

## Transformateur

### EFFECTUER DES MESURES SUR UN TRANSFORMATEUR À VIDE ET EN CHARGE

- Mesure de la tension à vide en fonction de la tension primaire pour un nombre fixe de spires.
- Mesure du courant de court-circuit en fonction de la tension primaire pour un nombre fixe de spires.

UE3040500

01/17 UD



Fig. 1 : Dispositif de mesure de la tension à vide en fonction de la tension primaire.

### NOTIONS DE BASE GÉNÉRALES

**Les transformateurs sont des convertisseurs de tension qui reposent sur la loi de Faraday sur l'induction. Ils sont notamment utilisés pour la transmission de puissance électrique sur de grandes distances, afin de minimiser les pertes en ligne par la transformation en tensions si possibles élevées et en courants plus faibles.**

Dans le cas le plus simple, un transformateur est constitué de deux bobines couplées : la bobine primaire avec le nombre de spires  $N_1$  et la bobine secondaire avec le nombre de spires  $N_2$ , qui renferment un noyau en fer commun. Par la suite, nous allons étudier le transformateur idéal, c'est-à-dire sans pertes.

Si le transformateur n'est pas chargé, aucun courant ne peut circuler dans le circuit secondaire, donc  $i_2 = 0$ . Si une tension

alternative  $U_1$  est appliquée à la bobine primaire, celle-ci se comporte comme une résistance inductive, étant donné que la résistance ohmique peut être négligée dans le cas idéal. Dans le circuit primaire, un courant  $I$  circule alors ; il produit un flux magnétique  $\Phi$  (fig. 2) et induit ainsi une tension  $U_{\text{ind}}$ . En raison de la loi des mailles de Kirchhoff  $U_1 + U_{\text{ind}} = 0$ , cette tension induite est inversement égale à  $U_1$ :

$$(1) \quad U_{\text{ind}} = -L_1 \cdot \frac{dI}{dt} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -U_1.$$

$L_1$  : inductance de la bobine primaire  
 $\Phi$  : flux magnétique généré par  $I$

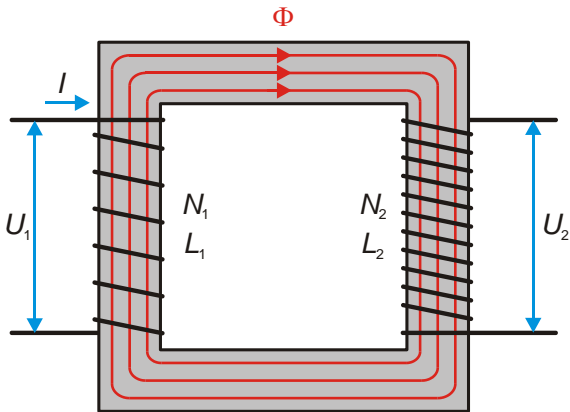


Fig. 2 : Représentation schématique du transformateur sans charge idéal avec bobine primaire et secondaire dans le même sens d'enroulement.

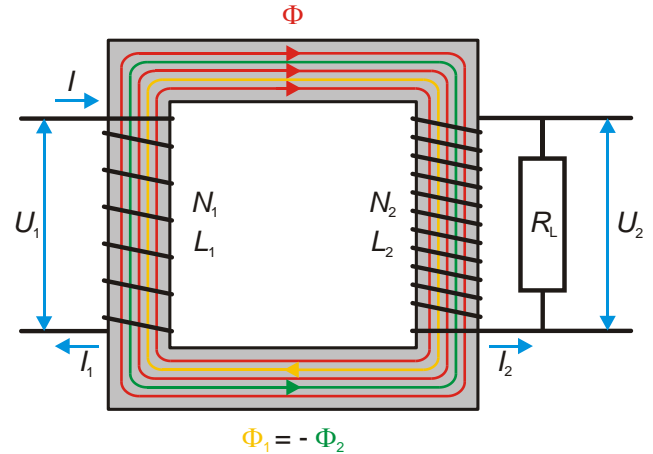


Fig. 3 : Représentation schématique du transformateur avec charge idéal avec bobine primaire et secondaire dans le même sens d'enroulement.

Le courant  $I$  correspond à un pur courant réactif, étant donné que la tension et le courant sont déphasés sur une résistance inductive de  $\varphi = 90^\circ$  (« la tension est en avance de phase sur le courant de  $90^\circ$  »).

Étant donné que le flux magnétique  $\Phi$  traverse complètement la bobine secondaire dans l'idéal, une tension

$$(2) \quad U_2 = -N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

est induite à cet endroit. Partant de (1) et (2), on obtient par conséquent le rapport de tension ou de transformation :

$$(3) \quad \frac{U_2}{U_1} = -\frac{N_2}{N_1}$$

Le signe négatif montre que  $U_1$  et  $U_2$  sont déphasés de  $180^\circ$  avec un sens d'enroulement identique (fig. 2). Pour un sens d'enroulement inverse,  $U_1$  et  $U_2$  sont en phase.

Lorsque le transformateur est en charge, un courant  $I_2 = U_2 / R_L$  circule à travers la bobine secondaire,  $R_L$  étant la résistance de charge ohmique, par exemple, d'un consommateur (fig. 3). Ce courant secondaire correspond à un pur courant actif, étant donné que la tension et le courant sont en phase sur une résistance ohmique ( $\varphi_2 = 0^\circ$ ). Il produit un flux magnétique

$$(4) \quad \Phi_2 = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N_2 \cdot I_2 \cdot \frac{A}{l}$$

- $\mu_0$  : constante magnétique
- $\mu_r$  : perméabilité relative
- $A$  : section de bobine
- $l$  : longueur de bobine

qui, dans le cas idéal, traverse complètement la bobine primaire et qui, en raison de la loi de Lenz, est dans le sens opposé au flux magnétique produit par le courant  $I$ .

Le courant réactif primaire  $I$  est ainsi superposé par un courant actif  $I_1$  qui est en phase avec la tension primaire  $U_1$  ( $\varphi_1 = 0^\circ$ ) et produit le flux magnétique supplémentaire.

$$(5) \quad \Phi_1 = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N_1 \cdot I_1 \cdot \frac{A}{l}$$

Étant donné que le flux magnétique  $\Phi$  demeure inchangé, les flux magnétiques  $\Phi_1$  et  $\Phi_2$  doivent s'annuler, soit  $\Phi_1 + \Phi_2 = 0$ . Il en résulte des équations (4) et (5)

$$(6) \quad \frac{I_2}{I_1} = -\frac{N_1}{N_2}$$

étant donné que  $\mu_r$ ,  $A$  et  $l$  sont identiques pour les deux bobines. Il s'ensuit à partir des équations (3) et (6) que la puissance active primaire et la puissance active secondaire sont identiques :

$$(7) \quad P_1 = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 = P_2$$

Ce faisant, l'équation (3) est également valable pour le transformateur en charge idéal. Une observation des impédances permet de constater que le rapport de tension dépend, dans le cas idéal, de la résistance de charge ohmique.

Il en résulte deux cas limites pour le transformateur en charge. Dans le cas limite  $R_L \rightarrow \infty$  ( $I_2 = 0$ ), le transformateur est ouvert du côté secondaire. L'équation (3) s'applique alors pour la tension à vide  $U_{20}$ . Dans le cas limite  $R_L = 0$  ( $U_2 = 0$ ), le transformateur est court-circuité du côté secondaire. L'équation (6) s'applique alors pour le courant de court-circuit  $I_{2c}$ .

Dans le cadre de l'expérience, la tension à vide  $U_{20}$  est mesurée en fonction de la tension primaire  $U_1$  et le courant de court-circuit  $I_{2c}$  en fonction du courant primaire  $I_1$  pour un rapport de nombres de spires fixe  $N_2 / N_1 = 2$ .

LISTE DES APPAREILS

- 1 Bobine D à 600 spires 1000988 (U8497430)
  - 1 Bobine D à 1200 spires 1000989 (U8497440)
  - 1 Noyau de transformateur D 1000976 (U8497180)
  - 1 Transformateur avec redresseur 1/ 2/ 4/ ... 14 V, 5 A @230V 1003558 (U8521112-230)
- ou
- 1 Transformateur avec redresseur 1/ 2/ 4/ ... 14 V, 5 A @115V 1003557 (U8521112-115)
  - 2 Multimètre numérique P3340 1002785 (U118091)
  - 1 Jeu de 15 cordons de sécurité, 75 cm 1002843 (U138021)

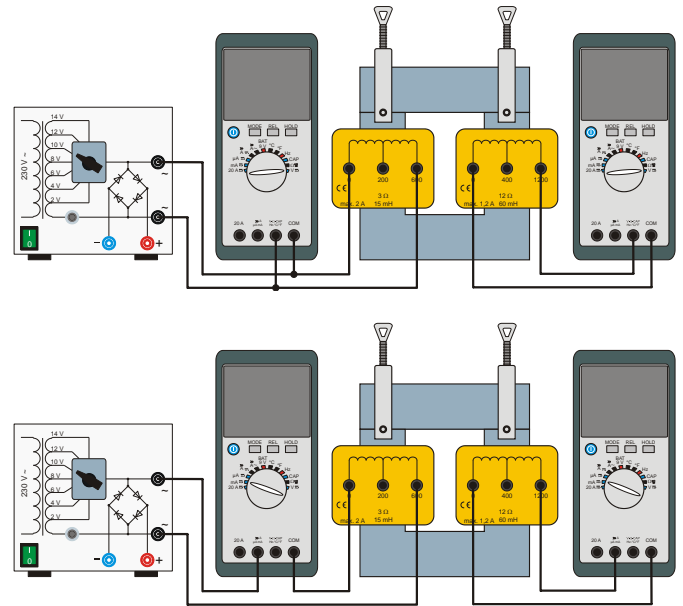


Fig. 4 : Montage expérimental pour le transformateur sans charge en marche à vide (en haut) et le transformateur en charge en cas de court-circuit (en bas).

MONTAGE ET REALISATION

- Monter le dispositif de mesure d'après le schéma de la fig. 4. Raccorder le multimètre du côté primaire parallèlement à la bobine primaire comme voltmètre, régler la plage de mesure de la tension « V » et sélectionner « Mode AC ».
- Relier les entrées « COM » et « V » du multimètre du côté secondaire avec les prises « 0 » et « 1200 » de la bobine secondaire, régler la plage de mesure de la tension « V » et sélectionner « Mode AC ».

Remarque

Le côté secondaire se trouve ainsi en marche à vide ( $I_2 = 0$ ), les tensions à vide  $U_{20}$  sont mesurées.

- Mettre en circuit le transformateur avec redresseur et régler les tensions d'alimentation  $U = 2 V, 4 V, 6 V, 8 V, 10 V, 12 V$  et  $14 V$  l'une après l'autre.
- Lire sur les multimètres la tension primaire et la tension à vide pour chaque tension d'alimentation et les inscrire dans le tableau 1.
- Raccorder à présent le multimètre du côté primaire en série à la bobine primaire comme ampèremètre (fig. 4 en bas), régler la plage de mesure du courant « mA » et sélectionner « Mode AC ».
- Relier les entrées « COM » et « mA » du multimètre du côté secondaire avec les prises « 0 » et « 1200 » de la bobine secondaire, régler la plage de mesure du courant « mA » et sélectionner « Mode AC ».

Remarque

Le côté secondaire est ainsi court-circuité via le multimètre ( $U_2 = 0$ ), les courants de court-circuit  $I_{2C}$  sont mesurés. Le multimètre fait office de charge ohmique.

- Lire sur les multimètres le courant primaire et le courant de court-circuit pour chaque tension d'alimentation et les inscrire dans le tableau 2.

EXEMPLE DE MESURE

Tab. 1 : Transformateur sans charge en marche à vide ( $I_2 = 0$ ). Tensions primaires réglées via les tensions d'alimentation  $U$  ainsi que tensions à vide mesurées  $U_{20}$ ,  $N_1 = 600, N_2 = 1200$ .

$U_1 / V$	$U_{20} / V$
2,42	4,43
4,74	8,84
6,90	12,92
9,32	17,59
11,37	21,52
13,50	25,63
15,92	30,32

Tab. 2 : Transformateur en charge en cas de court-circuit ( $U_2 = 0$ ). Courants primaires  $I_1$  réglés via les tensions d'alimentation  $U$  ainsi que courants de court-circuit mesurés  $I_{2C}$ ,  $N_1 = 600, N_2 = 1200$ .

$I_1 / mA$	$I_{2C} / mA$
43,6	19,5
86,8	39,6
123,3	56,9
166,0	77,0
200,0	92,0
237,0	109,0
278,0	129,0

**EVALUATION**

- Représenter les tensions à vide  $U_{20}$  en fonction des tensions primaires  $U_1$  (tab. 1) et les courants de court-circuit  $I_{2C}$  en fonction du courant primaire  $I_1$  (tab. 2) à l'aide d'un graphique et adapter respectivement une droite d'origine (fig. 5, 6).

À partir de l'équation (3), il en résulte pour les montants des tensions

$$U_{20} = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$$

et à partir de l'équation (6), pour les courants

$$I_{2C} = \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1$$

Les pentes des droites des fig. 5 et fig. 6 sont par conséquent définies par le rapport du nombre de spires  $N_2 / N_1 = 2$  et  $N_1 / N_2 = 0,5$ . Il résulte de l'ajustement des droites d'origine  $N_2 / N_1 = 1,90$  en marche à vide et  $N_1 / N_2 = 0,46$  en cas de court-circuit.

Les valeurs s'écartent de la valeur idéale de 2 et de 0,5 parce que les bobines réelles présentent toujours des pertes. Les pertes sont composées de ce que l'on appelle les pertes en fer et en cuivre ainsi que des pertes de diffusion du flux magnétique. Les pertes en fer résultent de l'hystérèse lors des pertes totales massiques du noyau en fer et des courants de Foucault dans le noyau de fer, les pertes en cuivre proviennent des résistances ohmiques des enroulements en cuivre des bobines. Les pertes par diffusion sont également dues au fait que le flux magnétique  $\Phi$  de la bobine primaire traversée par le courant  $I$  ne traverse pas complètement la bobine secondaire.

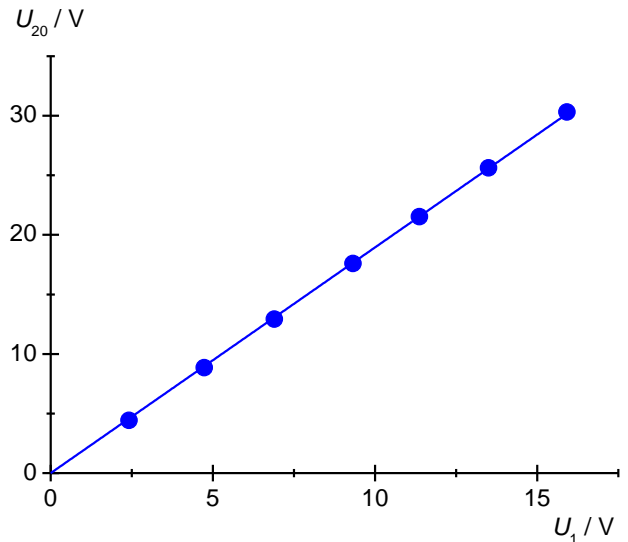


Fig. 5 : Transformateur sans charge en marche à vide ( $I_2 = 0$ ). Tension à vide  $U_{20}$  en fonction de la tension primaire  $U_1$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .

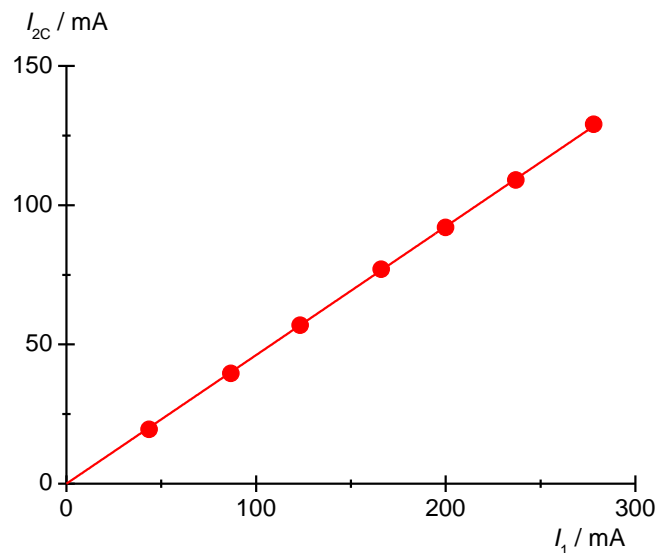


Fig. 6 : Transformateur en charge en cas de court-circuit ( $U_2 = 0$ ). Courant de court-circuit  $I_{2C}$  en fonction du courant primaire  $I_1$ ,  $N_1 = 600$ ,  $N_2 = 1200$ .