

## Transformateur monophasé

## I. Présentation

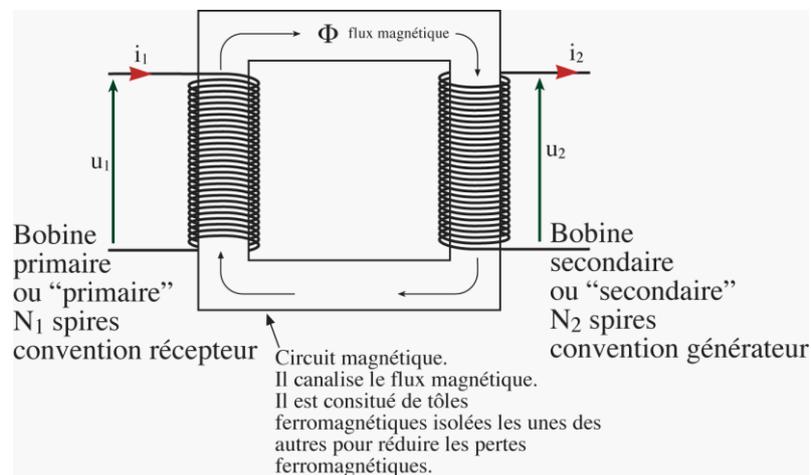
I.1. Action d'un transformateur

Un transformateur est une machine **statique** qui transforme un signal **alternatif** sinusoïdal en un signal sinusoïdal de même fréquence mais dont la valeur efficace peut-être différente. Un transformateur ne fonctionne pas en régime continu.

I.2. Constitution et symbole

Un transformateur est constitué d'un circuit magnétique fermé autour duquel on trouve deux enroulements de fil électrique.

Le premier enroulement est constitué de  $N_1$  spires. Il est appelé circuit primaire. Le second, constitué de  $N_2$  spires est appelé secondaire. Le primaire et le secondaire **ne sont pas liés électriquement**.



Dans un circuit électrique, un transformateur est représenté par ou

I.3. Intérêts du transformateur

Il y a trois types de transformateurs en fonction des valeurs efficaces des tensions au primaire et au secondaire :

- si  $U_1 < U_2$  ( $U_1$  et  $U_2$  valeurs efficaces des tensions), le transformateur est dit **élévateur de tension**. On l'utilise notamment pour élever la tension en sortie de centrale électrique de façon à limiter les pertes au cours du transport.
- si  $U_1 > U_2$ , le transformateur est dit **abaisseur de tension**. (C'est le cas de tous les transformateurs que l'on trouve dans les adaptateurs qui rassemblent en un seul bloc une fiche, un petit transformateur et un petit système de redressement).
- si  $U_1 = U_2$ , le transformateur est qualifié de **transformateur d'isolement**. Ce type de transformateur permet d'éviter qu'un défaut électrique au niveau du secondaire n'engendre une perturbation au niveau du primaire.

Dans les trois cas étudiés, il existe une isolation galvanique entre les circuits primaire et secondaire. Par conséquent, un défaut électrique se produisant au niveau du secondaire n'est pas détecté par un dispositif différentiel présent en amont du primaire.

## II. Fonctionnement du transformateur parfait

### II.1. Le transformateur parfait (ou idéal)

Un transformateur parfait est un transformateur dans lequel il n'y a **aucune perte**. Il modifie la forme de l'énergie électrique (les valeurs efficaces des tensions et des courants) mais n'a aucune autre incidence.

### II.2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un transformateur repose sur la **loi de Faraday** : une variation de flux à travers une spire crée une f.é.m. e. Inversement une f.é.m. e variable engendre une variation de flux à travers la spire :

$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

L'enroulement primaire est soumis à une tension sinusoïdale à l'origine d'un courant sinusoïdal, donnant naissance à un champ magnétique variable de même fréquence que la tension appliquée. Ce champ magnétique est « canalisé » par le circuit magnétique de sorte qu'il se propage dans tout le circuit magnétique. Il traverse l'enroulement secondaire, ce qui engendre l'apparition d'une tension sinusoïdale à ses bornes.

### II.3. Rapport de transformation

Le rapport de transformation m du transformateur est défini par :  $m = \frac{N_2}{N_1}$

Pour un transformateur parfait, les tensions complexes  $\underline{u}_1$  et  $\underline{u}_2$  aux bornes du primaire et du secondaire sont liées par la relation :

$$\frac{\underline{u}_2}{\underline{u}_1} = -m$$

Remarque : On en déduit que les tensions  $\underline{u}_2$  et  $\underline{u}_1$  sont déphasées de  $\pi$ .

Les valeurs efficaces des tensions  $u_1$  et  $u_2$  notées  $U_1$  et  $U_2$  vérifient donc :  $m = \frac{U_2}{U_1}$

Les intensités complexes  $i_1$  et  $i_2$  des courants au primaire et au secondaire sont liées par la relation :

$$\frac{i_2}{i_1} = -\frac{1}{m}$$

Comme pour les tensions, les intensités sont déphasées de  $\pi$ . Les valeurs efficaces des intensités  $i_1$  et  $i_2$  notées  $I_1$  et  $I_2$  vérifient donc :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{m}$$

### II.4. Puissances et rendement

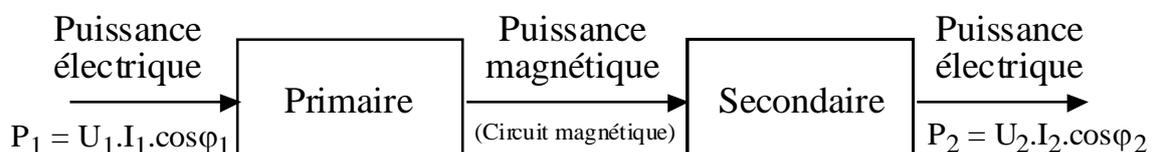
Pour un transformateur parfait,  $U_2 \times I_2 = m \times U_1 \times \frac{1}{m} \times I_1 = U_1 \times I_1$ . On en déduit donc que la puissance apparente absorbée au primaire est égale à la puissance apparente fournie au secondaire :

$$S_1 = S_2$$

Comme le déphasage est conservé, la puissance active de sortie (au niveau du secondaire) est égale à la puissance active d'entrée (au niveau du primaire). De même, la puissance réactive est conservée. On a ainsi :

$$P_1 = P_2 \text{ et } Q_1 = Q_2$$

Pour un transformateur parfait, le **rendement** défini par  $\rho = \frac{P_2}{P_1}$  est égal à 1.



Bilan de puissances pour un transformateur idéal

### III. Transformateur réel

#### III.1. Pertes

Il y a deux types de pertes dans le transformateur réel :

- les pertes dans les circuits électriques (pertes par effet joule dans les fils + auto-induction) appelées pertes joule ou pertes cuivre.
- les pertes dans le circuit magnétique. Le flux du champ magnétique dans le circuit secondaire est inférieur à celui du circuit primaire. Ces pertes sont appelées pertes fer (pour limiter ces pertes, on utilise un noyau feuilleté).

En conséquence, la puissance active de sortie (au niveau du secondaire) est inférieure à la puissance active d'entrée (au niveau du primaire). Le rendement est donc inférieur à 1.

Les relations  $m = \frac{U_2}{U_1}$  et  $m = \frac{I_1}{I_2}$  ne sont alors plus valables dans le cas général.

#### III.2. Rapport de transformation

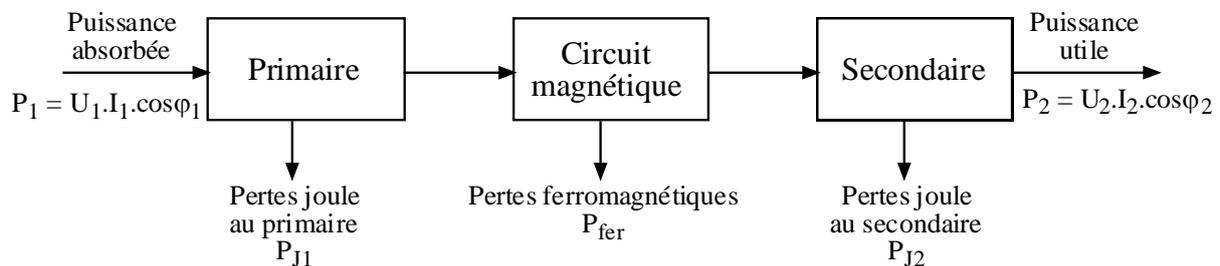
Le rapport de transformation se mesure à vide (pas de charge au secondaire :  $I_2 = 0$ )  $m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$

#### III.3. Transformateur en charge

On constate une chute de tension :  $U_2 < m.U_1$ . Plus  $I_2$  augmente (la charge augmente) plus  $U_2$  diminue.

Cette dernière observation vient du fait d'une chute de tension provoquée par la résistance du bobinage  $\Delta U = r_2.I_2$  (si  $I_2$  augmente  $\Delta U$  augmente aussi).

#### III.4. Puissances et rendement



Bilan de puissances pour un transformateur réel

$P_1 = P_{J1} + P_{J2} + P_{fer} + P_2$  Le rendement est donc déterminé par :

$$\eta = \frac{P_{utilisée}}{P_{absorbée}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{fer} + P_J} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{P_1 - P_{fer} - P_J}{P_1} \quad \text{avec } P_J = P_{J1} + P_{J2}$$

Le rendement varie en fonction des conditions d'utilisation du transformateur. Le meilleur rendement s'obtiendra pour les grandeurs d'utilisation nominales indiquées sur la plaque signalétique du transformateur.

Les bons transformateurs de fortes puissances ont des rendements proches de 100 %.

#### III.5. Calcul du rendement

- Calcul direct

Cette méthode consiste à mesurer avec deux wattmètres  $P_1$  et  $P_2$   $\Rightarrow \eta = \frac{P_2}{P_1}$

- Mesure des pertes

Deux essais particuliers du transformateur permettent de mesurer séparément les pertes par effet joule ( $P_J$ ) et les pertes ferromagnétiques ( $P_{fer}$ ). Cette méthode consiste à évaluer les différentes pertes dans les conditions nominales d'utilisation.

### Essai à vide : mesure des pertes fer

On choisit pour  $u_1$  la tension nominale  $u_{1n}$ .

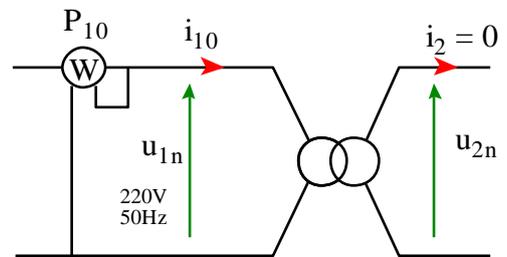
A vide, le circuit secondaire est ouvert :  $I_2 = 0 \Rightarrow P_2 = 0$  et  $P_{J2} = 0$

**Bilan des puissances :**  $P_{10} = P_{J10} + P_{fer}$

A vide  $I_{10}$  est très faible. Par conséquent  $P_{J10} \ll P_{10}$ .

**Finalement :**  $P_{10} = P_{fer}$  à vide

Remarque : les pertes fer dépendent essentiellement du champ magnétique donc de la tension  $U_1$  et de la fréquence  $f$ . Comme ces deux grandeurs restent les mêmes à vide ou en charge, les pertes fer mesurées à vide sont les mêmes que celles en charge. Il faut donc naturellement faire cet essai à la tension nominale ( $U_{1N} = 220$  V par exemple).



### Essai en court-circuit : mesure des pertes joule

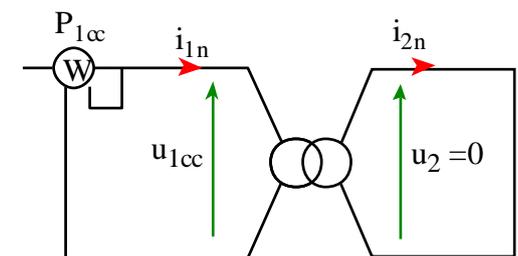
On choisit  $u_{1cc}$  réduite et  $i_2 = i_{2n}$ .

Le circuit secondaire est en court-circuit :  $U_2 = 0 \Rightarrow P_2 = 0$

**Bilan des puissances :**  $P_{1cc} = P_{J1cc} + P_{J2cc} + P_{fer}$ .

En court-circuit, pour obtenir  $I_n$ , il faut travailler à très faible tension  $U_{1cc}$ . Par conséquent  $P_{fer}$  est très faible.

**Finalement :**  $P_{1cc} = P_J$  en court-circuit



### Essai en charge :

Il faut choisir une charge appropriée pour travailler dans les conditions nominales de tension et de courant.

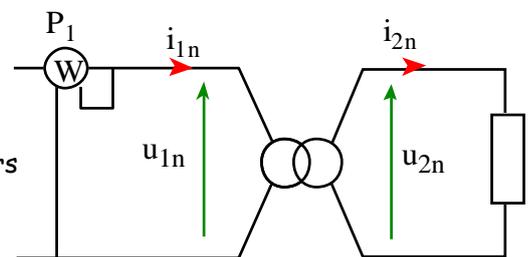
Dans ce cas, les pertes fer et pertes joules correspondent aux valeurs relevées dans les deux essais précédents.

On mesure  $P_1$

**Rendement :**

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_{10} - P_{1cc}}{P_1}$$

Remarque : en régime nominal, on peut considérer que  $m = \frac{I_{1N}}{I_{2N}}$



## IV. Plaque signalétique d'un transformateur :

Elle comporte essentiellement les éléments suivants :

- La fréquence  $f$  (Hz).
- La tension primaire  $U_{1n}$  (ou tension nominale primaire).
- La tension secondaire à vide  $U_{20}$  ( $I_2=0$ ).
- La puissance apparente nominale  $S_n = U_{1n} I_{1n} = U_{20} I_{2n}$

Remarque :  $I_{1n}$  et  $I_{2n}$  sont des intensités (efficaces) nominales primaire et secondaire :  $I_{1n} \approx m I_{2n}$