

VII Le transformateur

VII.1 Le transformateur – l'induction mutuelle – généralités

Rappel du cours :

Le transformateur est un composant passif, non polarisé, composé d'au moins deux enroulements bobinés autour d'un même circuit magnétique. Ce circuit magnétique est composé, par ordre croissant de la fréquence du courant, d'un empilement de tôles minces, de ferrite ou d'air (pas de circuit magnétique représenté). Le transformateur est un cas particulier de bobines couplées. L'énergie est appliquée sur le **primaire** et est récupérée sur le ou les **secondaires**. Un transformateur ne transforme que des courants alternatifs (et si possible sinusoïdaux). Un transformateur possède plusieurs caractéristiques : le **nombre de spires** de ses enroulements (n_p pour le primaire et n_s pour le secondaire) donne le rapport de transformation $N = n_s / n_p$ (si $N > 1$, le transformateur est élévateur, sinon il est abaisseur) ; la **puissance** utile délivrée au(x) secondaire(s) du transformateur est exprimée en Volt-Ampères (VA) et non pas en watts car il s'agit d'une puissance délivrée sur le secondaire et non pas consommée comme le ferait une simple résistance ; le **rendement** η (lettre grecque eta minuscule) est le rapport en % obtenu en divisant la puissance à la sortie du ou des secondaires (P_s) par la puissance d'entrée (P_p). Un transformateur parfait (ou idéal) a un rendement de 100% : toute l'énergie présente sur le primaire est transférée sur le ou les secondaires.

$N = \text{Rapport de transformation} = n_s / n_p$

Puissance utile : $P_s = U_s \cdot I_s = U_p \cdot I_p = P_p \quad \sim \eta = 100\%$

$U_s = U_p \cdot N$ ou $U_p = U_s / N$

$N = U_s / U_p$ ou $N = I_p / I_s$

$I_s = I_p / N$ ou $I_p = I_s \cdot N$

$Z_s = Z_p \cdot N^2$ ou $Z_p = Z_s / N^2$ ou $N = \sqrt{Z_s / Z_p}$

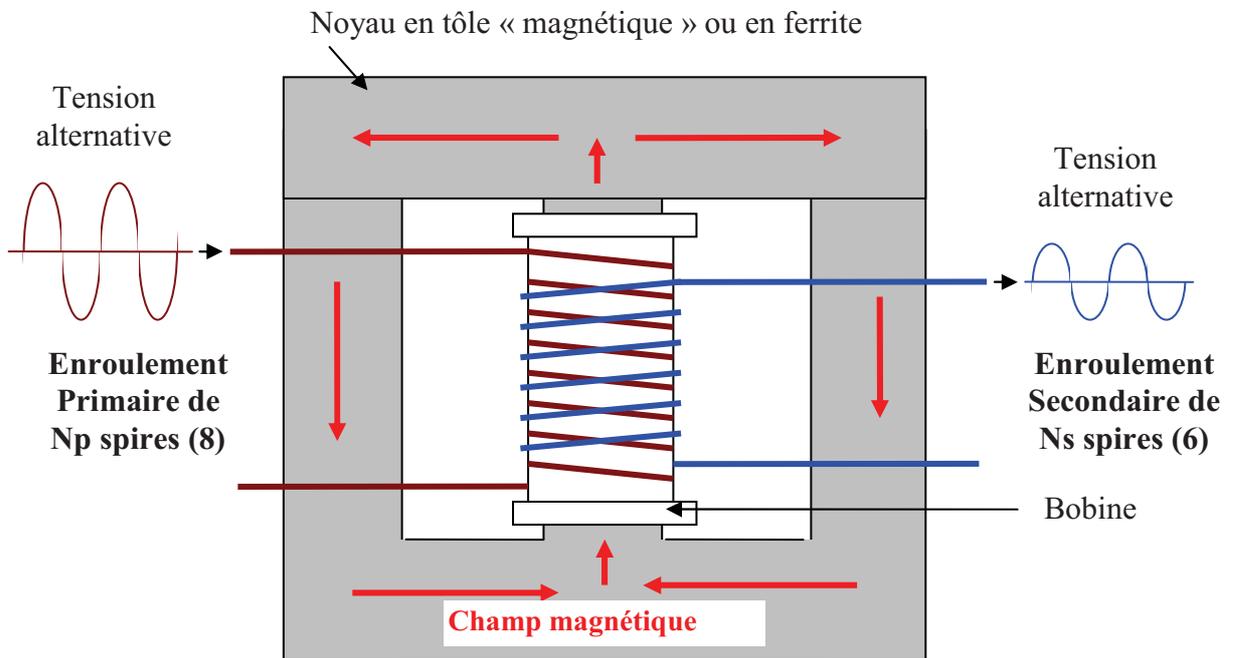
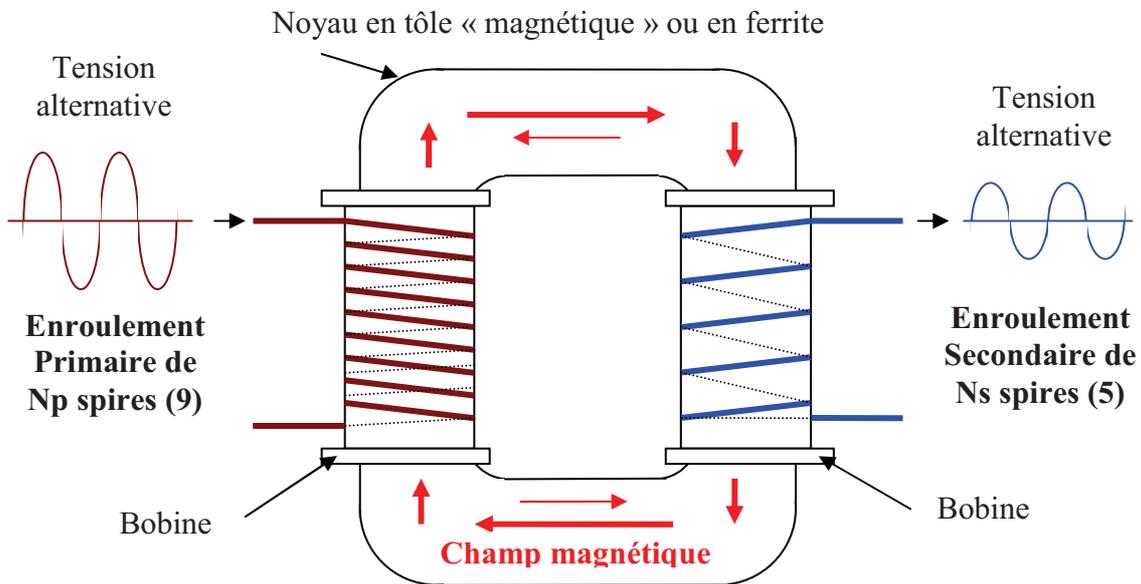
La taille du noyau (sa section) est proportionnelle à la puissance admissible du transformateur et dépend du matériau le constituant.

Le courant de Foucault :

Le courant alternatif dans l'enroulement primaire engendre dans le circuit magnétique un flux alternatif. Ce flux variable engendre un courant alternatif dans le secondaire mais aussi dans la tôle du circuit magnétique. Ces courants induits sont dits courants de Foucault et provoquent l'échauffement de la tôle, donc des pertes. Pour limiter ces pertes, le circuit magnétique sera feuilleté et chaque élément (en forme de E ou de I) sera isolé par vernissage ou par une couche d'oxyde. Les pertes par courants de Foucault sont proportionnelles au carré de la fréquence, ce qui justifie la diminution de l'épaisseur des tôles quand la fréquence augmente. Pour les fréquences élevées (au delà de la B.F.), le feuilletage ne suffit plus, des poudres ferromagnétiques (ferrite) sont alors employées.

Schéma du principe de fonctionnement de quelques transformateurs

Exemple d'un transformateur abaisseur $N_p > N_s$ ($9 > 5$)
Avec un noyau, un seul enroulement primaire et secondaire



Noyau avec un empilement de tôles magnétiques en forme de E et de I (alternées)

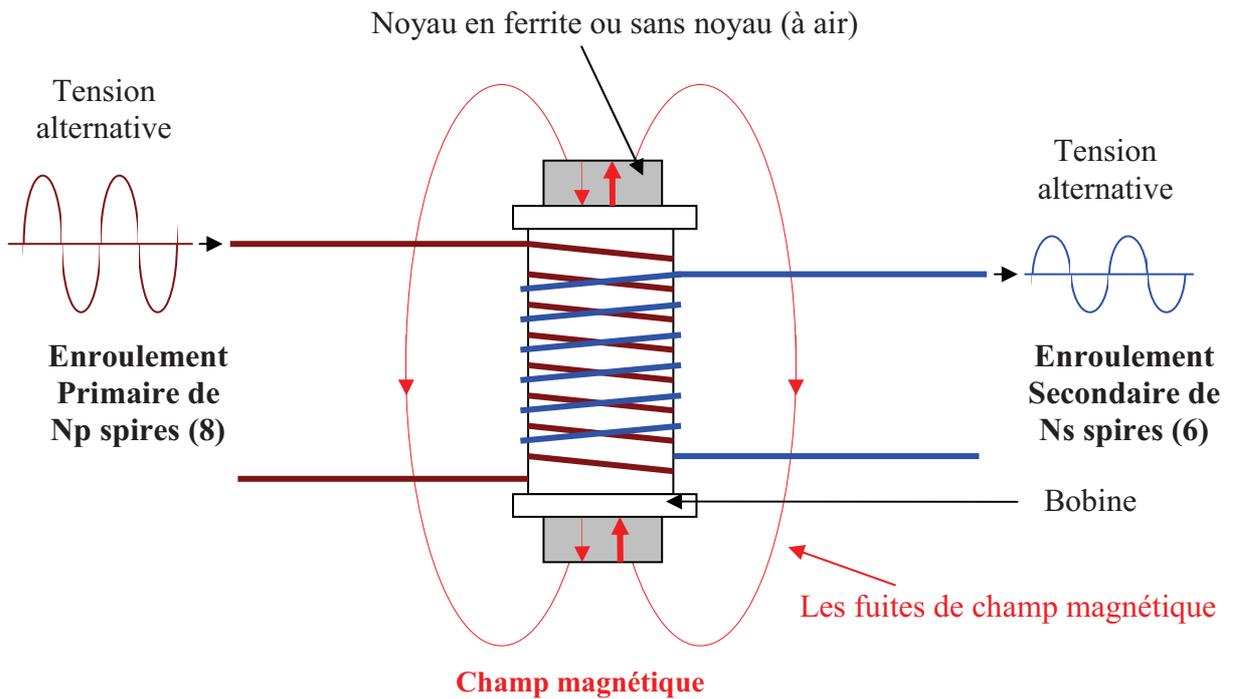
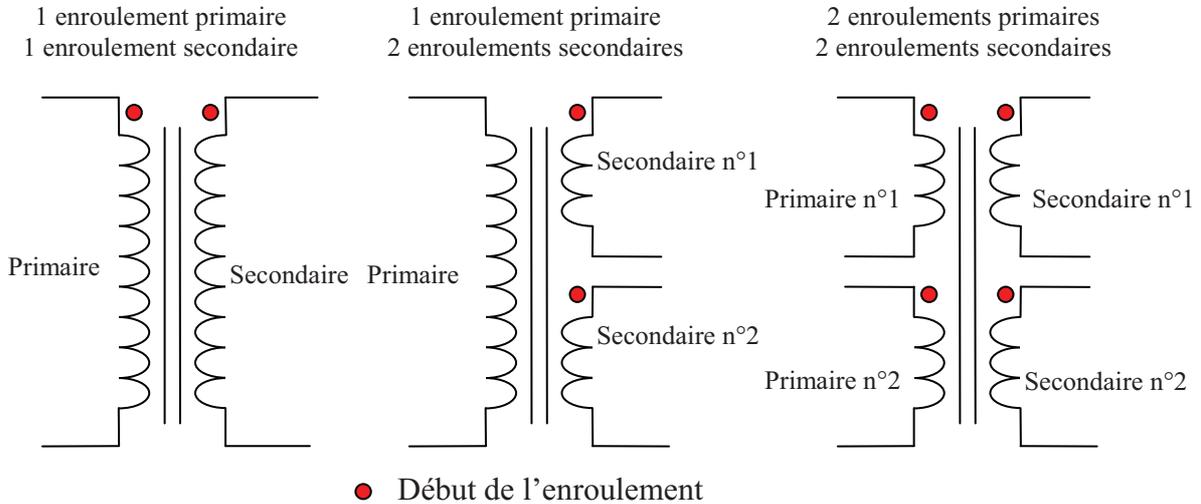
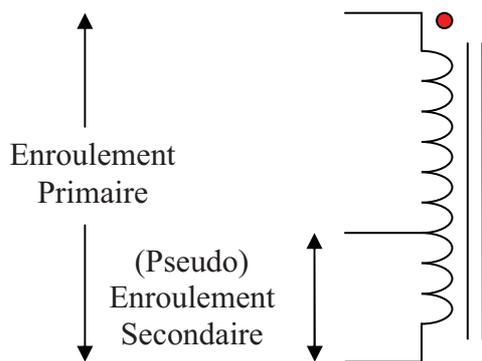


Schéma de différents types de transformateurs



L'autotransformateur

L'autotransformateur possède un enroulement primaire avec une connexion supplémentaire (prise intermédiaire) sur cet enroulement. Cette connexion est une des 2 connexions du pseudo enroulement secondaire. Le positionnement de cette connexion dépend du rapport de transformation souhaité soit pour adapter l'impédance entrée / sortie soit pour avoir une tension de sortie d'un certain niveau.



- Début de l'enroulement

VII.2 Caractéristiques techniques d'un transformateur

Les caractéristiques principales d'un transformateur fournis par le fabricant sont :

- La puissance nominale exprimée en Volt Ampère (VA) qu'il peut fournir. Elle varie de 1 VA à quelques Kilo VA ou même à des centaines de KVA en milieu industriel. Il faut tenir compte des pertes dues au transformateur, il faut choisir la puissance en VA du transformateur supérieure de 5% à 30% à la puissance consommée par la charge (en fonction des caractéristiques données par le fabricant (perte dans les tôles du noyau, etc...)).
- Le nombre de tensions secondaires séparées ou ayant un point commun,
- L'intensité maximale de chaque tension secondaire,
- Le rendement : rapport de la puissance utile sur la puissance consommée (entre 95% et 70%) (due aux pertes : résistances des fils (échauffement par effet joule, pertes dans le noyau par courant de Foucault, etc...)),
- Le rapport entre la tension de sortie à vide et en charge,
- Le matériau constituant le noyau quand il existe.

Exemple :

Un transformateur de 120 VA ayant 2 enroulements secondaires de 12 V peut débiter 5A par enroulement, en effet $I = P / U$ d'où $I = \frac{120}{12 * 2} = 5 \text{ A}$

Remarques :

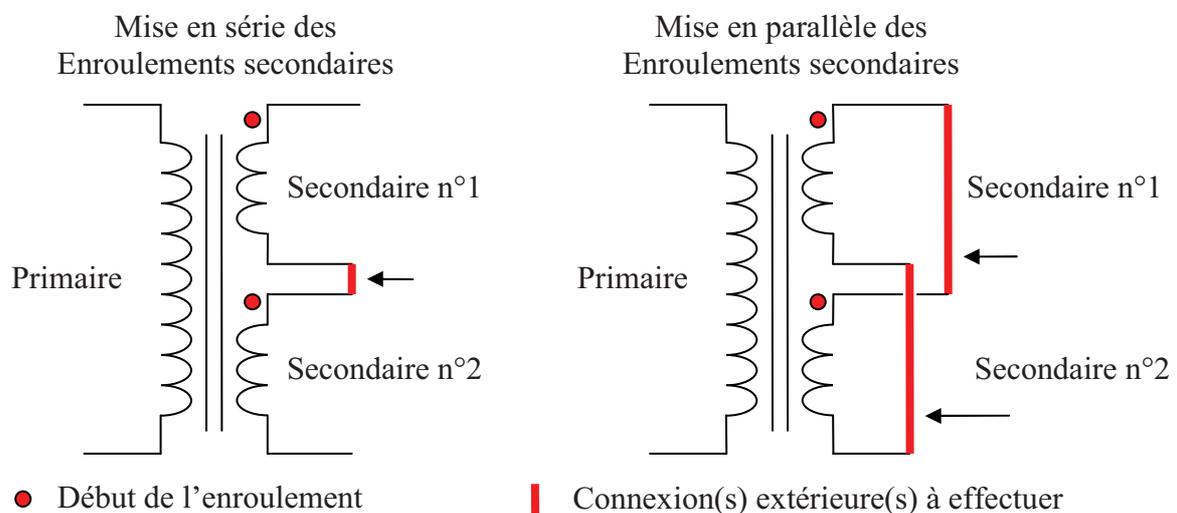
- Les caractéristiques mentionnées ci-dessus ne sont pas toujours fournies à l'utilisateur,
- la puissance en VA est la puissance apparente d'un appareil obtenue par la formule $P = U * I$. Elle est différente du Watt sauf pour le cas des charges résistives idéales (pas d'inductance ni capacité). Le Watt est utilisé pour la puissance consommée en courant continu et en courant alternatif en tenant compte du déphasage entre le courant et la tension (Cosinus(φ)).

VII.3 Combinaison des enroulements

Il est possible de combiner les enroulements primaires ou secondaires en respectant le sens des enroulements (le même sens), la tension et l'intensité de chacun des enroulements qui doivent être (en général) égaux :

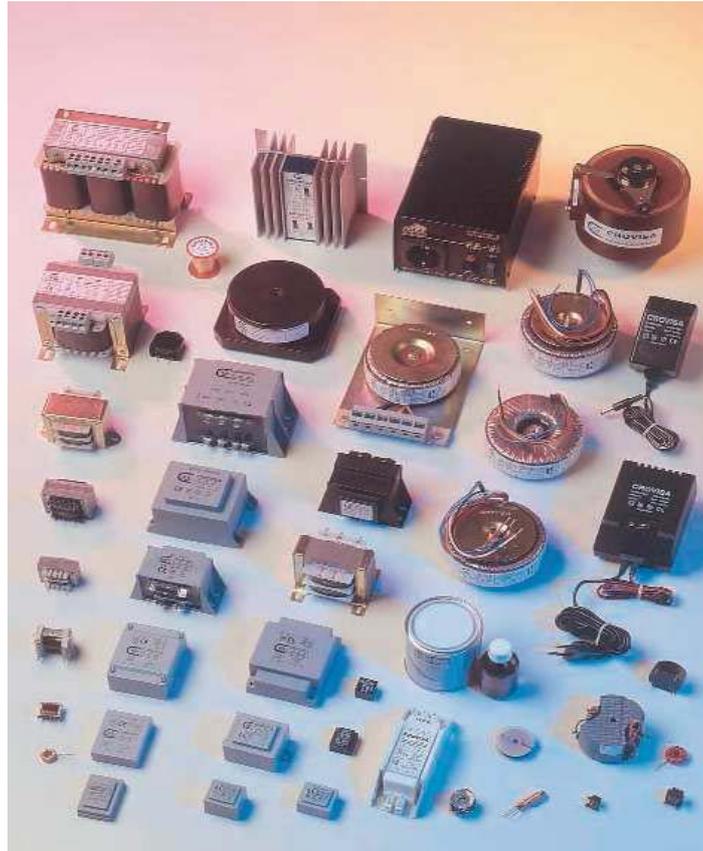
- en série pour obtenir une tension plus importante (somme des tensions en série). Par exemple, 2 enroulements secondaires en série de 9V (chacun) fournissent une tension totale de 18V,
- en parallèle pour obtenir une intensité plus importante (somme des intensités en parallèle). Par exemple, 2 enroulements secondaires (de même tension) en parallèle de 1A (chacun) fournissent une intensité totale de 2A.

Remarque importante : il est impératif de respecter le sens des enroulements pour ne pas détruire le transformateur.



Le type de raisonnement ci-dessus pour les enroulements secondaires est valable pour les enroulements primaires (ex : 2 enroulements primaires de 110V chacun sont mis en série pour être alimentés en 220 V).

VII.4 Les différents transformateurs



Extrait de la documentation Crovisa

VII.5 Le transformateur à alimentation secteur

Ce type de transformateur dispose d'un enroulement primaire branché directement sur le secteur (en France : la tension efficace est de 220 V et la fréquence de 50 Hertz). Dans le cas d'un transformateur international disposant de 2 enroulements primaires de 110 V chacun, il suffit de combiner en série les 2 enroulements primaires pour le branchement sur 220 V (ce type de transformateur est adapté pour un raccordement sur 110 V ou 220 V).

VII.5.1 *Le transformateur sur carcasse et étrier*

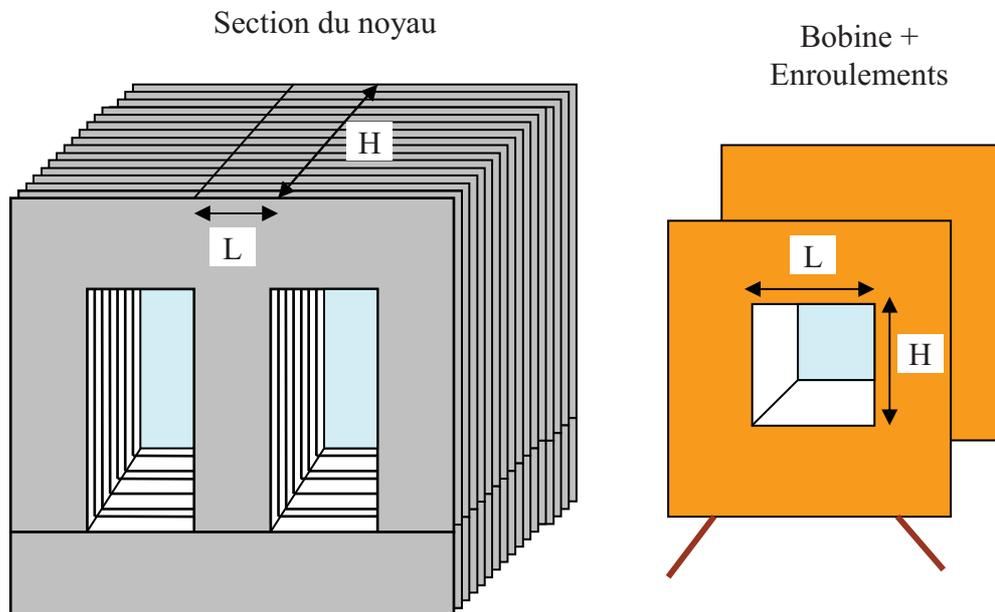


VII.5.2 *Calcul de la section du noyau et du nombre de spires par volt*

Les dimensions du transformateur et du noyau varient selon la puissance maximale que peut délivrer le transformateur (plus la puissance augmente plus les dimensions du transformateur

augmentent). Les dimensions dépendent aussi du matériau utilisé pour fabriquer le circuit magnétique.

Pour diminuer les courants de Foucault dans les tôles magnétiques ont introduit du silicium qui augmente la résistance électrique et la perméabilité magnétique.



La section brute du noyau est calculée par la formule : $S = L * H$ en mm^2 .

La section nette magnétique « utile » est calculée par la formule $S_n = S * 0,95$ pour tenir compte de l'enrobage des tôles magnétiques (vernis, couche d'oxydation, etc..) utilisé pour éviter les pertes par courant de Foucault (soit 5% de pertes ou plus).

$$\text{Puissance en VA} = \frac{S_n^2 * \text{Perm Weber}^2}{140}$$

Type de lame	Rendement	Perm Weber	Nombre de spires par volt (NS/V)
Silicium standard	0,80	1,10	4100/Sn
Silicium de qualité moyenne	0,82	1,15	3910/Sn
Silicium de qualité supérieure	0,84	1,20	3750/Sn
Silicium à grains orientés	0,86	1,25	3600/Sn
Silicium pour noyau en C	0,88	1,30	3470/Sn

Si on ne connaît pas les caractéristiques du tableau ci-dessus :

On peut utiliser une des 2 formules approximatives :

$$P(\text{VA}) = (0,83 * S_n^2) / 13500$$

$$S_n = 1,2 \sqrt{P}$$

Le nombre de spires par Volt est proportionnel à la puissance du transformateur et il est calculé par la formule suivante :

$$NS/V = \frac{10000}{(0,0444 * F * S_n * \text{Perm Weber})}$$

F est la fréquence en Hertz, Sn la section nette, Perm Weber est donnée dans le tableau ci-dessus.

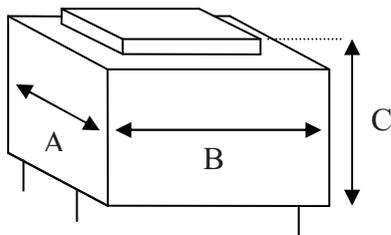
VII.5.3 Le transformateur moulé

Ce type de transformateur est actuellement entièrement moulé et bénéficie d'une protection totale contre les courts circuits (double isolation, classe de protection II, tension de contrôle 4000V, Classe d'isolation T40/E, Norme VDE 05551). Il est muni de connexions extérieures au pas de 5,08 mm (2/10 inch) à souder directement sur le circuit imprimé.

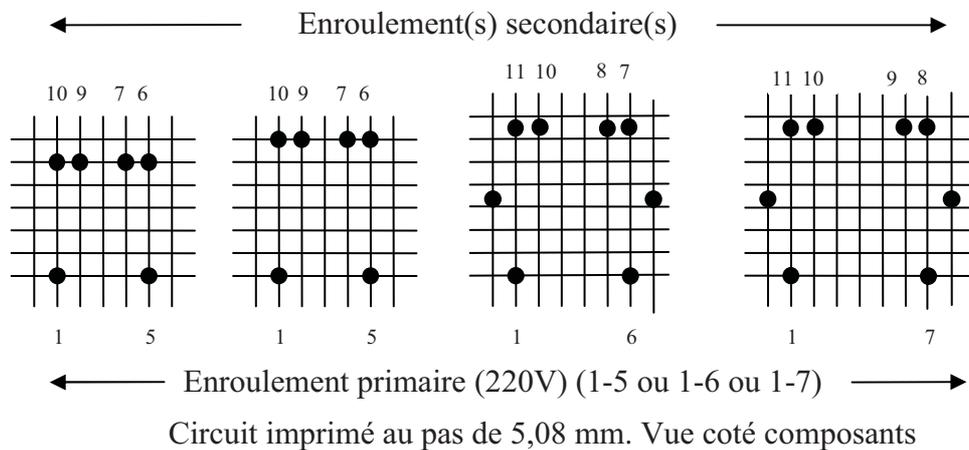
Fabricant : Myrra Série 44000, Crovisa, Orbitec,



Dimensions



Dim / P	1 VA	2 VA	3,2 VA	5 VA	10 VA	15 VA	30 VA
A (mm)	27,5	27,5	35	37	42,5	47	
B (mm)	32,5	32,5	41	45	50	56	
C (mm)	21,8	27,5	28	32,5	34,8	38,8	



Brochage des connexions des enroulements

	1 VA à 5 VA	10 VA	16 VA	30 VA
Primaire	1 - 5	1 - 6	1 - 7	1 - 8
1 Secondaire	7 - 9	8 - 11	9 - 13	
2 secondaires	6 - 7 / 9 - 10	7 - 8 / 11 - 12	8 - 9 / 13 - 14	9 - 10 / 15 - 16

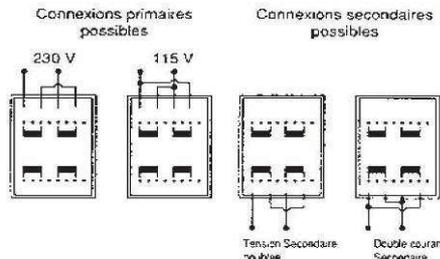
Le transformateur (sur)moulé (extra) plat Bas profil

Ce type de transformateur est utilisé lorsque la hauteur est un élément primordial. Il est fabriqué avec 2 enroulements primaires de 110 V chacun. Pour un raccordement sur le secteur (220 V) il faut combiner les 2 enroulements primaires en série.

Fabricant : Myrra Série 45000, Schaffner, Crovisa, ...)



Transformateur plat Myrra
Série 45000



Dimensions

06 VA = 44 x 53 x 22 mm
10 VA = 44 x 53 x 28 mm
14 VA = 57 x 68 x 24 mm
18 VA = 57 x 68 x 27 mm
24 VA = 57 x 68 x 31 mm
30 VA = 57 x 68 x 35 mm

Dimensions

3,5 VA = 54 x 42 x 20 mm
07 VA = 68 x 54 x 24 mm
20 VA = 72 x 55 x 35 mm



Transformateur extra plat pour montage à faible épaisseur

Puissance : 6 VA

2 enroulements primaires de 115 V

2 enroulements secondaires de 12 V

Remarque : le début des enroulements est noté 0.