

Conversion de puissance 2

Transformateur

Compétences

- ☐ Citer les hypothèses du transformateur idéal.
- ☐ Établir les lois de transformation des tensions et des courants du transformateur idéal, en respectant l'algébrisation associée aux bornes homologues.
- ☐ Relier le transfert instantané et parfait de puissance à une absence de pertes et de stockage de l'énergie électromagnétique.
- ☐ Citer les pertes cuivre, les pertes fer par courant de Foucault et par hystérésis.
- ☐ Décrire des solutions permettant de réduire ces pertes.
- ☐ Expliquer le rôle du transformateur pour l'isolement.
- ☐ Établir le transfert d'impédance entre le primaire et le secondaire.

Questions de cours des interrogations orales

- ☐ Dans le cadre du transformateur idéal, démontrer les lois de transformation sur les tensions et sur les courants.
- ☐ Citer les hypothèses du transformateur idéal et montrer que pour un transformateur idéal, il n'y a pas de pertes ni de stockage d'énergie.
- ☐ Démontrer les schémas équivalents pour ramener le primaire au secondaire et le primaire au secondaire.
- ☐ Citer les types de pertes existantes dans un transformateur réel et des moyens pour les limiter.
- ☐ Démontrer l'expression de la puissance perdue lors du transport du courant (pertes en ligne) et expliquer comment les réduire.

Entraînements

- ☐ [20.1](#) ☐ [20.2](#) ☐ [20.3](#) ☐ [20.4](#) ☐ [20.5](#) ☐ [20.6](#) ☐ [20.7](#) ☐ [20.8](#) ☐ [20.9](#) ☐ [20.10](#) ☐ [20.11](#)

Exercices

- ☐ [Exercice 1](#) ☐ [Exercice 2](#) ☐ [Exercice 3](#) ☐ [Exercice 4](#) ☐ [Exercice 5](#) ☐ [Exercice 6](#)

Résumé du cours

1. Présentation du transformateur

Le transformateur est constitué d'un circuit magnétique sans entrefer sur lequel sont enroulé deux enroulements appelés primaire et secondaire.

SCHÉMA : Transformateur

Le transformateur est utilisé pour modifier l'amplitude de la tension et de l'intensité du courant en régime alternatif.

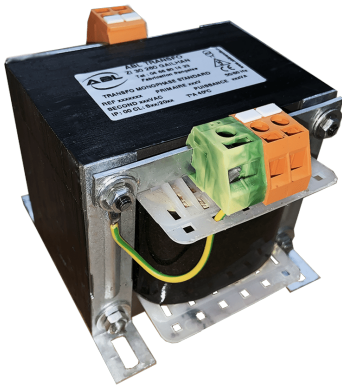


Fig. 1. – Transformateur domestique.



Fig. 2. – Transformateur source sur un poteau Enedis.



Fig. 3. – Transformateur dans un poste source.

2. Modèle du transformateur idéal

2.1. Présentation du modèle

Dans le modèle du transformateur idéal,

- toutes les pertes (cuivre et fer) sont négligées,
- le matériau ferromagnétique est doux hors saturation, de perméabilité magnétique infinie,
- les lignes de champ sont parfaitement canalisées et
- le champ magnétique est de norme uniforme dans le circuit magnétique.

SCHÉMA : Schéma électrique du transformateur idéal

2.2. Loi de transformation des tensions

Loi de transformation des tensions



Hypothèses :

- En régime alternatif.
- Pour un transformateur idéal.

$$\frac{v_2(t)}{v_1(t)} = m$$

Avec

- v_1 Tension aux bornes du primaire (V)
- v_2 Tension aux bornes du secondaire (V)
- $m = \frac{N_2}{N_1}$ Rapport de transformation (sans unité)
- N_1 Nombre de spires de l'enroulement primaire (sans unité)
- N_2 Nombre de spires de l'enroulement secondaire (sans unité)

APPLICATION



Quel rapport de transformation doit avoir un transformateur permettant d'alimenter un moteur $12 V_{\text{eff}}$ à partir du secteur ?

Si $m > 1$, le transformateur est dit « élévateur de tension ». Si $m < 1$, le transformateur est dit « abaisseur de tension ».

2.3. Loi de transformation des courants

Loi de transformation des courants



Hypothèse : Pour un transformateur idéal.

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

Avec

- i_1 Courant dans le primaire (A)
- i_2 Courant dans le secondaire (A)
- $m = \frac{N_2}{N_1}$ Rapport de transformation (sans unité)
- N_1 Nombre de spires de l'enroulement primaire (sans unité)
- N_2 Nombre de spires de l'enroulement secondaire (sans unité)

APPLICATION



Un transformateur permet de passer du réseau moyenne tension à 25 kV au réseau basse tension 600 V. Le courant efficace au secondaire est de 75 A. Déterminer le courant efficace au primaire.

2.4. Transfert de puissance entre primaire et secondaire

Transfert de puissance



Hypothèses :

- En régime alternatif.
- Pour un transformateur idéal.

$$p_1(t) = p_2(t)$$

Avec

- p_1 Puissance électrique **reçue** au primaire (W)
- p_2 Puissance électrique **fournie** au secondaire (W)

Il n'y a pas de perte ni de stockage d'énergie électromagnétique.

2.5. Transfert d'impédance

Afin de simplifier l'analyse des circuits comportant un transformateur, il est possible de déterminer un schéma équivalent ne comportant pas de transformateur.

Hypothèses :

- En régime alternatif.
- Pour un transformateur idéal.

Les impédances sont multipliées par m^2 .

Les tensions sont multipliées par m .

Les courants sont multipliés par $\frac{1}{m}$.

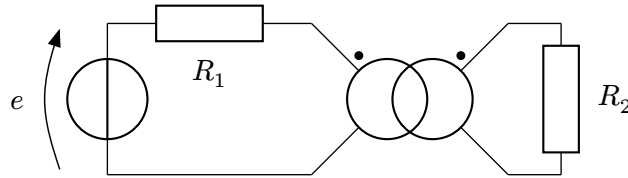
Avec

- $m = \frac{N_2}{N_1}$ Rapport de transformation (sans unité)
- N_1 Nombre de spires de l'enroulement primaire (sans unité)
- N_2 Nombre de spires de l'enroulement secondaire (sans unité)

APPLICATION

7

Déterminer la tension aux bornes de la résistance R_2 dans le montage ci-dessous en fonction de m , e , R_1 et R_2 .



Secondaire vu du primaire

8

Hypothèses :

- En régime alternatif.
- Pour un transformateur idéal.

Les impédances sont divisées par m^2 .

Les tensions sont divisées par m .

Les courants sont divisés par $\frac{1}{m}$.

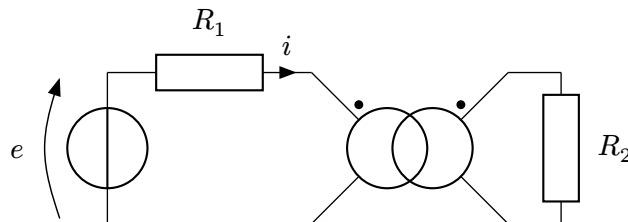
Avec

- $m = \frac{N_2}{N_1}$ Rapport de transformation (sans unité)
- N_1 Nombre de spires de l'enroulement primaire (sans unité)
- N_2 Nombre de spires de l'enroulement secondaire (sans unité)

APPLICATION

9

Déterminer le courant au primaire dans le montage ci-dessous en fonction de e , m , R_1 et R_2 .



3. Le transformateur réel

Un transformateur réel comporte des pertes cuivres dues à l'effet Joule dans les fils qui constituent les enroulements primaire et secondaire. Pour limiter les pertes cuivre, on utilise un bon conducteur électrique (quasiment toujours du cuivre), de section suffisamment grande et aussi courts que possible.

Un transformateur réel comporte des pertes par hystérésis. Pour les limiter, les transformateurs sont réalisés avec des matériaux ferromagnétiques doux.

Un transformateur réel comporte des pertes par courants de Foucault. Pour les limiter, le circuit magnétique est feuilleté.

SCHÉMA : Feuilletage du transformateur réel

Pertes par hystérésis et pertes par courant de Foucault sont regroupées sous le terme « pertes fer ».

4. Applications du transformateur

4.1. Isolement

Le transformateur d'isolement est un transformateur dont le rapport de transformation m est égal à 1.

Le transformateur d'isolement sert à isoler électriquement deux parties d'un circuit électrique tout en ayant des tensions identiques au primaire et au secondaire.

EXEMPLE

On souhaite afficher sur un oscilloscope la tension et le courant dans un moteur.

SCHÉMA

4.2. Transport du courant à haute tension

Afin de limiter les pertes par effet Joule lors du transport, on utilise une tension aussi élevée que possible. Pour ce faire, un transformateur augmente la tension en sortie de centrale de production et un transformateur abaisse la tension avant de la distribuer au client.

EXEMPLE

Le réseau Très Haute Tension qui transporte le courant sur des longues distances a une tension de 400 kV.

APPLICATION

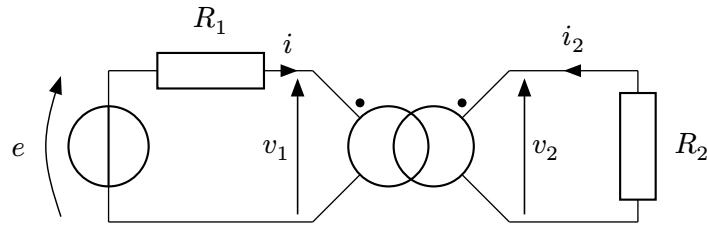
10

Par combien divise-t-on les pertes par effet Joule dans les câbles en utilisant une tension de 20 kV (ligne moyenne tension) plutôt que de 230 V ?

Exercices

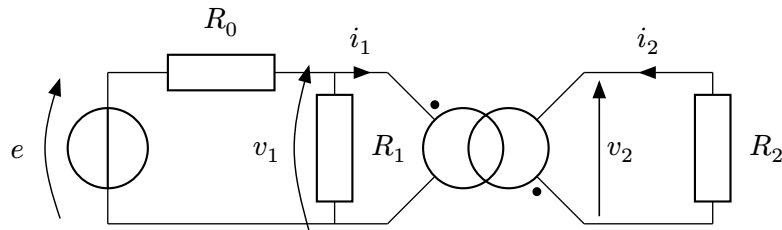
1. Impedance matching ★★

A voltage generator gives a sinusoidal voltage e to the primary of a transformer through a resistor R_1 .



1/ At which condition on the transformation ratio m is the power dissipated by the resistor R_2 maximal ?

2. Utilisation d'un transformateur



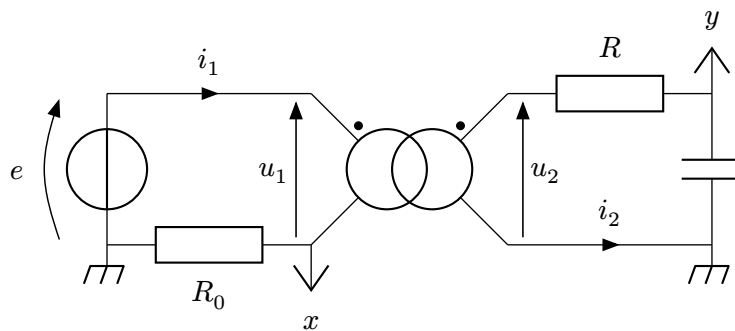
1/ Exprimer v_1 en fonction de e , R_0 , R_1 , R_2 et m .

2/ En déduire i_2 en fonction de e , R_0 , R_1 , R_2 et m .

3/ Application numérique : que vaut la valeur efficace de i_2 dans le cas où $R_0 = 1 \cdot 10^2 \Omega$, $R_1 = 1 \cdot 10^2 \Omega$, $R_2 = 1 \cdot 10^2 \Omega$, $e = 2 \text{ V}_{\text{eff}}$ et $m = 1 \cdot 10^1$?

3. Etude graphique d'un cycle d'hystérésis

Un matériau ferromagnétique est destiné à réaliser la carcasse d'un transformateur. On se propose de visualiser le cycle d'hystérésis de ce matériau sur un écran d'oscilloscope c'est-à-dire la courbe $B(H)$ où B et H représentent les valeurs algébriques de $\vec{B}$ et $\vec{H}$. Pour cela, on réalise le montage suivant.



Sur le noyau ferromagnétique de forme torique, de section S , de circonférence moyenne l ($l^2 \gg S$), on enroule n_1 spires constituant l'enroulement primaire et n_2 spires constituant l'enroulement secondaire.

Le générateur de f.é.m. $e(t) = E \cos(\omega t)$ est une source de tension sinusoïdale de fréquence $f = 50 \text{ Hz}$.

La résistance $R = 1.0 \cdot 10^5 \Omega$ est telle que le produit $n_2 i_2$ est négligeable devant le produit $n_1 i_1$.

1/ Pourquoi est-il judicieux de choisir un tore ?

2/ Dans ce montage, le circuit RC (entrée u_2 , sortie v_y) fonctionne en intégrateur. Quelle condition la capacité C doit-elle satisfaire pour cela ? Quelle(s) valeur(s) peut-on choisir pour C parmi les valeurs usuelles suivantes : 10 nF, 47 nF, 100 nF, 1 μ F et 4.7 μ F ?

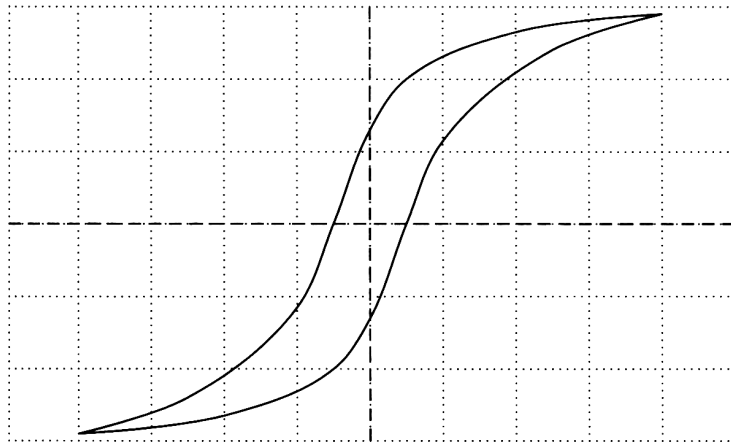
3/ Exprimer H en fonction de v_x .

4/ Exprimer B en fonction de v_y et expliquer pourquoi le montage permet de visualiser le cycle d'hystérésis.

Dans toute la suite, on prendra $l = 50$ cm, $S = 20$ cm², $C = 1$ μ F, $R_0 = 5$ Ω et $n_1 = n_2 = 50$ pour les applications numériques.

5/ Calculer, en précisant les unités, les coefficients de proportionnalité entre H et v_x puis entre B et v_y .

On obtient l'oscillogramme suivant. v_x est en ordonnée (1 graduation représente 2 V). v_y est en abscisse (1 graduation représente 1 V).



6/ Dédire de cet oscillogramme les valeurs approximatives du champ magnétique rémanent B_r , de l'aimantation rémanente M_r et du champ coercitif H_c .

Dans le schéma du montage, on peut raisonnablement négliger la puissance dissipée par effet Joule dans les enroulements primaire et secondaire. Pour simplifier, on suppose également négligeables les pertes dues aux courants de Foucault dans le tore. Dans ces conditions, la puissance $p_H = u_1 i_1$ dissipée est uniquement due aux propriétés ferromagnétiques du noyau.

7/ Établir la relation liant P_H , valeur moyenne de $p_H(t)$, à l'aire $\mathcal{A}$ du cycle d'hystérésis représentant l'évolution de B en fonction de H .

8/ Sur l'oscillogramme, on évalue l'aire du cycle à 6 carreaux. En déduire la valeur de la puissance moyenne P_H dissipée à cause du phénomène d'hystérésis dans l'ensemble du tore dans l'essai réalisé.

9/ A-t-on intérêt pour la fabrication des transformateurs à utiliser un matériau ferromagnétique ayant un champ coercitif important ou faible au contraire ? Justifier

4. ☺ Types de pertes

Cet exercice est un problème ouvert. Il nécessite de prendre des initiatives et de faire des choix dans la modélisation. Des approximations et des estimations sont souvent nécessaires pour arriver à une solution.

Un extrait de l'emballage d'un transformateur est reproduit ci-dessous. Ce type de transformateur est utilisé pour alimenter des lampes (modélisables par des résistors) à partir du réseau électrique domestique.



Pno:0.47W

La notation « Pno » indique la puissance absorbée par le transformateur lorsqu'il n'alimente aucune charge (c'est-à-dire lorsque le secondaire est en circuit ouvert).

Calculer les pertes cuivres et les pertes fer du transformateur lorsqu'il alimente une charge de puissance maximale.

5. 🤔 Rendement à puissance réduite ★★★

Cet exercice est un problème ouvert. Il nécessite de prendre des initiatives et de faire des choix dans la modélisation. Des approximations et des estimations sont souvent nécessaires pour arriver à une solution.

Un extrait de l'emballage d'un transformateur est reproduit ci-dessous. Ce type de transformateur est utilisé pour alimenter des lampes (modélisables par des résistors) à partir du réseau électrique domestique.



Pno:0.47W

La notation « Pno » indique la puissance absorbée par le transformateur lorsqu'il n'alimente aucune charge (c'est-à-dire lorsque le secondaire est en circuit ouvert).

Quel serait le rendement du transformateur s'il alimente une charge de 20 W ?

6. ☺ J'explique à mon chien : Poste de transformation

Le but de cet exercice est de vous faire expliquer un concept/phénomène avec des mots simples et courants (pas de vocabulaire technique ou scientifique) à une personne de votre entourage. Tachez de faire simple et court, utilisez des analogies avec des choses connues. Vous pouvez vous inspirer de Ma thèse en 180 secondes. Profitez-en pour prendre des nouvelles !

On trouve sur le bord des route des postes de transformation reliant des lignes électriques entre elles.



Qu'y a-t-il dans un poste de transformation et à quoi ça sert ?