

Etude du transfert de puissance dans un transformateur de distribution

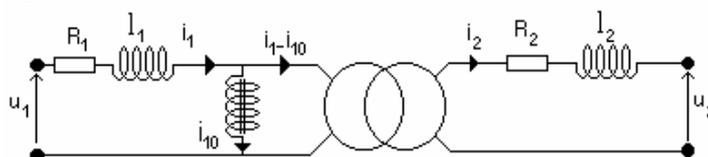
- Travail expérimental et rédaction du document :

Jean-Baptiste Desmoulin (P.R.A.G.)

mail : desmouli@physique.ens-cachan.fr

Ce travail expérimental porte sur l'étude d'un petit transformateur (220V/24V - 40W) destiné à alimenter une imprimante. Ce type de composant fonctionne exactement comme un transformateur intégré dans un réseau de distribution d'énergie électrique, mais pour une gamme de puissance beaucoup plus faible. Son rôle sera d'adapter le niveau de tension de la source de puissance, le secteur à 220V, à une charge, l'imprimante qu'on préfère alimenter sous basse tension pour des questions de sécurité. Ce transformateur va fonctionner sous une tension sinusoïdale de 50 Hz, c'est pourquoi il est réalisé avec un circuit magnétique à base de Fe-Si, satisfaisant à cette fréquence.

Pour comprendre les essais qui vont suivre, nous supposons que le transformateur de distribution utilisé peut être modélisé, électriquement de la façon suivante :



Les résistances sont celles des bobinages du primaire et du secondaire. Les inductances L_1 et L_2 sont les inductances de fuite du transformateur. On suppose que le système fonctionne à flux forcé, c'est-à-dire que la tension d'entrée impose la forme du flux dans le circuit magnétique, ce qui explique que i_{10} est distordu en raison du caractère non linéaire de ce dernier.

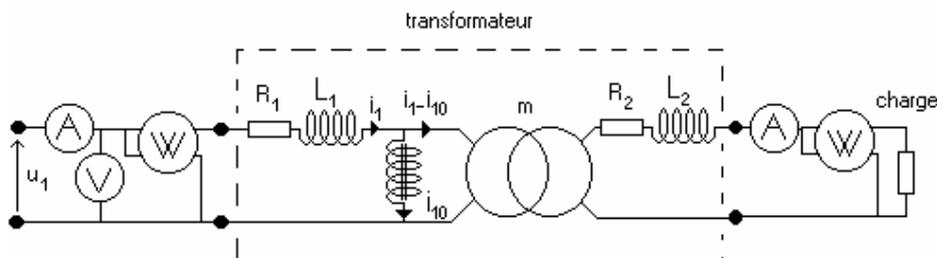
I. Rendement global du système en charge.

Un transformateur est destiné à transférer de la puissance. C'est pourquoi nous allons commencer par étudier ce dernier lorsqu'il fonctionne à tension nominale sous différentes charges. On fera en sorte de relever toutes les grandeurs importantes pour chaque valeur de la charge afin de pouvoir détailler par la suite le bilan de puissance.

1.1. Principe de l'expérience.

- On alimente le transformateur sous une tension délivrée par un alternostat (autotransformateur). Cette tension est amenée progressivement à la valeur nominale en partant de 0. On n'appliquera pas directement la tension secteur sur le transformateur, car si ce dernier est à vide, une connexion brutale au 220V peut provoquer un fort appel de courant, dont le niveau dépend de la valeur de tension à l'instant auquel on a connecté le transformateur. Cet appel fait disjoncter l'installation. C'est d'ailleurs pour cette raison que connecter un transformateur sur un réseau de distribution est une étape qui nécessite de suivre un protocole bien précis avec un appareillage qui permet de réaliser la connexion à l'instant où la tension secteur a une valeur qui conduit au pic le plus faible possible de courant.

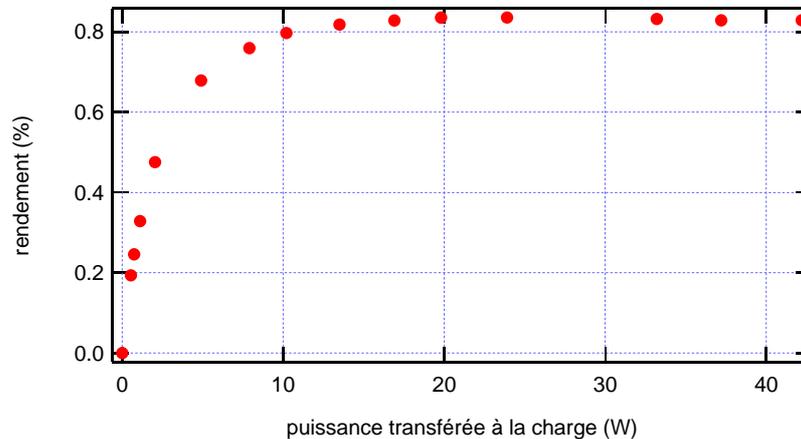
- La charge résistive placée au secondaire du transformateur doit pouvoir supporter les conditions nominales d'utilisation (attention au courant admissible...). On réalise donc le circuit suivant :



- Pour différentes charges (y compris la charge nominale), on mesure la puissance absorbée au primaire et la puissance restituée au secondaire ainsi que la valeur efficace des courants primaires et secondaires ainsi que les tensions primaires et secondaires.

1.1. Résultats expérimentaux.

- Pour la tension nominale (on mesure 223V), on trace le rendement en fonction de la puissance transférée à la charge. On note que le point (0,0) est un point expérimental (on consomme les pertes fer lorsque le transformateur est à vide, c'est à dire qu'il ne transfère aucune puissance à la charge).

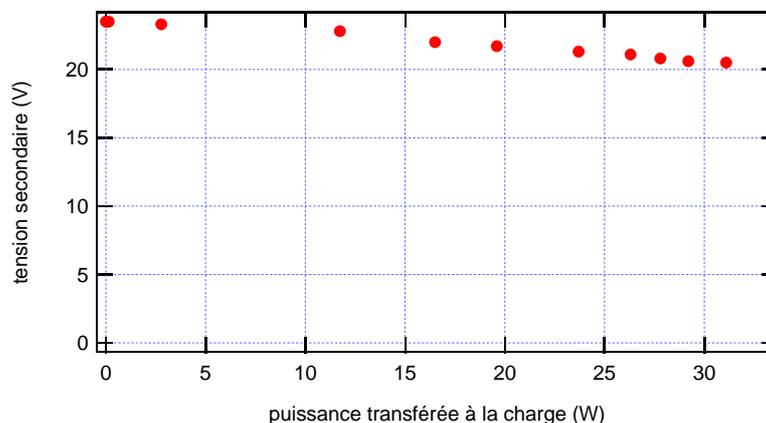


- On constate que le rendement tend vers une valeur supérieure à 80% ce qui est tolérable compte tenu de la faible puissance nominale du système. Plus la puissance nominale d'un transformateur sera importante, plus il faudra se rapprocher de 1, car les pertes provoqueront des échauffements de plus en plus importants qui vont nuire au système. Il faudra même envisager des systèmes de refroidissement qui demanderont de consommer davantage d'énergie pour évacuer l'énergie des pertes du transformateur...).

- Les causes de pertes sont les pertes fer (elles dépendent de la fréquence et de la tension d'entrée) et les pertes Joule (elles dépendent des résistances primaires et secondaires et de la charge à travers les courants appelés). Le rendement est faible pour les faibles charges, puisqu'à tension donnée, les pertes fer restent les mêmes quelle que soit la puissance transférée à la charge. Avec le transformateur étudié, le rendement est proche de son optimum, dès que l'on passe 25% de la charge. On constate une légère diminution du rendement lorsque la puissance transférée augmente. Pour des transformateurs de faible puissance comme celui que nous avons choisi d'étudier, ceci est dû à la trop forte résistance de bobinage qui entraîne un surplus de pertes Joule.

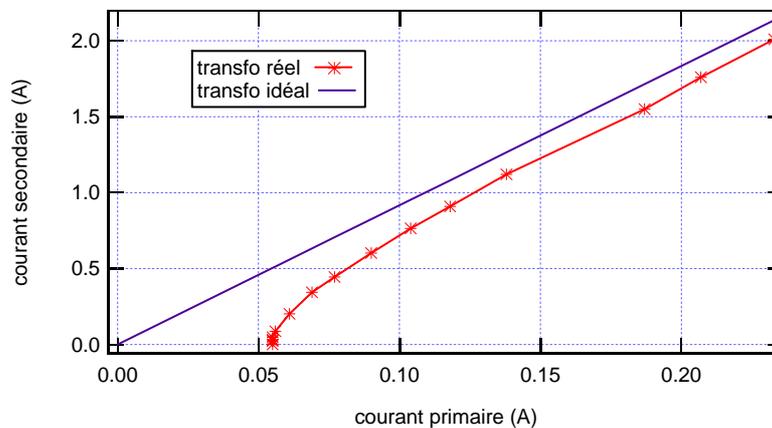
Relevé complémentaire : Une fois l'essai en charge terminé (lorsque le transformateur a pris sa température de travail), on mesure les résistances du primaire et du secondaire. Ces dernières doivent être les plus faibles possibles dans un bon transformateur. On en déduit les pertes Joule du primaire et du secondaire lors des essais précédents. Dans notre cas, pour le primaire on trouve une résistance de 57Ω et pour le secondaire une résistance de 0.80Ω .

Remarque : La tension de sortie de transfo chute notablement quand on augmente la charge, ce qui s'explique par l'impédance de sortie du système.



Remarque : En toute rigueur, lorsque la charge augmente, les courants primaires et secondaires font de même et la chute de tension due à la résistance de bobinage et à l'inductance de fuite du primaire du transformateur conduit à une légère baisse du flux dans le circuit magnétique.

Remarque : nous venons de voir que le transformateur réel a des propriétés bien différentes du transformateur parfait. A ce titre, on peut également montrer la caractéristique donnant le courant secondaire en fonction du courant primaire qui est notablement affecté par les défauts du circuit magnétique. Il n'y aurait aucun sens, pour le courant, de parler de rapport de transformation, excepté, dans une certaine mesure, pour des charges voisines de la charge nominale.



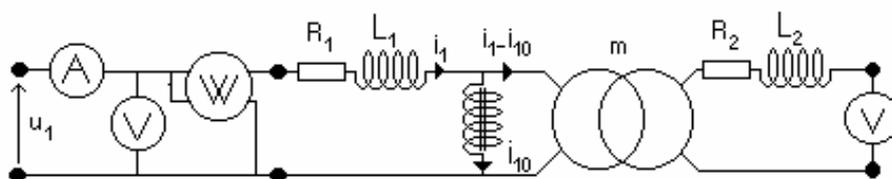
II. Etude du circuit magnétique : pertes « fer ».

Pour pouvoir faire un bilan de puissance complet, il va falloir rechercher les pertes qui résultent des fluctuations de champ d'induction magnétique dans le matériau utilisé pour canaliser les lignes de champ dans le transformateur. Ces pertes sont appelées pertes « fer ». On les décompose classiquement en pertes par hystérésis (liées aux défauts de structure du matériau magnétique) et en pertes par courant de Foucault (liées au rythme de variation de déplacement des parois de domaines magnétiques).

Pour caractériser ces défauts, on va travailler à vide, afin que les courants dans le système soient les plus faibles possibles et donc que les pertes « fer » représentent la part la plus importante de l'énergie consommée dans le transformateur.

II.1. Principe de l'expérience.

Le secondaire du transformateur est ouvert. On applique la tension d'entrée en l'augmentant progressivement de 0 jusqu'à la valeur de fonctionnement pour éviter un risque de fort appel de courant en régime transitoire. On dispose les appareils de mesures de la façon suivante:



Pour cet essai, seul le primaire est parcouru par un courant. Ce circuit est la seule cause de pertes Joule. Si on retranche les pertes Joule du primaire à la puissance mesurée par le Wattmètre, on obtient les pertes fer.

II.2. Résultats et discussion.

Les pertes par hystérésis et les pertes par courants de Foucault peuvent être respectivement approchées par les expressions

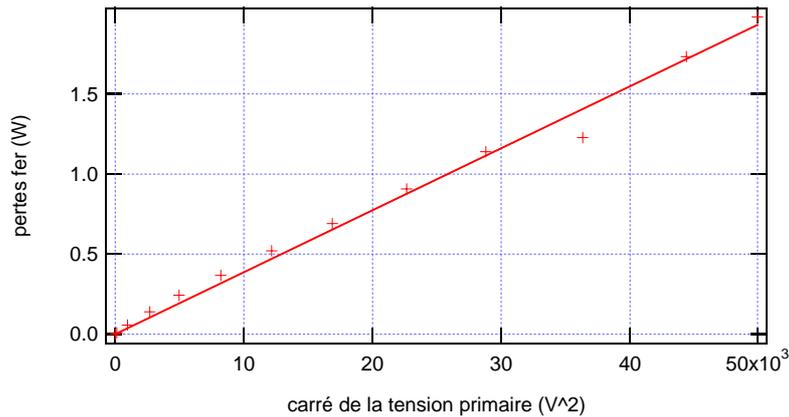
$$P_{\text{hyst}} = K_{\text{hyst}} \cdot f \cdot B_{\text{max}}^2$$

et

$$P_{\text{Foucault}} = K_{\text{Foucault}} \cdot f^2 \cdot B_{\text{max}}^2$$

Le transformateur de distribution est un système à flux forcé (ce qui signifie que la tension d'entrée est pratiquement proportionnelle à la dérivée du flux). Les pertes fer, qui sont la somme des pertes par hystérésis et par courants de Foucault, qui sont proportionnelles à B_{max}^2 sont donc également proportionnelles à U_{1eff}^2 .

Expérimentalement, avec le transformateur (220V/24V 40 V.A) si on trace les pertes fer en fonction de la tension primaire au carré, l'évolution ressemble bien à une droite.

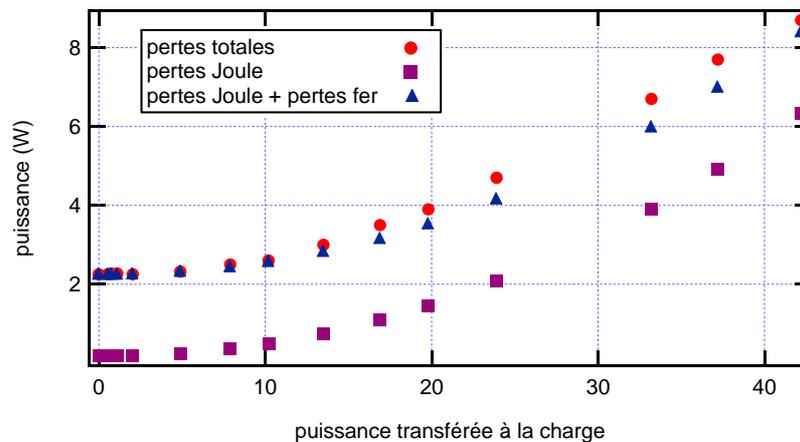


Cette courbe permettra de déterminer les pertes fer lors de l'essai en charge réalisé sous 220V, si on suppose que le système est strictement à flux forcé et que les changements de charges et les modifications de niveau de courant correspondants n'ont pas d'incidence sur le niveau de flux dans le circuit magnétique.

Pour 223V, avec notre transformateur, les pertes sont de 2,2 W.

III. Bilan de puissance.

Dans la mesure où le transformateur fonctionne à flux forcé, les pertes fer ne dépendent que de la tension d'alimentation. Si cette dernière est fixée (nous avons choisi 223V dans notre exemple), on peut supposer que les pertes fer resteront constantes quelle que soit la charge, lors de l'essai en charge (seule la chute de tension due à l'augmentation du courant avec la charge pourrait contribuer à modifier légèrement la tension créant le flux, ce qui tendrait à diminuer légèrement les pertes fer à tension d'entrée est constante).



On constate que les pertes fer et les pertes Joule sont bien les principales causes de pertes dans les transformateurs. Pour des puissances proches de la puissance nominale, il semble cependant qu'une séparation des causes de pertes conduise à sous-estimer les pertes totales. Il peut s'agir d'un légère sous estimation des résistances de bobinage.... Par ailleurs, dans ce genre d'expérience, des erreurs non négligeables peuvent être introduites par les changements de calibre automatiques des appareils... et par le fait qu'ils n'ont pas été étalonnés depuis longtemps.

Liste de matériel.

Un transformateur 220V/2x12V - 40W

Un rhéostat de charge 180Ω/2A

Un autotransformateur

Un filtre passe bas (type RC) coupant entre 1 et 5 Hz et donc intégrateur pour le 50 Hz

2 Wattmètres identiques

un voltmètre

une sonde de courant

un oscilloscope

Version du 01-05-2006