

transformateur



SALIHA AOUFI

UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIEF MSILA

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT GÉNIE ÉLECTRIQUE

EMAIL :

Table des matières



Objectifs	5
Introduction	7
I - Exercice	9
II - Exercice	11
III - chapitre 2 : Transformateur	13
A. Qu'est ce que c'est qu'un transformateur?.....	14
1. Transformateur monophasé.....	14
2. Nécessité des transformateurs triphasés:.....	19
B. Manipulation.....	20
Solution des exercices	23
Références	25

Objectifs

* **Compréhension des concepts théoriques** : Les TP permettent aux étudiants de mettre en pratique les concepts abordés en cours théorique. Ils offrent une occasion de voir comment ces concepts se manifestent dans des expériences réelles.

* **Développement des compétences expérimentales** : Les étudiants apprennent à concevoir et à réaliser des expériences, à manipuler différents types d'équipements de laboratoire, à prendre des mesures précises et à analyser les résultats obtenus.

* **Application des méthodes scientifiques** : Les TP encouragent les étudiants à appliquer la méthode scientifique en formulant des hypothèses, en planifiant des expériences, en collectant des données, en les analysant et en tirant des conclusions basées sur des preuves expérimentales.

* **Développement des compétences en résolution de problèmes** : Les étudiants sont confrontés à des situations où ils doivent résoudre des problèmes concrets, que ce soit en interprétant des résultats expérimentaux, en identifiant des sources d'erreur ou en corrigeant des problèmes techniques.

* **Familiarisation avec l'équipement de laboratoire** : Les TP permettent aux étudiants de se familiariser avec divers instruments et techniques de laboratoire utilisés en physique, ce qui est essentiel pour poursuivre des études dans ce domaine ou pour travailler dans des domaines connexes.

* **Renforcement de la pensée critique et de la capacité d'analyse** : Les TP encouragent les étudiants à réfléchir de manière critique sur les résultats obtenus, à évaluer la validité des conclusions tirées et à discuter des implications de leurs expériences.

prérequis

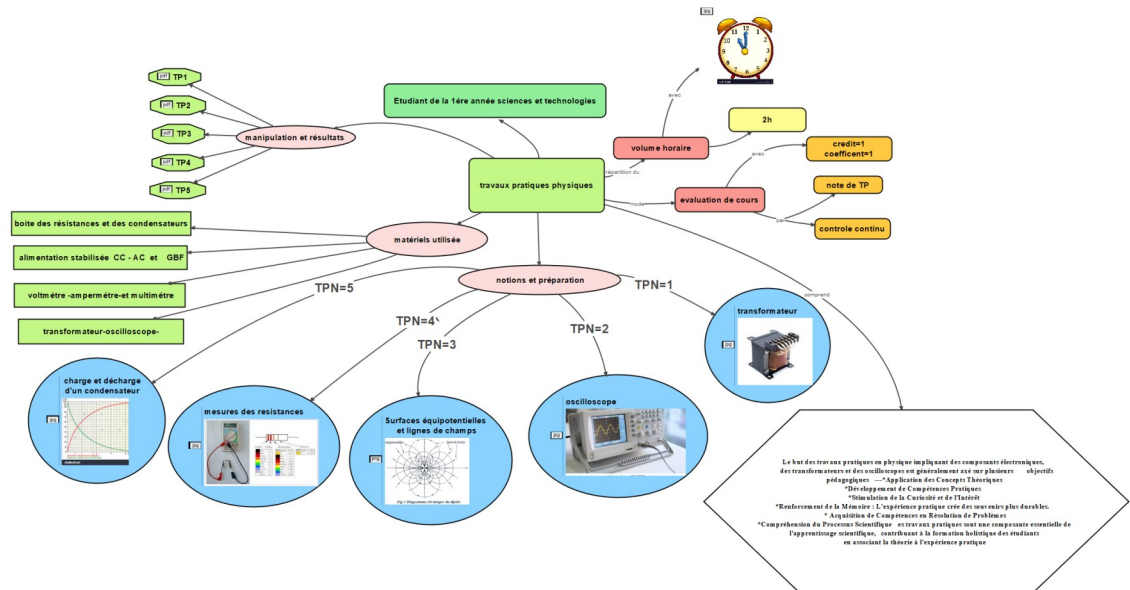
L'étudiant acquiert plusieurs compétences et concepts fondamentaux qui l'aident à comprendre le monde naturel qui l'entoure et à appliquer les théories physiques aux problèmes pratiques.

- **Concepts fondamentaux en physique** : Cela inclut les lois physiques telles que les lois du mouvement et de la dynamique, de l'électromagnétisme, de la chaleur, de l'énergie, de la lumière et du son, ainsi que la compréhension de l'application de ces lois à divers phénomènes naturels.
- **Compétences expérimentales** : Les étudiants apprennent à planifier, exécuter et analyser différentes expériences physiques, ainsi qu'à manipuler divers outils et équipements de laboratoire.
- **Pensée critique** : Les étudiants apprennent à penser de manière critique et à analyser les données expérimentales et

les résultats, ainsi qu'à évaluer la précision des mesures et à tirer des conclusions.

- **Compétences mathématiques** : Cela comprend l'utilisation des mathématiques pour résoudre des problèmes physiques, y compris l'algèbre, la géométrie analytique, le calcul différentiel et intégral.
- **Collaboration et travail d'équipe** : Les étudiants apprennent à travailler en équipe pour résoudre des problèmes physiques complexes, ce qui contribue au développement des compétences en communication et en collaboration.
- **Créativité et innovation** : L'étude de la physique appliquée encourage les étudiants à faire preuve de créativité et d'innovation pour trouver de nouvelles solutions aux problèmes physiques.

Introduction



Notions d'électricité – Notions d'électricité à avoir en tête afin d'aborder sereinement le domaine de l'électromagnétisme et ses champs électriques et magnétiques.

Concept de champs – Les champs électrique et magnétique sont des concepts distincts qui ont été inventés pour expliquer les phénomènes d'interaction à distance de l'électricité. (...)

Électromagnétisme – L'électromagnétisme étudie les interactions à distance des charges, des courants et des champs électrique et magnétique. (...)

Utilisation des propriétés électromagnétiques – Comment fonctionnent nos appareils électriques? A partir des exemples décrits, nous aurons un aperçu général du fonctionnement d'appareils qui transforment l'énergie électrique en énergie thermique et/ou mécanique ou qui utilisent les propriétés de l'électrostatique et de l'électromagnétisme.

Un transformateur électrique permet de modifier l'amplitude d'un courant ou d'une tension alternative entre la source d'électricité et la « charge », c'est-à-dire l'appareil qui lui est branché et qui consomme de l'énergie électrique. Il est en général composé de deux bobines de fil de cuivre qui entourent un noyau de métal magnétique en forme de cadre ou de tore (voir l'encadré page ci-contre). Son fonctionnement exploite l'induction électrique, qui combine deux phénomènes physiques : d'une part, tout courant électrique crée un champ magnétique ; d'autre part, tout champ magnétique variable induit **un champ électrique**.

Les lignes de champ et les équipotentielles sont des courbes et des surfaces qui permettent de représenter la topographie du champ et du potentiel électriques d'une distribution de charges donnée. Une ligne de champ est une courbe orientée tel qu'en chaque point, le champ électrique lui est tangent.

Exercice

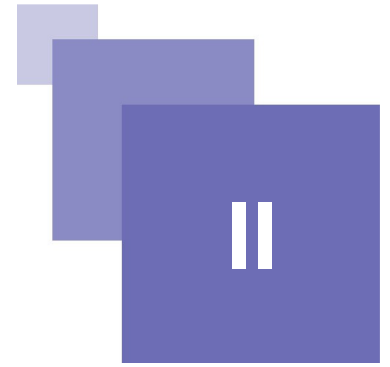


[Solution n°1 p 23]

4-*Quel est le rôle principal d'un transformateur électrique ?*

- Convertir l'énergie mécanique en énergie électrique
- Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique
- Transformer la tension et le courant électrique
- Contrôler la distribution de l'énergie thermique

Exercice



[Solution n°2 p 23]

5-Comment le rapport de transformation d'un transformateur est-il défini ?

- Par le rapport entre le nombre de spires du primaire et du secondaire
- Par la résistance du noyau magnétique
- Par la tension nominale du transformateur
- Par la fréquence du courant alternatif

chapitre 2 : Transformateur



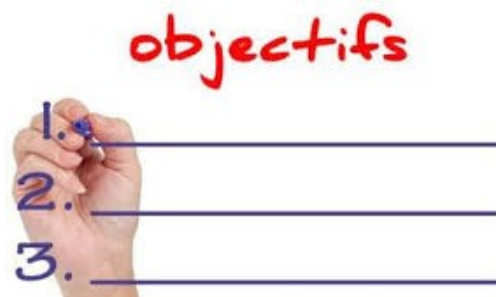
Qu'est ce que c'est qu'un transformateur?

14

Manipulation

20

Chaque fois qu'on allume une lampe électrique ou qu'on démarre un moteur, il faut simultanément produire et transporter l'énergie. L'une des raisons principales du succès de l'électricité tient à ce qu'elle est très facilement transportable. Les transformateurs sont les liens indispensables entre les différentes parties du réseau national de distribution de l'énergie électrique.



- **Compréhension du fonctionnement** : L'objectif principal est de permettre aux étudiants de comprendre le fonctionnement général d'un transformateur électrique, y compris son rôle dans la transformation de tension et de courant alternatif.
- **Analyse des paramètres** : Les étudiants devraient être en mesure d'analyser les différents paramètres d'un transformateur, tels que le rapport de transformation, la puissance nominale, l'efficacité et les pertes.
- **Mesure des performances** : L'objectif pourrait inclure la mesure expérimentale des performances d'un transformateur, telles que la tension d'entrée et de sortie, le courant, la puissance absorbée et la puissance délivrée.
- **Sécurité et manipulation** : Les étudiants devraient être sensibilisés aux bonnes pratiques de sécurité lors de la manipulation des transformateurs et des équipements électriques, y compris les mesures de protection contre les chocs électriques et les courts-circuits.
- **Applications pratiques** : L'objectif pourrait également inclure l'exploration des applications pratiques des transformateurs dans divers domaines, tels que l'alimentation électrique, la distribution d'énergie, les systèmes de transmission et les appareils électroniques.

- **Comparaison entre transformateurs idéaux et réels** : Les étudiants devraient être capables de comprendre les différences entre un transformateur idéal et un transformateur réel, en particulier en ce qui concerne les pertes et les limitations de rendement.
- **Analyse des pertes** : Les étudiants devraient être en mesure d'analyser les différentes sources de pertes dans un transformateur, telles que les pertes par effet Joule, les pertes par hystérésis et les pertes par courants de Foucault.



A. Qu'est ce que c'est qu'un transformateur?

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Dans un transformateur, l'énergie est transférée du primaire au secondaire par l'intermédiaire du circuit magnétique, généralement feuilleté pour réduire les pertes par courant de Foucault, que constitue la carcasse du transformateur. Ces deux circuits sont alors magnétiquement couplés.

1. Transformateur monophasé

1- Schéma

Un transformateur monophasé comporte un circuit magnétique feuilleté sur lequel deux enroulements sont montés: l'enroulement relié à la source appelé primaire et

l'enroulement relié à la charge appelé secondaire. On représente ci-dessous le schéma de principe.

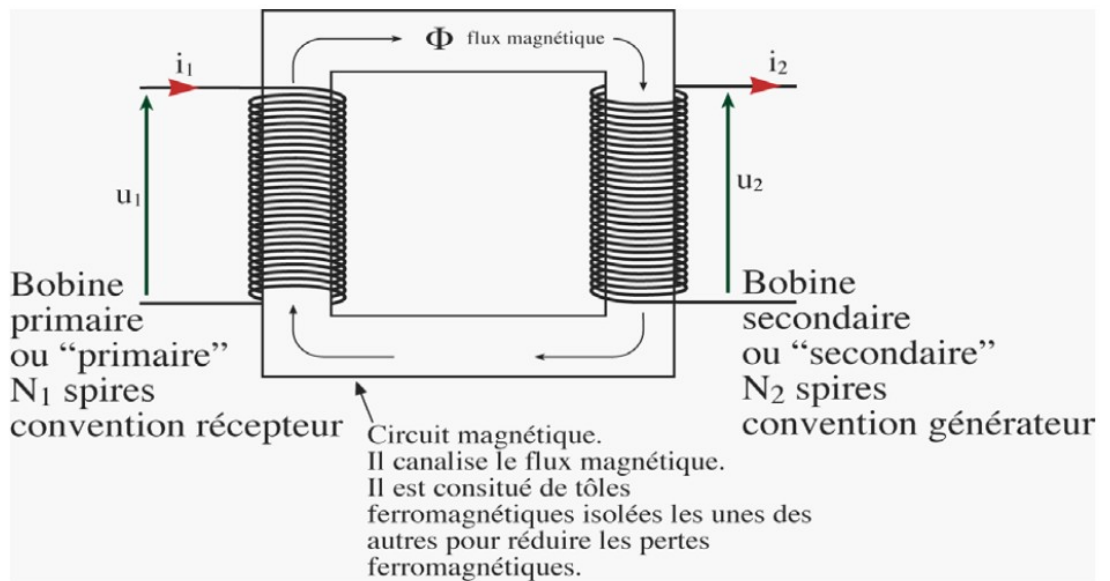


figure 8 : structure d un transformateur

- **Le primaire:** alimenté par un générateur de tension alternative de tension V₁ et comportant n₁ spires. Il absorbe le courant I₁. Le primaire transforme l'énergie électrocinétique reçue en énergie magnétique. C'est un récepteur d'énergie électrique.

- **Le secondaire:** comporte n₂ spires ; il fournit, sous la tension V₂, un courant I₂ au dipôle récepteur. Le secondaire transforme l'énergie magnétique reçue du primaire en énergie électrocinétique. C'est un générateur d'énergie électrique. C'est le phénomène d'induction magnétique qui est exploité dans le transformateur. Il est traduit par la loi de Faraday.

Loi de Faraday : une variation de flux à travers une spire crée une f.é.m. « e ». Inversement une f.é.m. « e » dans une spire crée une variation de flux à travers celle-ci.

$$e = \frac{-d\phi}{dt}$$

2- Transformateur parfait ou idéal:

C'est un transformateur virtuel sans aucune perte, il est utilisé pour modéliser un transformateur réel. Dans un transformateur parfait, le rendement est de 100% On alimente le primaire par un générateur de tension sinusoïdale U₁ qui débite un courant I₁ et par conséquent le primaire sera considéré comme récepteur. La puissance au primaire est égale à U₁ I₁. Le secondaire génère une puissance égale à U₂ I₂ pour un récepteur donné.

a- Transformateur à vide:

On ne branche pas de charge donc I₂ = 0 et le transformateur sera équivalent à une bobine ferromagnétique. Dans ce cas, c'est la force magnétomotrice f.m.m N₁ I₁ qui va donner naissance au champ magnétique. Ceci va entraîner aux bornes du secondaire l'apparition

d'une tension secondaire à vide U_{20} . En négligeant la chute de tension due au passage du courant I_{10} dans la résistance du primaire et en supposant que tout le flux traversant les spires du primaire traverse les spires secondaires, alors:

$$U_1 = \frac{N_1 \cdot d\varphi}{dt} \dots \text{et} \dots U_{20} = \frac{N_2 \cdot d\varphi}{dt} \dots \text{donc} \dots \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

b- Transformateur en charge:

Quand on branche un récepteur entre les bornes secondaires, un courant circule dans celui-ci c'est-à-dire que $i_2 \neq 0$. En négligeant la chute de tension due au passage des courants I_1 et I_2 dans les résistances R_1 et R_2 du primaire et du secondaire, en supposant aussi que le même flux traverse la totalité des spires des deux enroulements, on a:

$$U_1 = \frac{N_1 \cdot d\varphi}{dt} \dots \text{et} \dots U_2 = \frac{N_2 \cdot d\varphi}{dt} \dots \text{donc} \dots \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Le champ magnétique, créé cette fois-ci par la force magnétomotrice totale, est: $N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot I_2$. Or ce champ magnétique est constant par conséquent la cause qui lui a donné naissance restera la même (à vide comme en charge), par la suite $N_1 \cdot I_1 - N_2 \cdot I_2 = N_1 \cdot I_{10}$.

Alors

$$N_1 (I_1 - I_{10}) - N_2 \cdot I_2 = 0$$

Or, pour les fortes valeurs du courant débité, $N_1 I_1$ est très supérieur à $N_1 I_{10}$, il en est de même de

$$N_2 \cdot I_2 \rightarrow N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \Rightarrow m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

- m est appelé **le rapport de transformation**.

si $m > 1$, le transformateur est élévateur de tension abaisseur de courant;

si $m < 1$, le transformateur est abaisseur de tension élévateur de courant.

si $m = 1$, le transformateur est dit isolateur.

Donc, en basse tension, l'enroulement du transformateur utilisé contient moins de spires de grosse section si l'on compare au cas en haute tension.

- Les transformateurs ont en général un bon rendement. Comme le transformateur est parfait, et que $U_2 \cdot I_2 = U_1 \cdot I_1$ les puissances primaires sont totalement transmises au secondaire

3- Transformateur réel:

Le schéma équivalent d'un transformateur monophasé réel est le suivant

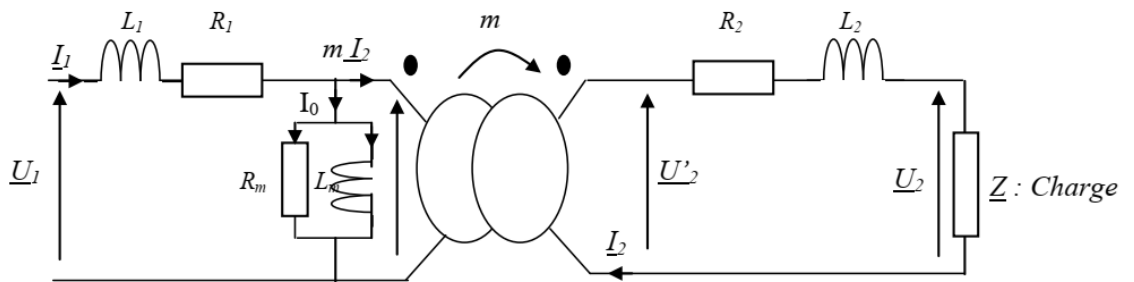


figure 9 : sheama de transformateur réel

En effet :

En réalité, les enroulements primaire et secondaire ont des résistances R1 et R2 et ne sont pas parfaitement couplés. Si le flux qui traverse les spires primaires est ϕ_1 à travers les spires secondaires est ϕ_2 . Les équations du transformateur sont:

$$\begin{cases} U_1 = R_1 I_1 + N_1 \frac{d\phi_1}{dt} \\ U_2 = R_2 (-I_2) + N_2 \frac{d\phi_2}{dt} \end{cases}$$



Remarque

Si on ne dispose pas d'une charge pouvant supporter le courant secondaire nominal, on ne peut pas faire l'essai en charge, par conséquent on fait appel à l'essai à vide et à l'essai en court circuit qui ne nécessitent pas de charge.

Bilan des puissances :

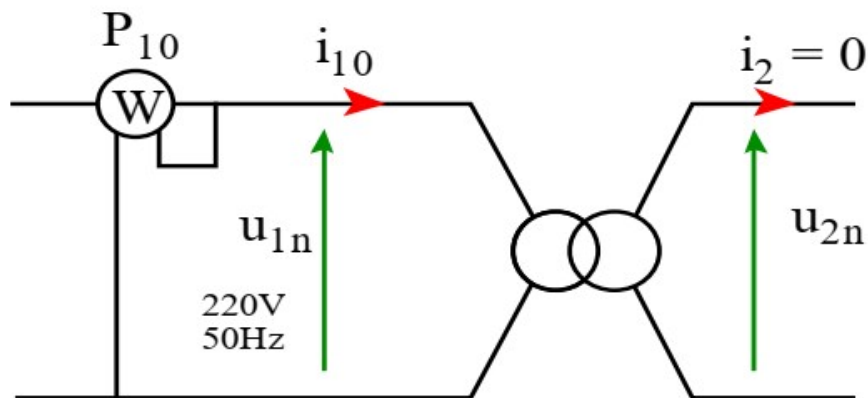
A vide le circuit secondaire est ouvert : **$I_2 = 0$ $P_2 = 0$ et $P_{J2} = 0$**

En plus **$P_{10} = P_{J10} + P_{fer}$** autrement dit toute l'énergie absorbée au primaire est utilisée pour

compenser les pertes fer **P_{fer}** et les pertes joules au primaire **P_{J10}** .

Or, à vide I_0 est très faible. Par conséquent $P_{J10} \ll P_{10}$ donc **$P_{10} = P_{fer}$** . Pour mesurer P_{10} on

insère un wattmètre au primaire comme le montre la figure ci-dessous:



Enfin l'essai à vide donne: $P_{10} = P_{fer}$

par conséquent:

$$R_m = \frac{U_1}{I_{10}} = \frac{U_1}{I_{10} \cdot \cos \varphi} \dots \text{et } L_m = \frac{U_1}{I_{10}} = \frac{U_1}{I_{10} \cdot \sin \varphi}$$



Remarque

- Les pertes fer dépendent essentiellement du champ magnétique donc de la tension U_1 et de la fréquence f . Comme ces deux grandeurs restent les mêmes à vide ou en charge, les pertes fer mesurées à vide sont les mêmes que celles en charge.
- De même pour le rapport de transformation qui est calculé à vide. Il est le même pour tous les essais.

2. Nécessité des transformateurs triphasés:

Constitution des transformateurs triphasés:

Dans les réseaux électriques triphasés, on pourrait parfaitement envisager d'utiliser 3 transformateurs, un par phase. Dans la pratique, l'utilisation de transformateurs triphasés (un seul appareil regroupe les 3 phases) est généralisée: cette solution permet la conception de transformateurs moins coûteux, avec en particulier des économies au niveau du circuit

magnétique. Il est constitué de deux parties essentielles, le circuit magnétique et les enroulements. Le circuit magnétique d'un transformateur est soumis à un champ magnétique variable au cours du temps. Pour les transformateurs reliés au secteur de distribution, cette fréquence est de 50 ou 60 hertz. Le circuit magnétique est généralement feuilleté pour réduire les pertes par courants de Foucault, qui dépendent de l'amplitude du signal et de sa fréquence. Pour les transformateurs les plus courants, les tôles empilées ont la forme de E et de I, permettant ainsi de glisser une bobine à l'intérieur des fenêtres du circuit magnétique ainsi constitué. Les enroulements sont en général concentriques pour minimiser les fuites de flux. Le conducteur électrique utilisé dépend des applications, mais le cuivre est le matériau de choix pour toutes les applications à fortes puissances.



B. Manipulation

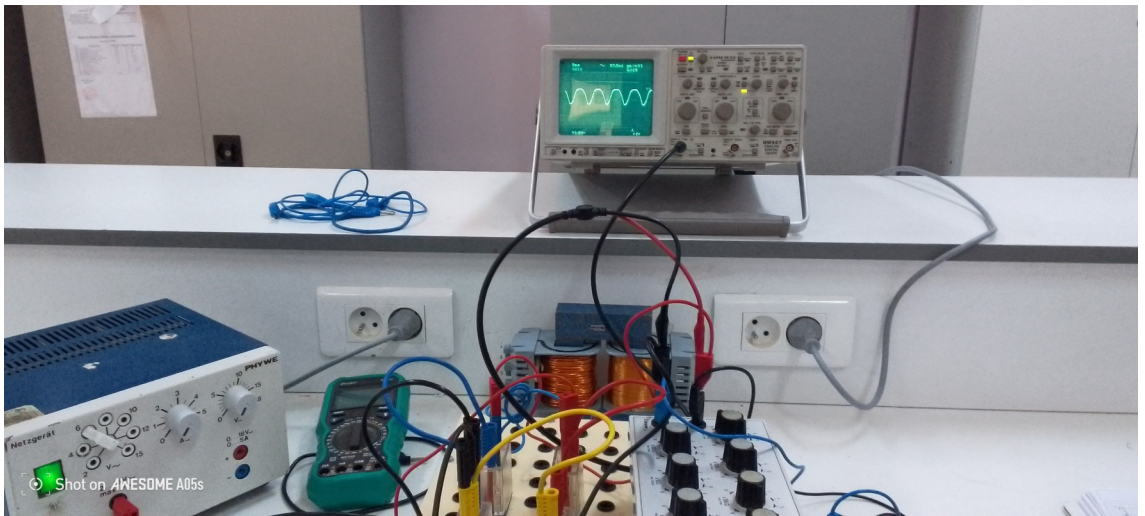


figure 10 : figure de manipulation

Réaliser le montage de la Figure précédent.

- Alimenter le circuit avec une tension $V = 4.5 \text{ V}$, qu'elle soit constante durant toute

l'expérience.

- Pour un enroulement primaire fixe de $n_1 = 300$ spires, relever la tension du secondaire.

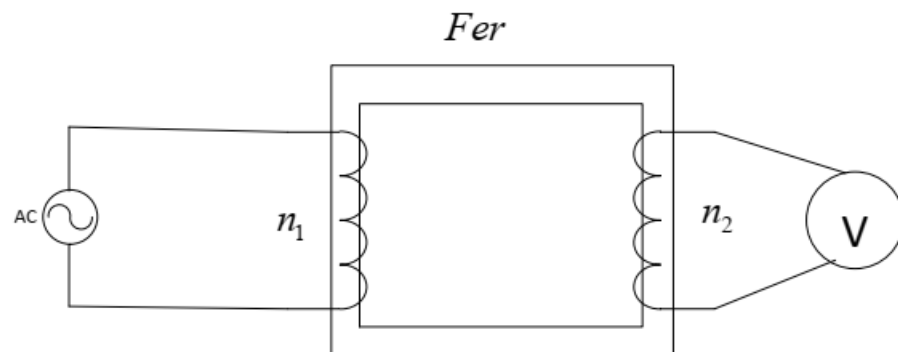
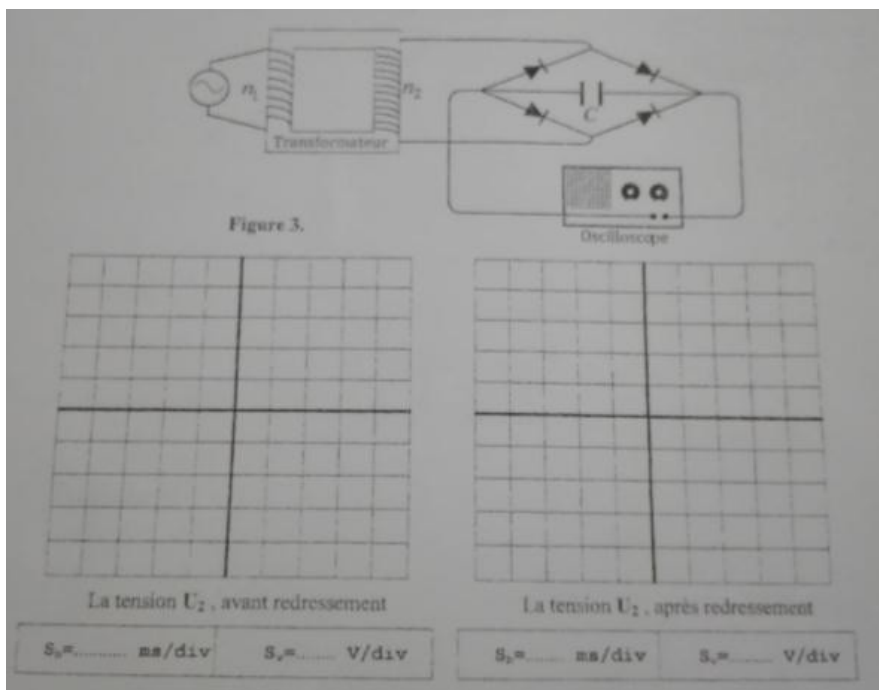


figure 11

Pour transformer le signal alternatif sortant en un signal continu, un redresseur est monté à la

sortie du transformateur, comme indiqué sur la figure 3.

- Prendre un enroulement primaire fixe $n_1 = 300$ spires.
- Prendre un enroulement primaire fixe $n_2 = 42$ spires.
- En utilisant un oscilloscope pour visualiser le signal sortant avant et après redressement, observer et tracer les signaux



n_2 (tours)	14	42	84	112	140
U_2 (Volts)					
$\frac{U_2}{U_1}$					
$\frac{n_2}{n_1}$					

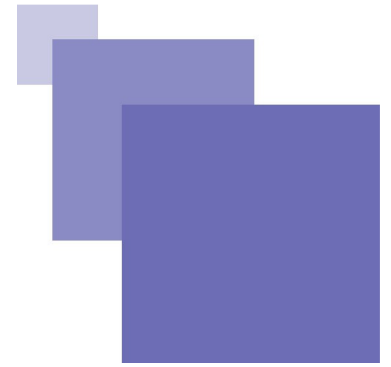
Cf. "video sur le transformateur (web_02)"
 video sur le transformateur

* *
 *

les transformateurs, nous avons pu observer et comprendre le fonctionnement d'un transformateur monophasé. Voici les principales conclusions tirées de cette expérience : 1. **Principe de fonctionnement :** Un transformateur monophasé fonctionne sur le principe de l'induction électromagnétique, où un courant alternatif dans l'enroulement primaire génère un champ magnétique variable qui induit une tension alternative dans l'enroulement secondaire. 2. **Rapport de transformation :** Le rapport de transformation du transformateur est défini comme le rapport entre le nombre de spires de l'enroulement secondaire et celui de l'enroulement primaire. Il détermine la variation de tension entre l'entrée et la sortie du transformateur. 3. **Conservation de la puissance :** Dans un transformateur idéal, la puissance électrique est conservée, ce qui signifie que le produit de la tension et du courant reste constant entre le primaire et le

secondaire^[1] ↕

Solution des exercices



> Solution n°1 (exercice p. 9)

- Convertir l'énergie mécanique en énergie électrique
- Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique
- Transformer la tension et le courant électrique
- Contrôler la distribution de l'énergie thermique

> Solution n°2 (exercice p. 11)

- Par le rapport entre le nombre de spires du primaire et du secondaire
- Par la résistance du noyau magnétique
- Par la tension nominale du transformateur
- Par la fréquence du courant alternatif

Références

- [1] • "Électromagnétisme PCSI" - P.Krempf - Editions Bréal 2003 ;
- [10] • P. Christophe « Etude des huiles et des mélanges à base d'huile minérale pour transformateurs de puissance recherche d'un mélange optimal » thèse doctorat 2005
- [11] • Formation en matière d'interprétation des essais de diagnostic des transformateurs, RED ELECTRA Internacional, Octobre 2007.
- [2] • "Physique Cours compagnon PCSI" - T.Cousin / H.Perodeau - Editions Dunod 2009 ;
- [3] • "Électromagnétisme 1ère année MPSI-PCSI-PTSI" - JM.Brébec - Editions Hachette ;
- [4] • "Cours de physique, électromagnétisme, 1.Électrostatique et magnétostatique" - D.Cordier Éditions Dunod ;
- [5] • http://perso.ensc-rennes.fr/jimmy.roussel/index.php?page=accueil_apprendre¹
- [6] • Politique de maintenance des transformateurs de puissance SONELGAZ GRTE
- [7] • IEEE STD C57.104-1991: Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil Immersed Transformers
- [8] • CEI 60076-3 Transformateurs de puissance – niveau d'isolement, essais diélectriques Et distances d'isolement dans l'air

1 - http://perso.ensc-rennes.fr/jimmy.roussel/index.php?page=accueil_apprendre

[9]

- CEI 60296 Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion

