noyau en poudre de fer et avec deux bobinages.

Pour 455 kHz on retrouve typiquement deux bobinages en nid d'abeille (voir ci-contre), tandis que pour 10,7 MHz on n'a que quelques spires de fil émaillé.

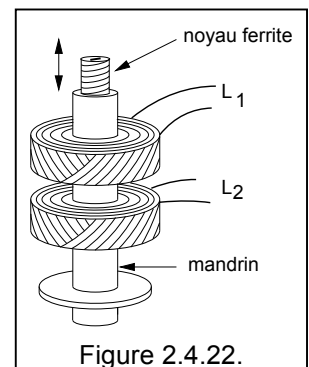


Figure 2.4.22.

Le tout est alors recouvert par un petit boîtier moulé en aluminium qui assure le blindage électrostatique et le blindage électromagnétique. Une ouverture permet d'avoir accès au réglage du noyau.

Nous reviendrons sur ce sujet au chapitre 4, lorsque nous verrons les récepteurs.

On utilise aussi des **transfos large bande**¹⁵. Ils sont généralement constitués d'un tore ou d'une ferrite à 2 trous :

Un autre exemple de transfo HF est le **balun**, ils sont généralement réalisés sur des tores en ferrites avec de bobinages bi ou tri filaires. Voir chapitre 6.

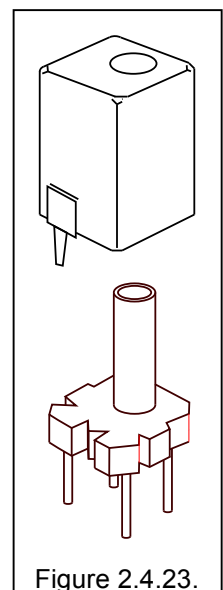


Figure 2.4.23.

¹⁵ Par opposition aux circuits accordés !

2.14. Le programme HAREC

Que faut-il connaître d'après le programme HAREC ?

CHAPITRE 2

2. COMPOSANTS

Vilnius
2004¹⁶

2.1 Résistance

- Résistance
- L'unité : l'Ohm
- Caractéristiques courant/tension
- Puissance dissipée
- Coefficient de température positive et négative [CTP et CTN]

-

2.2 Condensateur

- Capacité
- L'unité : le farad
- La relation entre capacité, dimensions et diélectrique (aspect qualitatif uniquement)
- La réactance [$X_C = 1 / 2 \pi f C$]
- Déphasage entre la tension et le courant
- Caractéristiques, des condensateurs, condensateurs fixes et variables : à air, au mica, au plastique, à la céramique et condensateurs électrolytiques
- Coefficient de température
- Courant de fuite
- Facteur de qualité Q

-

-

-

+

2.3 Bobine

- Bobine d'induction
- L'unité : le henry
- L'effet du nombre de spires, du diamètre, de la longueur et de la composition du noyau (effet qualitatif uniquement)
- La réactance : [$X_C = 2 \pi f L$]
- Déphasage entre la tension et le courant
- Facteur Q
- L'effet de peau
- Pertes dans les matériaux du noyau

-

-

2.4 Application et utilisation des transformateurs

- Transformateur idéal : [$P_{\text{prim}} = P_{\text{sec}}$]
- La relation entre le rapport du nombre de spires et
- le rapport des tensions
- le rapport des courants:
- le rapport des impédances (aspect qualitatif uniquement)
- Les transformateurs

2.5 Diode

- Utilisation et application des diodes
- Diode de redressement, diode Zener, diode LED [diode émettrice de lumière], diode à tension variable et à capacité variable [VARICAP]
- Tension inverse, courant, puissance et température

2.6 Transistor

- Transistor PNP et NPN
- Facteur d'amplification
- Transistor effet champ [canal N et canal P J-FET]
- La résistance entre le courant drain et la tension porte

-

¹⁶ Cette colonne indique la nouvelle matière ajoutée ou supprimée lors de la réunion CEPT de 2004.

- Le transistor dans :
- Le circuit émetteur commun [source pour FET]
- Le circuit base commune [source pour FET]
- Le circuit collecteur commun [drain pour FET]
- Les impédances d'entrée et de sortie des circuits précités
- Les méthodes de polarisation

-

2.7 Divers

- Dispositif thermoionique simple [valve]
- Circuits numériques simples
- Tensions et impédances dans les amplificateurs haute puissance à tubes, transformation d'impédance
- Circuit intégrés simples (y compris les amplificateurs opérationnels)

-

+

+

2.15a. Table des matières

2.1. Les résistances.....	3
2.1.1. Généralités.....	3
2.1.2. Les facteurs qui déterminent la résistance	5
2.1.3. Codes de marquage	8
2.1.3.1. Code des couleurs	8
2.1.3.2. Code à chiffres	10
2.1.4. Tolérance et valeurs normalisées	11
2.1.5. Types de résistances	13
2.1.5.1. Les résistances fixes	13
2.1.5.2. Les résistances réglables.....	16
2.1.5.3. Les résistances non linéaires	17
2.1.5.4. Les résistances spéciales	19
2.1.5.5. Résumé	21
2.2. Les condensateurs	23
2.2.1. Généralités.....	23
2.2.2. Les facteurs qui déterminent la capacité	24
2.2.3. L'énergie d'un condensateur.....	25
2.2.4. Le courant de fuite et les pertes.....	25
2.2.5. Fonction des condensateurs	26
2.2.6. Valeurs normalisées	26
2.2.7. Types de condensateurs.....	27
2.2.7.1. Les condensateurs à air	27
2.2.7.2. Les condensateurs au mica	27
2.2.7.3. Les condensateurs céramique	28
2.2.7.4. Les condensateurs au papier	29
2.2.7.5. Les condensateurs à film plastique métallisé.....	30
2.2.7.6. Les condensateurs électrolytiques	31
2.2.7.7. Les condensateurs au tantale	33
2.2.7.8. Les condensateurs variables.....	34
2.2.7.9. Les condensateurs ajustables.....	35
2.2.7.10. Les condensateurs de passages.....	36
2.2.7.11. Les condensateurs CMS	36
2.2.7.12. Résumé	37
2.2.8. Le condensateur en alternatif	38
2.3. Les bobines	39
2.3.1. Généralités.....	39
2.3.2. Les facteurs qui déterminent l'inductance.....	40
2.3.3. Influence du noyau.....	42
2.3.3.1. Les noyaux en tôle de fer	42
2.3.3.2. Les noyaux à poudre de fer.....	42
2.3.3.3. Les noyaux ferrites	44
2.3.3.4. Poudre de fer ou ferrite ?	47
2.3.3.4. Les noyaux en aluminium et en laiton	47
2.3.3.5. La saturation des noyaux	47
2.3.4. Blindage et influence du blindage	48
2.3.5. Fils pour la réalisation de bobinage	49
2.3.6. Le facteur de qualité Q.....	50
2.3.7. Les types de bobinages	51
2.3.7.1. Les bobinages en l'air	51
2.3.7.2. Les bobinages sur mandrin, avec ou sans noyau, avec ou sans blindage	51
2.3.7.3. Inductance d'un morceau de fil, microstrip et bobinages imprimés.....	52
2.3.7.4. Les bobinages avec noyau en oxydes magnétiques.....	52
2.3.7.5. Les pots ferrites.....	52
2.3.7.6. Les selfs de choc ou "RF chokes".....	53
2.4. Les transformateurs.....	55
2.4.1. Généralités.....	55
2.4.2. Relations entre les tensions, les courants et les impédances	57

2.4.3. Les différents types de transformateurs.....	58
2.4.3.1. Classification d'après les enroulements	58
2.4.3.2. Les transformateurs à la fréquence du secteur.....	59
2.4.3.3. Les applications spéciales des transformateurs à la fréquence du secteur :	61
2.4.3.4. Les transformateurs d'alimentation	63
2.4.4. Méthode de calcul pour un transfo de petite ou moyenne puissance.....	65
2.4.5. Les transformateurs audio	66
2.4.6. Les transformateurs FI et HF	67
2.14. Le programme HAREC.....	68
2.15a. Table des matières	70