

Transformateur monophasé

N. Baiboun

November 12, 2020

1 Transformateur monophasé

Un transformateur est une machine électrique statique réversible permettant la conversion d'un niveau de tension alternative à un autre niveau de tension alternative.

Un transformateur ne peut pas fonctionner en continu!

1.1 Construction

Un transformateur est constitué d'un circuit magnétique fermé et de 2 bobines, comme sur la figure suivante:

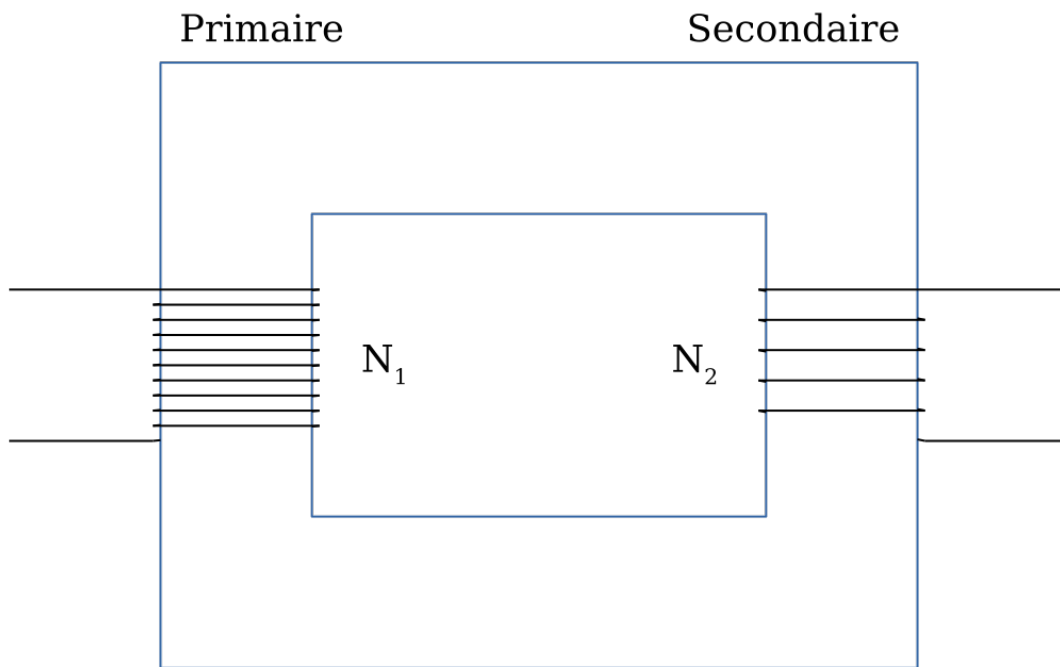


Figure 1: Transformateur monophasé

Le schéma contient les éléments suivants:

- un circuit magnétique fermé
- une bobine du côté primaire, composée de N_1 spires
- une bobine du côté secondaire, composée de N_2 spires

1.2 Fonctionnement

Le transformateur doit être alimenté du côté primaire par une source de tension alternative.

On suppose le transformateur idéal, c'est-à-dire:

- les bobines ont une résistance R nulle
- le coefficient d'auto-inductance L des bobines est infini
- le matériau magnétique possède une réluctance magnétique \mathcal{R} nulle

1.2.1 A vide

Le fonctionnement du transformateur à vide est illustré à la figure suivante:

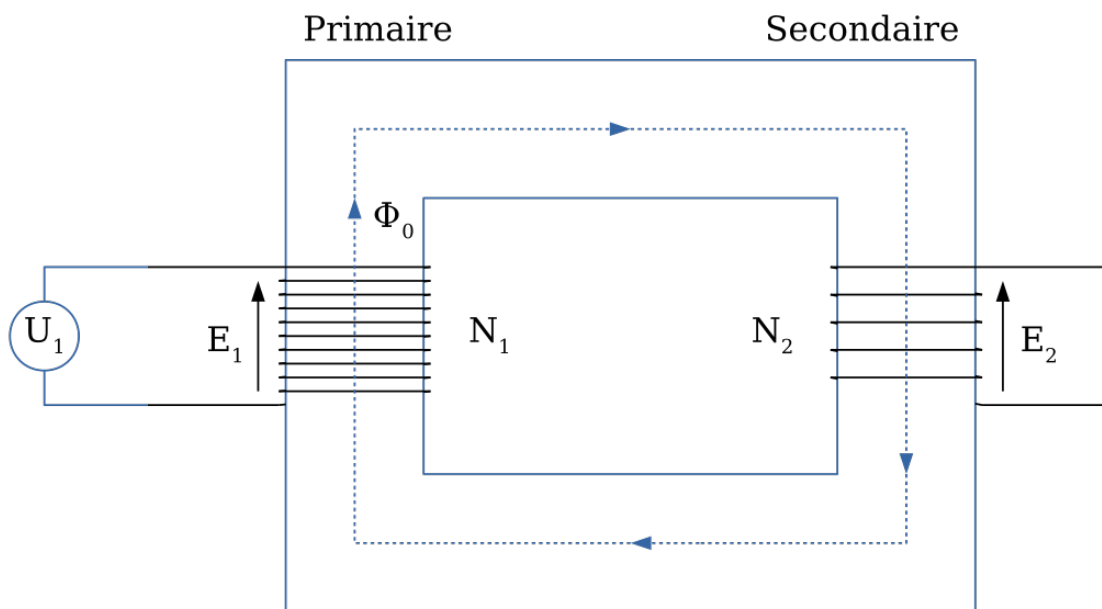


Figure 2: Fonctionnement du transformateur à vide

Tout d'abord, la tension d'alimentation U_1 étant sinusoïdale, un flux est généré par la bobine au primaire par la loi de Lenz-Faraday:

$$E_1 = -N_1 \frac{d\Phi_0}{dt}$$

Le matériau étant idéal, le flux est intégralement capté par le circuit magnétique. La bobine secondaire voit donc le flux la traverser.

Comme le flux est variable, une tension est générée au secondaire, toujours par la même loi de Lenz-Faraday:

$$E_2 = -N_2 \frac{d\Phi_0}{dt}$$

Les tensions primaires et secondaires sont donc liées entre-elles par le flux magnétique. En isolant la variation de flux des formules précédentes, on obtient:

$$-\frac{d\Phi_0}{dt} = \frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2}$$

On obtient donc le résultat suivant:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

La constante k est appelée rapport de transformation.

Il est à remarquer qu'à ce stade de l'étude, le transformateur étant idéal et à vide, aucun courant ne circule ni au primaire, ni au secondaire.

1.2.2 En charge

Le fonctionnement du transformateur en charge est illustré dans la figure suivante:

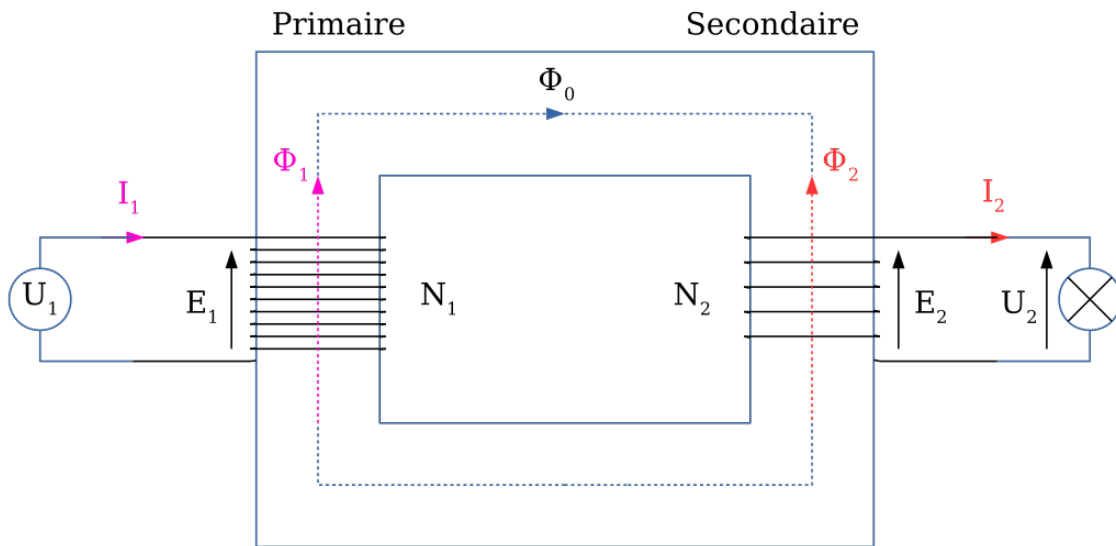


Figure 3: Fonctionnement du transformateur en charge

En connectant une charge électrique (ici une ampoule), un courant I_2 se met à circuler dans le secondaire.

Ce courant I_2 génère un flux Φ_2 s'opposant à ce qui lui a donné naissance. Autrement, dit, il est dirigé dans le sens opposé à Φ_0 .

Le flux magnétique totale au sein du circuit magnétique semble, à ce stade, avoir diminué. Or, il se trouve que le flux ne peut pas diminuer car la loi de Lenz-Faraday impose une proportionnalité entre U_1 et Φ .

Afin de retourner à l'équilibre et ainsi respecter la loi de Lenz-Faraday, un courant I_1 circule au primaire, permettant de générer un flux Φ_1 annulant le flux Φ_2 .

Le transformateur fonctionne donc à flux constant.

Comme le transformateur est considéré idéal, la puissance au primaire est intégralement passée au secondaire. On peut donc écrire:

$$E_1 I_1 = E_2 I_2$$

On en tire donc que:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

1.3 Transformateur réel

1.3.1 Pertes

Le transformateur réel possède différentes imperfections, menant aux pertes suivantes:

- pertes Joules au primaire et au secondaire
- pertes par flux de fuite
- pertes fer (par hystérésis et courant de Foucault)

1.3.2 Schéma équivalent

Afin de modéliser le transformateur, on représente son fonctionnement par un circuit électrique équivalent. L'idée est que ce circuit permette d'estimer, pour une charge donnée, les pertes dans le transformateur ainsi que la chute de tension entre primaire et secondaire.

Ce circuit électrique est appelé *schéma électrique équivalent du transformateur, vu du primaire*. Il est aussi possible de représenter le schéma équivalent vu du secondaire.

La figure suivante représente le schéma équivalent:

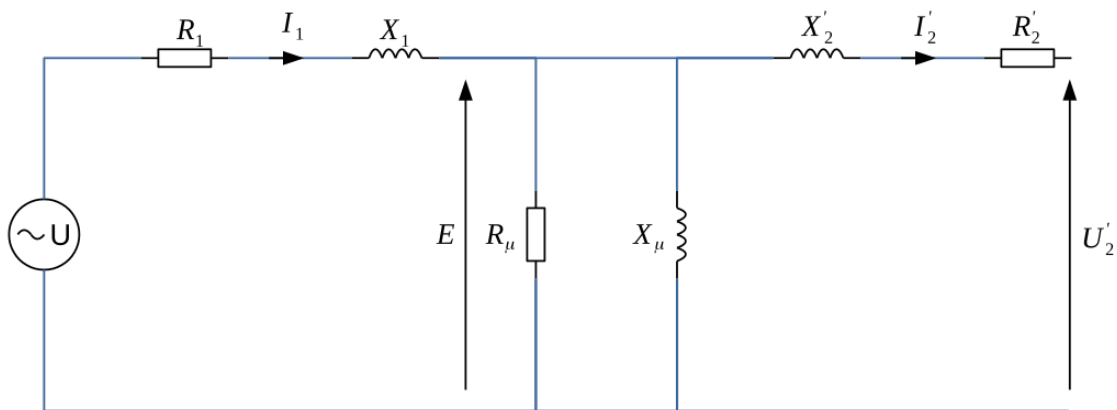


Figure 4: Schéma équivalent du transformateur

Dans ce schéma, on retrouve:

- R_1 , la résistance des enroulements au primaire
- X_1 , la réactance de fuite du primaire
- R_μ , les pertes fer (hystérésis et courant de foucault)
- X_μ , la réactance magnétisante

- X'_2 , la réactance de fuite du secondaire, ramenée au primaire
- R'_2 , la résistance du secondaire, ramenée au primaire

On peut démontrer que les éléments du secondaire ont été transformés de la manière suivante:

$$U'_2 = kU_2 \quad (1)$$

$$I'_2 = \frac{I_2}{k} \quad (2)$$

$$R'_2 = k^2 R_2 \quad (3)$$

$$X'_2 = k^2 X_2 \quad (4)$$

En général, le courant circulant dans les branches R_μ et X_μ est tellement faible qu'on se permet la simplification suivante:

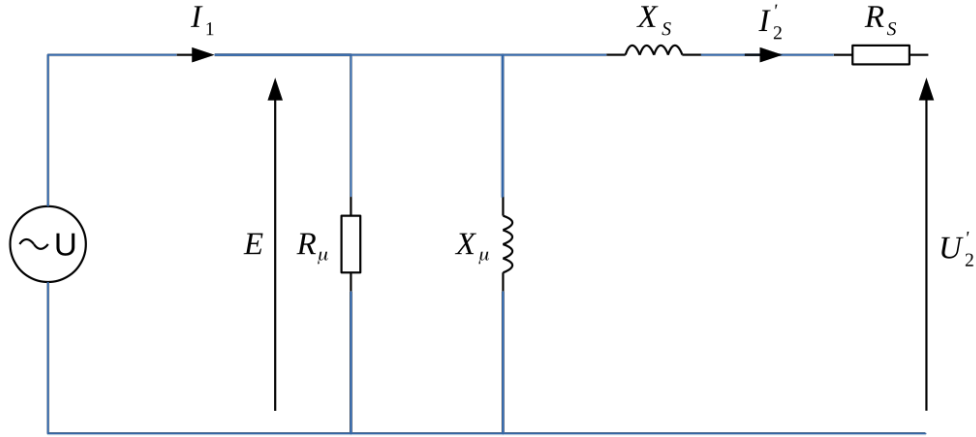


Figure 5: Schéma équivalent simplifié du transformateur

Dans ce schéma, $R_s = R_1 + R'_2$ et $X_s = X_1 + X'_2$.

1.4 Détermination des paramètres du schéma équivalent

A partir du schéma équivalent simplifié, il est possible d'estimer les paramètres à partir d'essais expérimentaux.

1.4.1 Essai à vide

Lors d'un essai à vide, le courant I'_2 est nul et le schéma équivalent simplifié devient:

En mesurant la tension U'_2 , le courant I_1 et la puissance active P , on obtient R_μ et X_μ par les formules suivantes:

$$R_\mu = \frac{U_2'^2}{P} \quad (5)$$

$$X_\mu = \frac{U_2'^2}{Q} \quad (6)$$

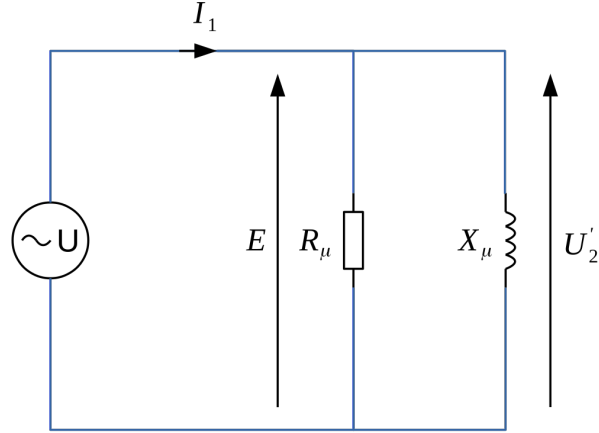


Figure 6: Essai à vide

L'essai est effectué à tension nominale.

1.4.2 Essai en court-circuit

Lors d'un essai en court-circuit, le courant I'_2 étant bien plus important que le courant dans les branches R_μ et X_μ , le schéma devient:

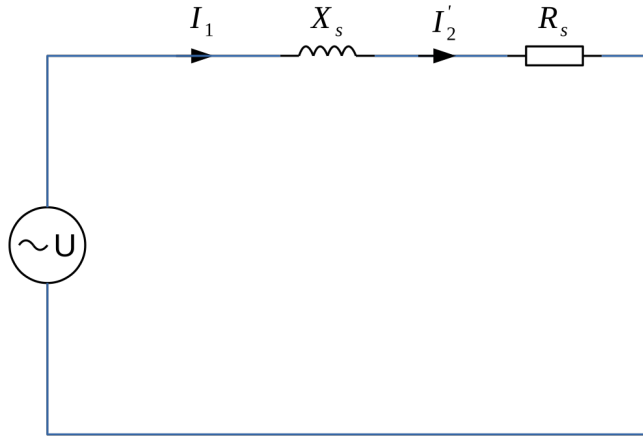


Figure 7: Essai en court-circuit

En mesurant la tension U_1 , le courant I'_2 et la puissance P , on obtient R_s et X_s par les formules suivantes:

$$R_s = \frac{P}{I_2'^2} \quad (7)$$

$$X_s = \frac{Q}{I_2'^2} \quad (8)$$