

## Chapitre 3: Les Transformateurs

### 1. Le transformateur

Le transformateur est une machine statique permettant d'élever ou d'abaisser la tension ou l'intensité d'un courant alternatif.

Le transformateur monophasé

#### 1.1 Constitution

Un circuit magnétique canalise le flux. Il est constitué par des tôles minces au silicium, parfois à grains orientés pour éviter les pertes par hystérésis et courant de Foucauld. Ces tôles sont isolées par leur oxydation (pour les petits transformateurs) ou par des vernis spéciaux dans les gros transformateurs. Elles sont frettées avec des tiges et des écrous.

#### 1.2 Principe

Les nombres de spires des deux enroulements,  $N_1$  et  $N_2$  sont différents. L'enroulement qui en comporte le plus est du côté de la tension la plus élevée, il est en fil plus fin que l'autre enroulement de tension plus petite.

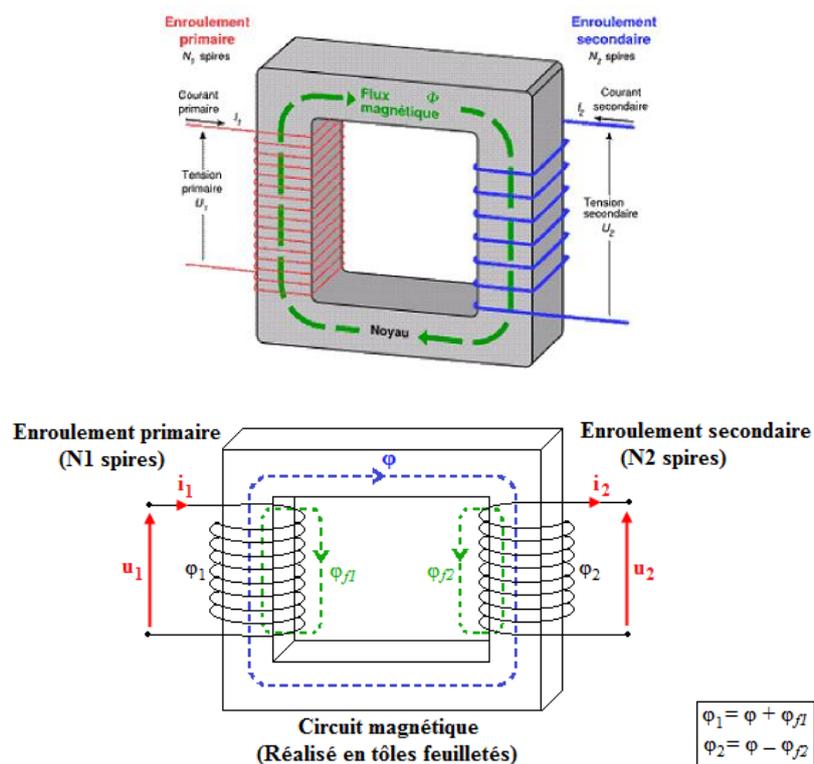


Fig 3.1 Schéma de principe

Considérons un noyau ferromagnétique fermé sur lequel on a disposé deux bobinages.

Si on alimente l'un de ces bobinages, appelé « primaire » au moyen d'une différence de potentiel sinusoïdale, il y circule un courant  $I_1$  qui crée dans le noyau un flux magnétique

également sinusoïdal. Ce flux variable induit dans chacun des bobinages une f.é.m. alternative proportionnelle au nombre de spires.

Dans le bobinage primaire, il s'agit d'une f.c.é.m. qui s'oppose à la tension d'alimentation.

*Le primaire se comporte comme un récepteur*  $U_1 = E_1 + (r_1 \cdot I_1)$

*Le secondaire se comporte comme un générateur*  $U_2 = E_2 - (r_2 \cdot I_2)$

En modifiant le nombre de spires des deux bobinages, on peut obtenir des tensions sinusoïdales de valeurs différentes.

L'appareil est donc, d'abord, un transformateur de tension. Si on fait débiter le secondaire, on peut appliquer le principe de conservation de l'énergie. Il s'ensuit que les intensités dans les bobinages doivent varier en sens inverse des tensions. L'appareil est donc, aussi un transformateur d'intensité.

## 2. Fonctionnement du transformateur réel en charge

### 2.1 Pertes dans le transformateur

#### a- Les pertes dans le fer

Le circuit magnétique s'échauffe sous l'effet :

- des pertes par hystérésis,
- des pertes par courants de Foucault.

Pour diminuer les pertes :

- on feuillette le circuit magnétique ;
- on limite l'induction supérieure maximum à une valeur telle que les pertes par hystérésis et courants de Foucault restent acceptables ;
- on utilise pour construire le circuit magnétique des tôles à faibles pertes : au silicium ou à cristaux orientés.

Remarque : Les pertes dans le fer ne dépendent que de la fréquence et du flux, ceux-ci étant constants quel que soit le fonctionnement du transformateur.

#### b- La résistance des enroulements

Au primaire :  $I_1$  va créer une chute de tension  $R_1 \cdot I_1$ , à déduire de la tension d'alimentation  $U$

$$\vec{U} = \vec{E} + \overrightarrow{R_1 \cdot I_1} \rightarrow \vec{E} = \vec{U} - \overrightarrow{R_1 \cdot I_1}$$

$P = R_1 \cdot I_1^2 \rightarrow$  représente la perte de puissance due à l'effet joule

Au secondaire :  $I_2$  va créer une chute de tension  $R_2 I_2$ , à déduire de la fém.  $E_2$  produite.

donc, la tension disponible au secondaire s'appellera  $U_2$  sera :

$$\vec{U}_2 = \vec{E}_2 + \vec{R}_2 \cdot \vec{I}_2$$

La perte de puissance par effet joule sera  $R_2 I_2^2$

**c- Les fuites magnétiques**

Au primaire : certaines lignes d'induction engendrées par le primaire se referment sur lui-même sans passer par le secondaire.

On considère que le primaire contient une réactance de self :  $\omega L_1$

Au secondaire : on constate le même phénomène qu'au primaire.

Aussi, pour le secondaire, on considère qu'il y a une réactance de self :  $\omega L_2$

**2.2 Conclusions**

On peut assimiler le transformateur à l'ensemble ci-dessous.

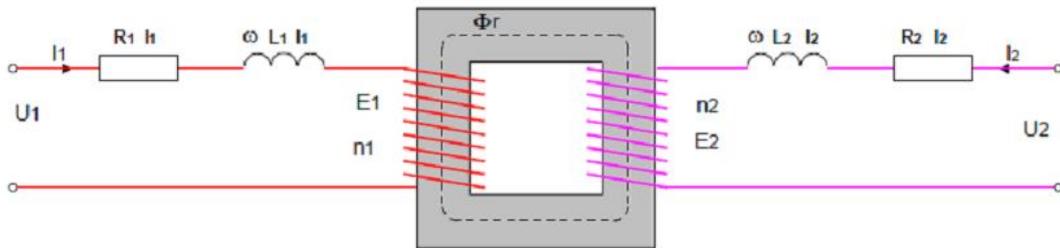


Fig 3.2 Circuit équivalent de principe

Récepteur

$$U_1 = E_1 + R_1 \cdot I_1 + \omega L_1 \cdot I_1$$

ou

Générateur

$$E_2 = U_2 + R_2 \cdot I_2 + \omega L_2 \cdot I_2$$

$$U_2 = E_2 - R_2 \cdot I_2 - \omega L_2 \cdot I_2$$

**2.3 Le rendement d'un transformateur**

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} \rightarrow \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + F + C}$$

$P_2$  = Puissance au secondaire

$P_1$  = Puissance au primaire

F = pertes dans le fer

C = pertes dans le cuivre

### 3. Types de transformateurs

#### 3.1 L'auto transformateur

Il ne comporte qu'un seul enroulement. La borne A est commune au primaire et au secondaire, une prise intermédiaire B correspond à la plus petite des deux tensions.

$$U_1 = E + E_2$$

$$U_2 = E_2$$

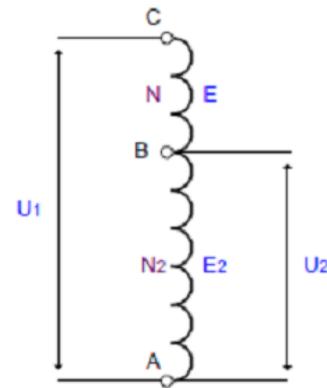
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E + E_2}{E_2} = \frac{N + N_2}{N_2}$$

Appareil simple et peu coûteux.

Il peut être dangereux : si N<sub>2</sub> est coupé, U<sub>2</sub> = U<sub>1</sub>

Il n'y a pas d'isolation entre les circuits.

Il ne peut être utilisé dans les installations domestiques.

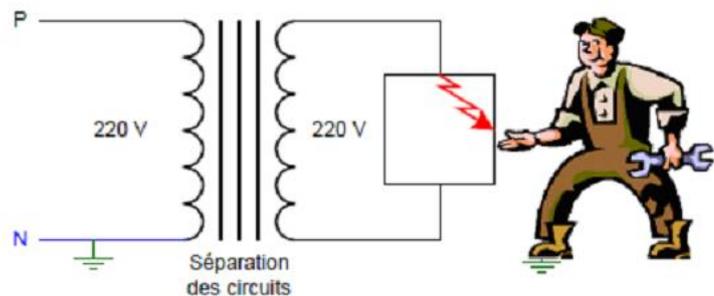


#### 3.2 Le transformateur d'isolement

Il est construit de manière à obtenir une séparation électrique entre les enroulements primaires et secondaires.

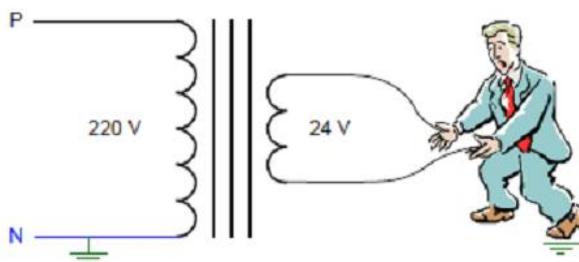
*Pas de danger d'électrocution,  
en cas de défaut sur une phase.*

Un défaut d'isolement côté primaire  
n'a pas d'influence sur le secondaire.



#### 3.3 Le transformateur de sécurité

Il est destiné à alimenter un circuit de distribution, un appareil d'utilisation ou un autre équipement en très basse tension (TBT < 50 V).



Le contact sur les deux phases peut être supporté sans danger.

### 3.4 Le transformateur de mesure

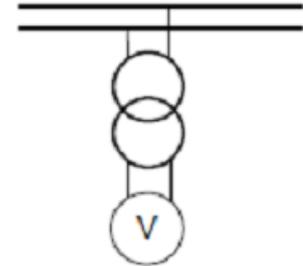
#### a. Le transformateur de potentiel (TP) ;

Surtout utilisé pour la mesure et le comptage en haute tension. Les limites de l'isolation d'un voltmètre et la sécurité de l'utilisateur interdisent la mesure directe des tensions élevées.

On abaisse donc la tension à mesurer à une valeur raisonnable par un transformateur de potentiel.

Le circuit magnétique est calculé largement et est très soigné de façon que les fuites soient pratiquement nulles.

Les deux enroulements doivent être rigoureusement isolés entre eux et par rapport à la carcasse.



#### b. Le transformateur d'intensité (TI)

Le courant dans un fil de ligne peut être très élevé et d'autre part sa mesure directe présenterait les mêmes dangers que celle d'une tension.

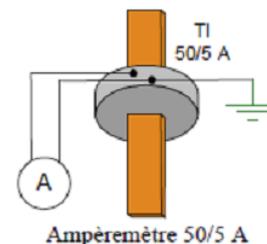
On interpose entre le fil et l'ampèremètre un TI. Comme on veut avoir  $I_2 < I_1$ ,

il faut que  $m = \frac{I_1}{I_2}$  soit très grand.

Le primaire est généralement constitué par une seule spire, c'est le fil de ligne (ou la barre du jeu de barres) qui traverse le circuit magnétique sur lequel est bobiné le secondaire.

Le calibre de l'ampèremètre est généralement 5 A.

Il est dangereux d'ouvrir le circuit secondaire d'un TI, car une tension très élevée apparaît entre ses bornes.



*Il faut court-circuiter le secondaire si l'ampèremètre doit être enlevé du circuit.*

*On ne met pas de fusible au secondaire d'un TI.*

*Une des bornes sera reliée à la terre.*

#### c. La pince ampérométrique

C'est un transformateur d'intensité permettant de mesurer un courant sans couper le fil.

#### 4. Mise en parallèle de deux transformateurs monophasés

Pour être couplés en parallèle, les deux transformateurs doivent avoir des caractéristiques identiques :

1/ **Même tension nominale primaire** : les deux primaires étant branchés

sous la même source de courant.

2/ **Même rapport de transformation** : les f.e.m doivent être égales

afin d'éviter tout courant de circulation à vide

(débit d'une bobine dans l'autre)

3/ **Même tension de court-circuit** : sachant que  $Z \cdot I_2 = U_{cc} \cdot N_2/N_1$ ,

si les chutes de tensions nominales ne sont pas identiques,

le transformateur ayant la plus faible chute de tension risque d'être surchargé.

4/ **Même indice horaire ou indice rattrapable**, sinon court-circuit et donc destruction des transformateurs

5/ **Même puissance nominale** sinon le transformateur le plus puissant sera surchargé. Cependant, on peut admettre sur le plan pratique, un écart maximal de l'ordre de 40%.

