

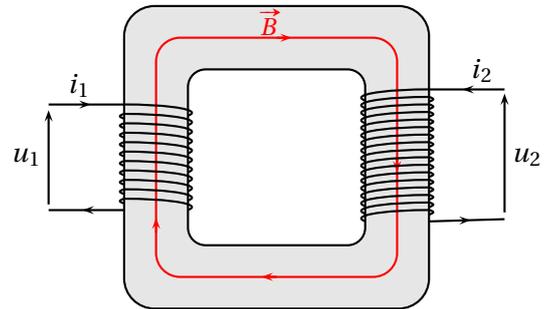
## Conversion de puissance

## II — Transformateur

### Modèle du transformateur idéal

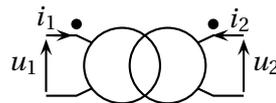
Un transformateur est constitué de trois parties :

- un **circuit magnétique** fermé, en ferromagnétique doux non saturé, qui canalise le flux magnétique;
- un **enroulement primaire** de  $N_1$  spires bobinées autour du circuit magnétique;
- un **enroulement secondaire** de  $N_2$  spires bobinées autour du circuit magnétique.



Le transformateur réalise un transfert de puissance en régime alternatif entre la source branchée sur le circuit primaire et la charge branchée sur le circuit secondaire.

- Les circuits primaire et secondaire sont galvaniquement indépendants : ils ne sont pas reliés par un conducteur.
- Les enroulements sont orientés en conventions récepteurs pour les couples  $(u_1, i_1)$  et  $(u_2, i_2)$ . On repère les **bornes homologues** par des points sur le symbole du transformateur : les courants  $i_1$  et  $i_2$  doivent entrer par ses bornes de façon à ce que l'orientation des flux à travers les deux bobinages soient de même signe.



#### Hypothèses du transformateur idéal :

- le milieu ferromagnétique est doux, non saturé, linéaire, avec  $\mu_r \rightarrow \infty$ ;
  - les lignes de champ magnétiques sont parfaitement canalisées dans circuit magnétique;
  - on néglige toutes les pertes (cuivre dans les bobines et fer dans le circuit magnétique).
- Le champ magnétique étant canalisé dans le circuit magnétique, il y a couplage total entre les deux enroulements :  $M^2 = L_1 L_2$ .

### Loi de transformation des tensions

En régime alternatif, les tensions au primaire et au secondaire vérifient

$$\frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{N_2}{N_1} = m,$$

où  $m$  est le **rapport de transformation**.

- Un transformateur permet d'abaisser ou d'élever une tension.

### Loi de transformation des courants

Pour un transformateur en charge en régime alternatif, les intensités au primaire et au secondaire vérifient

$$\frac{i_2(t)}{i_1(t)} = -\frac{N_1}{N_2} = -\frac{1}{m}.$$

## Transfert de puissance

Le primaire reçoit la puissance  $p_1(t) = u_1(t)i_1(t)$ .

Le secondaire fournit à la charge<sup>1</sup> la puissance  $p_2(t) = -u_2(t)i_1(t)$ .

La puissance instantanée reçue par un transformateur idéal est nulle :  $u_1(t)i_1(t) + u_2(t)i_2(t) = 0$ .

La puissance reçue au primaire est instantanément transmise à la charge :  $p_1(t) = p_2(t)$ .

Le rendement en puissance d'un transformateur idéal est égal à un.

- Les pertes sont négligées dans le modèle du transformateur idéal.
- Avec  $\mu_r \rightarrow \infty$ , la densité d'énergie  $\frac{B^2}{2\mu_0\mu_r}$  dans le circuit magnétique est nulle : il n'y a pas de stockage de l'énergie électromagnétique.

## Pertes dans le transformateur réel

Pertes	Origine	Solutions
<b>Pertes cuivre</b>	Effet Joule dans les bobinages.	Limiter le courant; limiter la longueur des bobinages.
<b>Pertes fer</b>	Courants de Foucault dans le circuit magnétique. Pertes par hystérésis.	Feuilletage du ferromagnétique. Utiliser un ferromagnétique doux.

- Il existe aussi des pertes par fuite magnétique : les lignes de champ magnétiques sont imparfaitement canalisées dans le ferromagnétique.

## Application

### Élévation de tension

Un rapport  $m > 1$  permet d'élever la tension.

Une tension élevée permet de diminuer les pertes en lignes lors du transport d'électricité sur de grandes distances<sup>2</sup>.

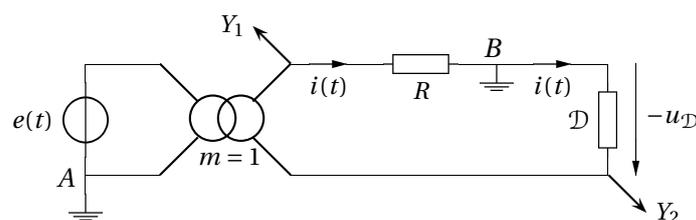
Sortie de centrale	20 kV	
THT (très haute tension)	400 kV	Transport à l'échelle de pays ou entre régions
HT (haute tension)	63 à 90 kV	Transport à l'échelle régionale
MT (moyenne tension)	15 à 30 kV	Transport local vers les entreprises
BT (basse tension)	230 ou 400 V	Transport local vers les particuliers

### Isolement

Un rapport  $m = 1$  ne modifie pas la tension : on a un transformateur d'isolement.

Les circuits primaire et secondaire étant galvaniquement isolés, un tel transformateur permet de protéger contre les risques d'électrocution.

Les circuits primaire et secondaire peuvent avoir leur propre masse. Sur le montage suivant, les masses  $A$  (GBF) et  $B$  (oscilloscope) sont indépendantes, ce qui permet d'observer les tensions  $Y_2$  et  $Y_1$  à l'oscilloscope et de visualiser la caractéristique du dipôle  $\mathcal{D}$ .



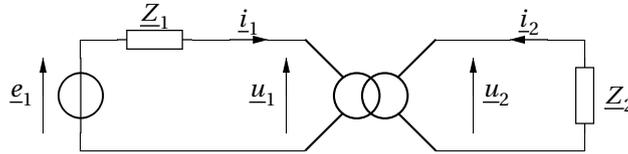
1. On appelle charge le circuit branché sur le circuit secondaire.
2. Résultat établi dans le chapitre sur la puissance en régime sinusoïdal.

### Abaissement de tension

Un rapport  $m < 1$  permet d'abaisser la tension. Cette opération est réalisée dans les appareils courants qui contiennent des composants électroniques nécessitant une alimentation basse tension (et continue, ce qui nécessite de plus un redressement).

### Transfert d'impédance entre le primaire et le secondaire

Un générateur d'impédances  $\underline{Z}_1$  est branché sur une impédance  $\underline{Z}_2$  via un transformateur de rapport  $m$ .

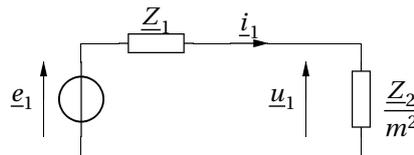


#### Impédance ramenée au primaire

Vu du circuit primaire, l'ensemble {transformateur + secondaire} est équivalent à un dipôle d'impédance  $\underline{Z}_2/m^2$ , appelée **impédance ramenée au primaire** :

$$\underline{u}_1 = \frac{\underline{Z}_2}{m^2} \underline{i}_1.$$

On se ramène au circuit équivalent



- Le transformateur peut alors permettre de réaliser une adaptation d'impédance entre le générateur et la charge (dans le cas d'impédances réelles).

#### Impédance ramenée au secondaire

Vu du circuit secondaire, l'ensemble {transformateur + primaire} est équivalent à un dipôle d'impédance  $m^2 \underline{Z}_1$ , appelée **impédance ramenée au secondaire** :

$$\underline{u}_2 = m \underline{e}_1 + m^2 \underline{Z}_1 \underline{i}_2.$$

On se ramène au circuit équivalent

