

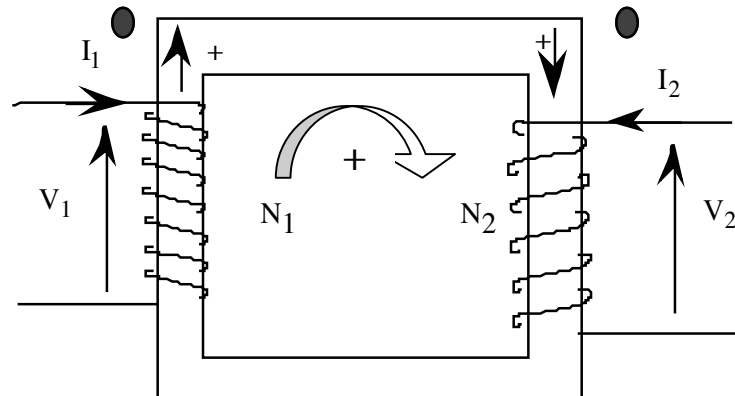
T.P. Elmg₂

TRANSFORMATEUR

1. PRINCIPE D'UN TRANSFORMATEUR

1.1. Hypothèses d'étude d'un transformateur idéal

Un transformateur est constitué de deux enroulements, le primaire (N_1 spires) et le secondaire (N_2 spires), bobinés sur un cadre ferromagnétique qui canalise parfaitement les lignes de champ magnétique : celui-ci, créé par l'ensemble des courants i_1 et i_2 est entièrement contenu dans le matériau du cadre et a une valeur uniforme.



Le sens de parcours du cadre, choisi arbitrairement, permet de définir des bornes homologues : les flux sont de même signe quand les courants rentrent par ces bornes...

Ainsi, quels que soient les courants, un même flux magnétique total ϕ traverse chacune des spires du primaire ou du secondaire.

On suppose qu'aucune perte d'énergie n'a lieu dans le matériau lui-même supposé idéal, et on néglige enfin les résistances des enroulements au primaire et au secondaire.

1.2. Loi des tensions

Les flux totaux traversant primaire et secondaire s'écrivent : $\Phi_1 = N_1 \phi$ et $\Phi_2 = N_2 \phi$

Les tensions au primaire et au secondaire sont alors données par :

$$V_1 = -e_1 = +N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad V_2 = -e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

D'où un rapport de tensions :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = m$$

où m est appelé rapport de transformation

1.3. Loi des courants

Le rendement énergétique du transformateur étant supposé idéal, la puissance $P_1 = V_1 I_1$ délivrée au primaire doit se retrouver entièrement au secondaire, soit avec les conventions de signe choisies :

$$P_2 = -V_2 I_2 = P_1 = V_1 I_1$$

Compte tenu de la loi précédente des tensions, on en déduit, pour le transformateur idéal, la loi des courants :

$$\frac{I_2}{I_1} = -\frac{N_1}{N_2} = -\frac{1}{m}$$

1.4. Transformateur réel

Un transformateur réel possède des défauts qui l'éloignent du modèle idéal et dont la principale conséquence est une perte de rendement dans son fonctionnement.

Ainsi, ni la loi des tensions, ni la loi des courants ne sont parfaitement respectées.

Du point de vue strictement énergétique, le transformateur réel présente des pertes :

- **les pertes cuivre** : pertes dans les enroulements primaire et secondaire dues à l'effet Joule dans les résistances R_1 et R_2 des enroulements.

On peut les mesurer en faisant un essai en court-circuit du transformateur : la puissance délivrée par le primaire se réduit alors aux pertes cuivre (car les courants sont forts).

- **les pertes fer** : pertes dans le matériau lui-même qui n'est pas idéal

pertes par hystérésis (matériau non linéaire)

pertes par courants de Foucault dans le cadre ferromagnétique

On peut les mesurer en faisant un essai « à vide » du transformateur : la puissance délivrée au primaire se réduit alors aux pertes Fer (car les courants sont faibles).

En résumé :

$$P_1 = P_2 + P_{Cu} + P_{Fer}$$

2. ETUDE EXPERIMENTALE D'UN TRANSFORMATEUR

2.1. Problématique et dispositif utilisé

En effectuant divers essais et mesures sur un transformateur réel, nous tenterons de vérifier les lois des tensions et courants et de mesurer son rendement en puissance.

Le transformateur étudié sera constitué d'un cadre ferromagnétique et des deux bobines étudiées dans un précédent TP : la bobine de 1000 spires au primaire, et la bobine de 500 spires au secondaire : le rapport de transformation sera donc $m = 0,5$.

Le transformateur sera alimenté par un alternostat (qui lui même est un transformateur variable) : branché sur le secteur il délivre une tension sinusoïdale de fréquence 50 Hz et d'amplitude variable.

On peut en outre placer en série un ampèremètre avec l'entrée du transfo et un voltmètre aux bornes du primaire : on relèvera ainsi V_1 et I_1 .

Le même voltmètre placé aux bornes du secondaire permettra de mesurer V_2 et I_2 quand on mettra une résistance de charge R_u par la relation $I_2 = \frac{V_2}{R_u}$

2.2. Lois des tensions et des courants

- Etude à vide

A vide, de façon évidente, le courant au secondaire est nul, mais pas le courant au primaire et la loi des courants n'est pas respectée ! En fait, même à vide, un courant est nécessaire au primaire pour établir le champ magnétique dans le cadre : ce courant est appelé courant magnétisant mais reste faible .

Au primaire, en négligeant encore la chute de tension ohmique dans l'enroulement N_1 , on a :

$$V_1 \approx -e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} .$$

Il en résulte que la loi des tensions elle, reste bien vérifiée.

Vérifier la loi des tensions en alimentant le primaire sous une tension de V . Mesurer le courant magnétisant . Vérifier qu'on peut bien négliger la résistance de l'enroulement pour le calcul de

- Etude en court-circuit

Le courant I_2 est ici le courant de court-circuit : il est donc élevé, et c'est au contraire la part du courant magnétisant qui est négligeable au primaire dans I_1 ; la loi des courants doit être bien vérifiée.

Attention : les courants sont ici forts mais ne doivent pas endommager les enroulements : on veillera donc à limiter l'amplitude de la tension délivrée par l'alternostat à V .

Vérifier la loi des courants : on pourra placer directement l'ampèremètre aux bornes du secondaire. Toutefois , sa résistance n'est pas nulle et il ne constitue pas un « vrai » court-circuit. On peut alors « améliorer » le court-circuit en fermant le secondaire sur une résistance de 1Ω dont on mesurera la tension aux bornes ...

- Etude en charge

Le secondaire est à présent fermé sur un rhéostat dont on peut faire varier la résistance R_u .

Étudier, en fonction de la résistance R_u , les lois des tensions, des courants. Conclure.

2.3. Rendement en puissance

- Mesure de puissance

La puissance moyenne dissipée au secondaire est facilement calculable et s'exprime par $P_2 = \frac{U_2^2}{R_u}$

Mais comment mesurer expérimentalement la puissance moyenne dissipée au primaire?

- **Etude à vide**

A vide la puissance au secondaire est nulle. La puissance mesurée au primaire se réduit aux pertes Fer :

$$P_1 = P_{\text{fer}}$$

Ces pertes sont faibles et on les supposera indépendantes de la charge du transformateur.

- **Etude en court-circuit**

Là encore, la puissance au secondaire est nulle. La puissance mesurée au primaire se réduit aux pertes cuivre, les pertes fer devenant alors négligeables :

$$P_1 = P_{\text{Cuivre}} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

Il suffit donc de mesurer I_1 et I_2 pour évaluer ces pertes cuivre.

- **Etude en charge**

On mesure cette fois P_2 et P_{cuivre} . On en déduit $P_1 = P_2 - P_{\text{cuivre}} - P_{\text{fer}}$ et on évalue, en fonction de R_u , le rendement en puissance :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$