

Travaux dirigés

Module « Électricité 2 »

*

Électrocinétique, circuits magnétiques,
transformateur monophasé, système
triphase



Arnaud MARTIN & Olivier BACHELIER

Courriel : Olivier.Bachelier@univ-poitiers.fr

Tel : 05-49-45-36-79 ; Fax : 05-49-45-40-34

Les commentaires constructifs et les rapports d'erreurs sont les bienvenus !

Résumé

Ce petit document d'énoncés de travaux dirigés s'inscrit dans le cadre des enseignements de première année de l'**IUT de Poitiers-Châtelleraut-Niort** et s'adresse aux étudiants du département de **Mesures Physiques**, situé sur le site de Châtelleraut.

L'IUT de Poitiers-Châtelleraut-Niort est un UFR de l'**Université de Poitiers**.

Le document se focalise principalement sur la maîtrise de quelques grandeurs et concepts de l'électricité (puissances active, réactive, déformante, apparente), sur les circuits magnétiques (notamment la bobine à noyau de fer), sur le transformateur monophasé, et, enfin, sur le système triphasé.

Connaissances préalables souhaitées

Les étudiants doivent s'appuyer sur le contenu de leurs notes de cours correspondant à ce module et maîtriser un minimum les concepts vus dans le module « Électricité 1 ». La maîtrise des nombres complexes est requise.

Déroulement des séances

Le module « Électricité 2 » comprend sept séances de TD de 1h30 au cours desquelles les notions vues en cours sont illustrées. Toutefois, le nombre de sujets est inférieur au nombre de séances, les sujets occupant souvent plus d'une séance.

Table des matières

1	Puissances électriques	1
1.1	Étude d'un récepteur inconnu	1
1.2	Régime de courant non linéaire	2
1.3	Récepteurs en parallèle	3
2	Circuits magnétiques	5
2.1	Application numérique... et petit point sur quelques unités du SI	5
2.2	Capteur de robot filoguidé	6
2.3	Analogie électricité/magnétisme	7
2.4	Limites de l'analogie	8
3	Bobine à noyau de fer	11
3.1	Puissances active et réactive dans une bobine	11
3.2	Schéma équivalent d'une bobine	12
4	Transformateur monophasé	15
4.1	Sur l'intérêt des transformateurs	15
4.2	Étude d'un transformateur monophasé	16
5	Système triphasé	19
5.1	Quelques questions de culture en passant	19
5.2	Installation sur système triphasé	20

TD n° 1

Puissances électriques

Objectifs

- Comprendre les caractéristiques des principales grandeurs électriques et les relations entre elles.
- Comprendre les notions de puissances active, réactive, déformante ou apparente.
- Comprendre ce qu'est le *facteur de puissance*.

Durée : 2h00

Sommaire

1.1	Étude d'un récepteur inconnu	1
1.2	Régime de courant non linéaire	2
1.3	Récepteurs en parallèle	3

1.1 Étude d'un récepteur inconnu

Un récepteur est alimenté par un générateur de courant selon le schéma de la figure 1.1. Les lois de variation de l'intensité i de ce courant et de la tension v qui en résulte aux bornes du récepteur sont également représentées sur la figure 1.1.

On suppose que $I = 10\text{A}$, $V_1 = 87\text{V}$ et $V_2 = 153\text{V}$. La fréquence du courant est $f = 1\text{kHz}$.

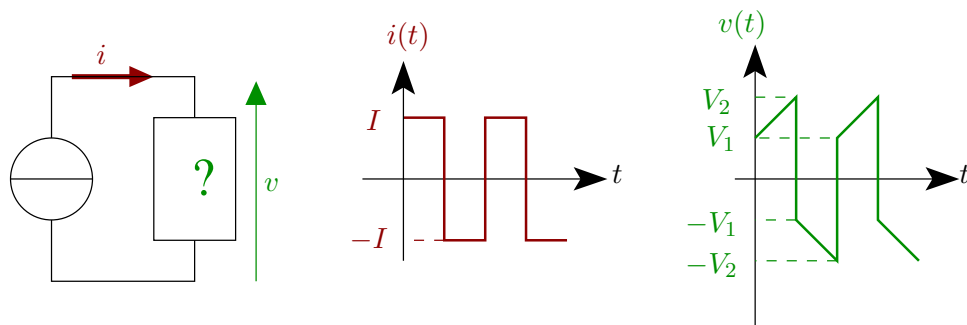


FIGURE 1.1 – Schéma du montage et chronogrammes de l'intensité et de la tension.

1. Tracer le chronogramme de la puissance instantanée en précisant les valeurs remarquables des coordonnées.
2. Exprimer puis calculer la puissance moyenne correspondante et en déduire la puissance active.
3. Exprimer puis calculer les valeurs efficaces de i et v .
4. En déduire le facteur de puissance.

Le récepteur est maintenant alimenté par une tension sinusoïdale de 100Hz

$$v(t) = V \sin(\omega t), \quad V = 100\sqrt{2}\text{V}.$$

Il en résulte un courant traversant le récepteur et dont l'intensité est

$$i(t) = I \sin(\omega t - \phi), \quad I = 4,14\sqrt{2}\text{A} \quad \text{et} \quad \phi = -1.052\text{rad}.$$

5. Calculer la puissance active mise en jeu.
6. Calculer la puissance réactive l'accompagnant.
7. Proposer un schéma équivalent simple du récepteur et donner les valeurs des composants y figurant.
8. Justifier le chronogramme de tension de la figure 1.1
9. Le facteur de puissance ne dépend-il que de la charge ?

1.2 Régime de courant non linéaire

Un récepteur (une charge) est alimenté(e) par un générateur de tension sinusoïdale obéissant à la loi

$$v(t) = V \sin(\omega t).$$

Il en résulte un courant dans la charge dont l'intensité $i(t)$ est égale à I sur les alternances positives de $v(t)$ et à $(-I)$ sur les alternances négatives de $v(t)$. On admettra que le courant $i(t)$ peut s'exprimer

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_k \cos(k\omega t + \varphi_k),$$

c'est-à-dire qu'il s'exprime comme la somme infinie de termes sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples de la fréquence de $i(t)$. Le premier terme est appelé terme *fondamental* (résultat qui sera vu en mathématiques et en traitement du signal).

Les valeurs numériques sont $V = 220\sqrt{2}\text{V}$, $I = 10\text{A}$ et $\omega = 100\pi$.

1. Donner l'allure de $v(t)$ et de $i(t)$ sur le même chronogramme.
2. Quelle est la fréquence de $v(t)$? Et celle de $i(t)$?
3. Esquisser un chronogramme de la puissance $p(t) = v(t)i(t)$.
4. Donner l'expression du terme fondamental de $i(t)$.
5. Calculer la puissance moyenne dans la charge, notée $\langle p \rangle$. Déduire la puissance active P .
6. Calculer la puissance apparente S .
7. Calculer la valeur efficace $I_{1\text{eff}}$ correspondant au terme fondamental de $i(t)$ en utilisant la formule suivante (qui sera justifiée en mathématiques et en traitement du signal),

$$I_1 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \sin(\omega t) dt,$$

où T est la période de $i(t)$.

8. Calculer le déphasage φ_1 associé.
9. Reprendre les quatre questions précédentes en considérant que $i(t)$ conserve sa forme mais est maintenant retardé par rapport à $v(t)$ d'un temps $\tau = \frac{\psi}{\omega}$ (considérer $\psi = 30^\circ$ pour l'application numérique).
10. Que devient le facteur de puissance ?

1.3 Récepteurs en parallèle

On applique au dispositif de la figure 1.2, entre les bornes E et F , une tension sinusoïdale $v(t)$ de valeur efficace $V_{\text{eff}} = 365\text{V}$ et de pulsation ω réglable. Les composants vérifient les relations, $R_1 = R_2 = R$ et $C_1 = 2C_2 = 2C$. Seul le régime permanent est étudié dans cet exercice.

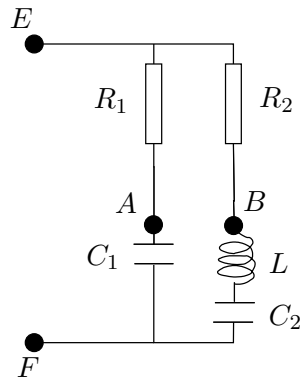


FIGURE 1.2 – Charge constituée de deux dipôles en parallèle

1. Pour quelle(s) valeur(s) de ω les deux résistances absorbent-elles la même puissance active ?
2. Quelle(s) est (sont) la (les) valeur(s) de ω pour laquelle (lesquelles) le dispositif n'absorbe ni de fournit de puissance réactive ?
3. Pour quelle valeur de ω la tension $v_{AB}(t)$ entre A et B est-elle en quadrature avec la tension $v(t)$ entre E et F ?
4. (S'il reste beaucoup de temps !) Quelle est alors la valeur efficace de $v_{AB}(t)$ ainsi que celle de l'intensité du courant total absorbé ?

TD n° 2

Circuits magnétiques

Objectifs

- Connaître quelques propositions de base d'électromagnétisme.
- Savoir utiliser quelques concepts tels que l'induction magnétique, le flux magnétique, la force magnétomotrice, la réluctance, la perméabilité magnétique, etc.
- Mettre à profit l'analogie avec les circuits électriques.
- S'initier au dimensionnement de circuits électromagnétiques (nombre de spires, etc.)

Durée : 2h30

Sommaire

2.1	Application numérique... et petit point sur quelques unités du SI	5
2.2	Capteur de robot filoguidé	6
2.3	Analogie électricité/magnétisme	7
2.4	Limites de l'analogie	8

2.1 Application numérique... et petit point sur quelques unités du SI

Un tore de rayon intérieur $r_i = 10\text{cm}$ et de rayon extérieur $r_e = 15\text{cm}$ est constitué d'un matériau ferromagnétique de telle sorte qu'il peut être assimilé à une tube d'induction parfait. La perméabilité magnétique relative du matériau est égale à $\mu_r = 2000$. Le tore est enlacé par un solénoïde comportant $n = 500$ spires et parcouru par un courant d'intensité constante $I = 0,5\text{A}$, comme indiqué par la figure 2.1.

1. Calculer la section S du tore.
2. Calculer la réluctance \mathcal{R} du circuit magnétique.
3. Calculer le flux magnétique Φ dans le tore.
4. Calculer l'inductance L du solénoïde.
5. Calculer B , la norme du champ d'induction magnétique moyen dans le circuit.
6. Calculer l'énergie stockée dans la bobine électrique.

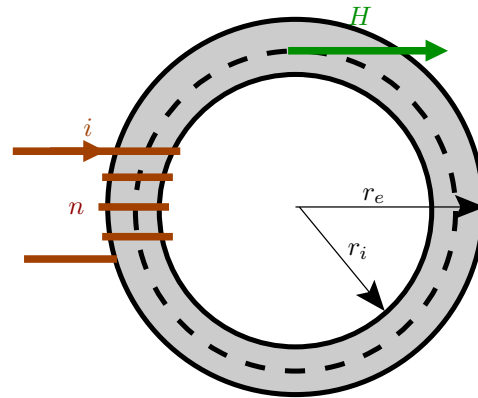


FIGURE 2.1 – Tore ferromagnétique enlacé par un solénoïde

2.2 Capteur de robot filoguidé

Un robot, dont les roues motrices sont entraînées par deux petits moteurs électriques et dont la troisième roue est libre, doit suivre un fil électrique posé au sol et traversé par un courant d'intensité sinusoïdale $i(t)$ ainsi exprimée :

$$i(t) = I \sin(\omega t).$$

Contrairement à ce qu'indique la figure 2.2, ce robot n'a pas d'œil. Il dispose en revanche de deux solénoïdes qui sont disposés sur le même axe à l'avant dudit robot. Cet axe « frôle » le fil électrique guide à une distance h . Le principe est simple. Le courant électrique parcourant le fil guide induit une excitation magnétique dans les deux bobines (un peu plus dans celle qui est la plus près du fil).

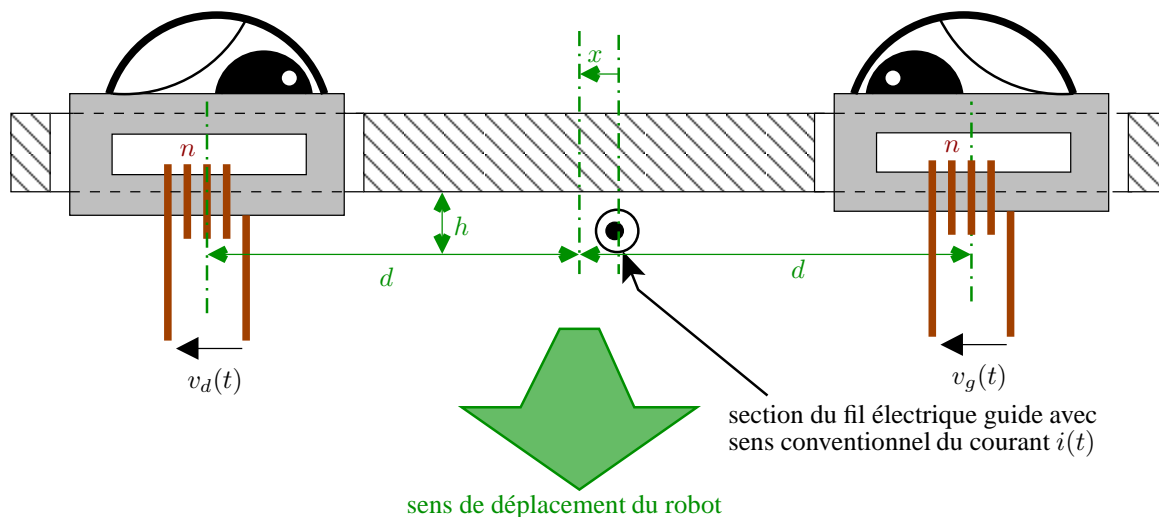


FIGURE 2.2 – Capteurs comportant deux bobines à noyaux de ferrite

Pour renforcer cette excitation magnétique et la canaliser à l'intérieur des solénoïdes, ces derniers sont traversés par des circuits de ferrite dont la perméabilité magnétique relative est considérée comme constante dans tout le circuit et égale à $\mu_r = 10000$. Ainsi les lignes de champ d'induction sont considérées comme parallèles à l'axe du capteur (donc horizontales).

Les deux flux magnétiques parcourant ces circuits de ferrite génèrent une différence de potentiel électrique aux

bornes de chacune des deux bobines ($v_d(t)$ pour la bobine droite et $v_g(t)$ pour la bobine gauche).

Il s'agit ensuite d'exploiter ces deux tensions pour avoir une image de la position x du robot par rapport au fil conducteur dans le but (mais c'est un autre problème) de le réorienter.

Le circuit magnétique étant vu comme parfait (c'est-à-dire homogène et isotrope), l'excitation, l'induction et le flux magnétiques y sont supposés indépendants du point du circuit considéré, ce pour un instant t donné. Ainsi, le centre de la bobine sera considéré comme le point de calcul des champs. Il est situé à une hauteur h et à une distance d du milieu de l'axe du capteur.

Sur la base de ce principe, l'exercice vise à expliquer comment faire une mesure approximative de x .

1. Exprimer la valeur instantanée de l'induction magnétique au centre de la bobine droite. Quelle est sa valeur efficace ?
2. Faire de même avec la bobine gauche.
3. Exprimer le flux droit et le flux gauche ainsi que leurs valeurs efficaces.
4. Exprimer $V_{d_{\text{eff}}}$ et $V_{g_{\text{eff}}}$. Quelles sont les amplitudes V_d et V_g associées ?
5. En faisant l'hypothèse que la hauteur h est très faible, exprimer la différence $V = V_d - V_g$.
6. Si le robot est correctement asservi, le centre du capteur reste à proximité du fil, de sorte que $|x|$ est toujours faible devant d (voir figure 2.2). Prendre en compte cette approximation pour montrer que V est alors linéaire par rapport à x .
7. Dans quel sens dévie le robot si la différence V est positive ?
8. La position asservie x étant censée rester dans l'intervalle $[-1\text{cm}; 1\text{cm}]$, calculer le nombre n approprié de spires pour que V soit comprise entre -1V et 1V , sachant que :
 - la fréquence du courant dans le fil guide est $f = 3\text{kHz}$;
 - sa valeur efficace est $I_{\text{eff}} = 500\text{mA}$;
 - la distance d est de 10cm ;
 - la section de circuit de ferrite est $S = 1\text{cm}^2$.
9. Question d'électronique : expliquer dans les grandes lignes comment construire un dispositif d'électronique analogique qui puisse, en pratique, délivrer directement la tension V .

Remarque 2.1 *En pratique, on peut se passer de prendre un circuit magnétique fermé. On se contente de deux barres de ferrite. L'excitation magnétique est moindre car le flux traverse une zone d'air mais on peut amplifier les signaux perçus. Dans les faits, même si les hypothèses « h faible » et « $|x| \ll d$ » ne sont pas vérifiées, on peut expérimentalement mesurer $V_{d_{\text{eff}}}$ et $V_{g_{\text{eff}}}$ et regarder quel est l'ordre de grandeur de V , puis jouer sur I , sur n ou encore sur f pour avoir une sensibilité exploitable du capteur, sans forcément mener tous les calculs. Même si V ne dépend pas linéairement de x , un asservissement simple est réalisable, dès lors que le robot ne roule pas à toute allure.*

2.3 Analogie électricité/magnétisme

Soit le circuit magnétique représenté sur la figure 2.3, très utile pour la réalisation de transformateurs monophasés. Les trois tronçons du circuit sont faits du même matériau ferromagnétique dont la perméabilité magnétique relative est égale à $\mu_r = 1500$ (on considère le matériau comme homogène et isotrope). La section sur tout le parcours des flux induits est constante et vaut $S = 20\text{cm}^2$.

Les longueurs moyennes des trois tronçons du circuit magnétique sont respectivement égales à $l_1 = 30\text{cm}$, $l_2 = 10\text{cm}$ et $l_3 = 30\text{cm}$.

L'objectif est de calculer le nombre n de spires pour que l'inductance du solénoïde soit égale à $L = 20\text{mH}$.

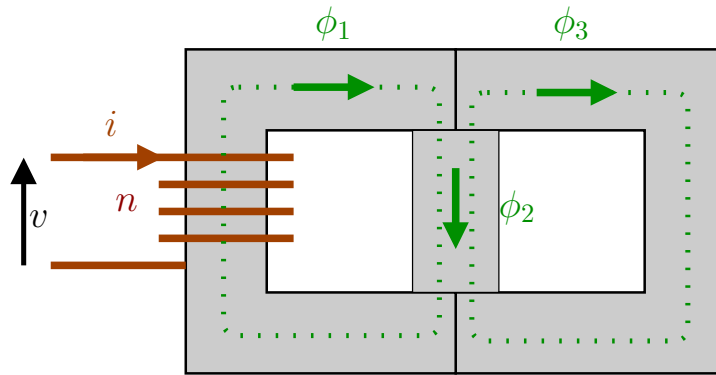


FIGURE 2.3 – Circuit ferromagnétique à trois tronçons enlacé par un solénoïde

1. Dessiner un « schéma magnétique » par analogie avec les schémas électriques. Y devront figurer les flux, les réluctances et la force magnétomotrice.
2. Exprimer puis calculer les trois réluctances \mathcal{R}_1 , \mathcal{R}_2 et \mathcal{R}_3 apparaissant dans le circuit précédemment dessiné.
3. Calculer \mathcal{R}_{eq} , la réluctance équivalente que traverse le flux ϕ_1 .
4. Déduire le nombre n de spires pour obtenir $L = 20\text{mH}$.

2.4 Limites de l'analogie

Dans cet exercice, on reprend la logique de l'exercice précédents mais les choses se compliquent un peu comme le montre entre autres la figure 2.4. En effet, les trois tronçons ont des caractéristiques géométriques vraiment différentes :

Tronçon	1	2	3
Longeur (cm)	28,2	37,8	9,4
Section (cm ²)	3	2	1

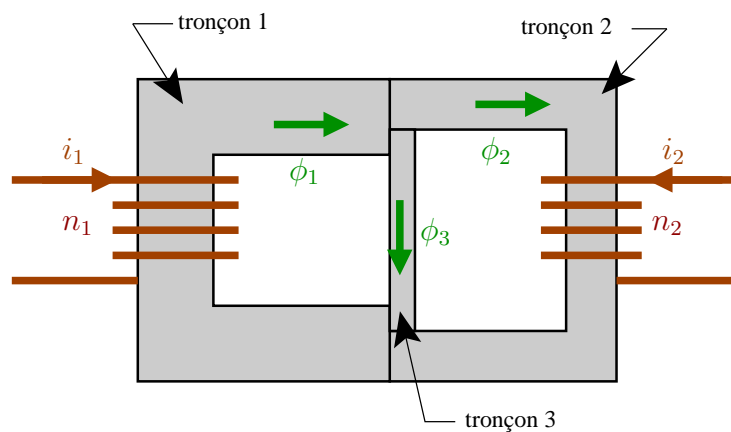


FIGURE 2.4 – Circuit ferromagnétique à trois tronçons enlacé par deux solénoïdes

Par ailleurs, le circuit ferromagnétique est cette fois-ci enlacé par deux solénoïdes comportant respectivement $n_1 = 1000$ et $n_2 = 250$ spires, et parcourus par des courants d'intensités constantes respectives $I_1 = 1\text{A}$ et $I_2 = 2\text{A}$.

Enfin, la perméabilité magnétique du matériau est indépendante du point du circuit considéré mais dépend de la valeur de l'excitation magnétique, selon la loi donnée par la figure 2.5.

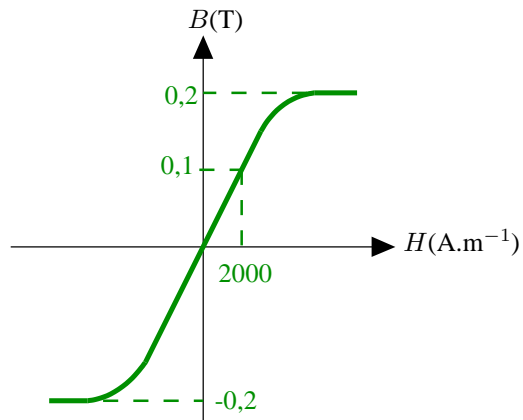


FIGURE 2.5 – Caractéristique de l'induction magnétique en fonction de l'excitation magnétique

1. En utilisant l'analogie avec les circuits électriques, calculer les inductions dans les trois tronçons.
2. Que deviennent ces valeurs si les deux intensités I_1 et I_2 sont doublées ?

TD n° 3

Bobine à noyau de fer

Objectifs

- Connaître la relation de Boucherot
- Utiliser le diagramme de Fresnel pour comprendre des considérations de puissances.
- Calculer des pertes fer.
- Comprendre ce qu'est le schéma équivalent d'une bobine à noyau de fer.

Durée : 2h00

Sommaire

3.1 Puissances active et réactive dans une bobine	11
3.2 Schéma équivalent d'une bobine	12

3.1 Puissances active et réactive dans une bobine

On étudie une bobine à noyau de fer de longueur moyenne $l = 48\text{cm}$ et de section droite $S = 1,42\text{cm}^2$, sur laquelle est enroulée un solénoïde de $n = 5000$ spires jointives. L'inductance de fuite de cette bobine est négligeable.

On soumet la bobine à une tension

$$v(t) = V_m \cos(\omega t), \quad \text{avec} \quad V_m = 200\sqrt{2}\text{V} \quad \text{et} \quad \omega = 400\text{rad.s}^{-1}. \quad (3.1)$$

L'intensité du courant qui traverse alors la bobine s'exprime

$$i(t) = \underbrace{I_{1m} \cos(\omega t - \phi_1)}_{i_1(t)} + \underbrace{I_{3m} \cos(3\omega t - \phi_3)}_{i_3(t)} + \underbrace{I_{5m} \cos(5\omega t - \phi_5)}_{i_5(t)} + \vartheta(t)$$

où le premier terme $i_1(t)$, important dans la suite de l'exercice, est appelé *fondamental du courant*, où $\vartheta(t)$ est un terme négligeable et où les trois amplitudes sont données par

$$I_{1m} = 11\text{A}, \quad I_{3m} = 3,6\text{A} \quad I_{5m} = 1,3\text{A}.$$

1. Quelle doit être la valeur efficace d'une tension sinusoïdale de 50Hz pour avoir la même amplitude d'induction B_m que celle correspondant au cas décrit ci-dessus ?
2. Calculer cette amplitude B_m .

On branche en parallèle à la bobine un condensateur de capacité $C = 133\mu\text{F}$. La tension imposée est toujours celle donnée par l'équation (3.1). On constate que l'amplitude du fondamental reste de 11A.

3. Calculer la valeur efficace de l'intensité du courant traversant le condensateur.
4. Exprimer le fondamental du courant sans et avec le condensateur.
5. Comparer la valeur efficace fondamentale à la valeur efficace du courant dans la bobine.
6. Calculer P_a , la puissance active absorbée.
7. Calculer P_{Fer} , la puissance correspondant aux pertes fer, sachant que la résistance du solénoïde est égale à $r = 3,53\Omega$.

On effectue un essai à 50Hz pour une tension sinusoïdale de valeur efficace 200V.

8. Dans quel sens vont évoluer les pertes fer ?

On sait que pour le premier essai à $V_{\text{eff}} = 200\text{V}$ et $\omega = 400\text{rad.s}^{-1}$, les pertes dues au cycle d'hystérésis du matériau sont trois fois moindres que celles dues au courant de Foucault.

9. Comment se partagent les pertes fer pour $V_{\text{eff}} = 200\text{V}$ et $f = 50\text{Hz}$?
10. Calculer les deux types de pertes fer dans les deux cas considérés.

On alimente la bobine avec deux composants en parallèle :

- un condensateur de capacité $C' = 66.5\mu\text{F}$;
- une résistance R .

La tension est celle exprimée en (3.1).

11. Dessiner le schéma équivalent.
12. Quelle valeur de R conduit à conserver l'amplitude du fondamental du courant égale à 11A ?
13. Quelle information n'a pas été utilisée dans cet exercice ?

3.2 Schéma équivalent d'une bobine

Un circuit magnétique de longueur moyenne $l = 40\text{cm}$ et de section utile constante $S = 8\text{cm}^2$ est enlacé par un enroulement de $n = 200$ spires. Les fuites et pertes ohmiques (ou pertes Joule) dans cet enroulement sont négligées.

On excite la bobine ainsi constituée par une tension en cosinus de fréquence $f = 50\text{Hz}$ et de valeur efficace V_{eff} . La perméabilité relative du matériau est égale à $\mu_r = 2000$.

1. Exprimer clairement la tension $v(t)$.
2. Calculer V_{eff} de sorte à obtenir une amplitude d'induction égale à $B_m = 1,62\text{T}$.
3. Calculer I_M , la valeur maximale de l'intensité du courant délivré dans la bobine.

L'intensité $i(t)$ du courant délivré dans l'enroulement s'exprime

$$i(t) = \underbrace{I_{1m} \cos(\omega t - \phi_1)}_{i_1(t)} + \underbrace{I_{3m} \cos(3\omega t - \phi_3)}_{i_3(t)} + \underbrace{I_{5m} \cos(5\omega t - \phi_5)}_{i_5(t)} + \vartheta(t) \quad (3.2)$$

où $\vartheta(t)$ est un terme négligeable et où les trois amplitudes sont données par

$$I_{1m} = 1,26\text{A}, \quad I_{3m} = 0,28\text{A} \quad I_{5m} = 0,08\text{A}.$$

Par ailleurs, la puissance active absorbée par la bobine est égale à $P_a = 8,4\text{W}$.

4. Calculer I_{eff} la valeur efficace de l'intensité du courant absorbée par la bobine de fer, sur la base de l'expression de $i(t)$.
5. Vérifie-t-on $I_M = \sqrt{2}I_{\text{eff}}$?
6. Dessiner le schéma équivalent de cette bobine à noyau de fer en faisant bien apparaître les éléments constitutifs de ce schéma.
7. Calculer l'impédance de la partie inductive de ce schéma.
8. Calculer $I_{a_{\text{eff}}}$, la valeur efficace de l'intensité du courant traversant la partie résistive du schéma.
9. En déduire la valeur de R_{Fer} , la résistance apparaissant dans le schéma.
10. Donner une expression de l'intensité du courant traversant *le schéma équivalent* de la bobine à noyau de fer.
11. Comparer sa valeur efficace à celle déduite de (3.2).
12. Exprimer l'induction magnétique correspondant au schéma équivalent.
13. Calculer l'angle d'écart hystérétique.
14. Déduire l'expression de l'excitation magnétique.
15. Esquisser un dessin du cycle hystérétique.
16. Calculer la surface de la zone d'hystérésis.
17. Calculer la perméabilité magnétique complexe associée au schéma équivalent.
18. Comparer la valeur trouvée à celle déduite du début de l'énoncé.
19. En déduire la réductance complexe.

TD n° 4

Transformateur monophasé

Objectifs

- Comprendre l'intérêt des transformateurs.
- Utiliser le schéma équivalent d'un transformateur.
- Connaître une procédure standard d'essai de transformateur monophasé.
- Calculer un rendement.
- Calculer une chute de tension au secondaire.

Durée : 1h00

Sommaire

4.1	Sur l'intérêt des transformateurs	15
4.2	Étude d'un transformateur monophasé	16

4.1 Sur l'intérêt des transformateurs

Le but de cet exercice est d'illustrer en quelques calculs l'intérêt d'utiliser des transformateurs pour le transport de l'énergie électrique. L'énergie électrique qui parvient à nos domiciles ou à nos usines nous est fournie par une tension dont la valeur efficace est assurée à $V_{\text{eff}} = 220\text{V}$. L'intensité du courant dépend de la charge que représente les appareils branchés dans les bâtiments... et c'est très variable !

On considère ici le cas d'un « gros consommateur » (une usine par exemple) qui absorbe un courant dont l'intensité efficace est $I_{\text{eff}} = 150\text{A}$. De plus, ce client étant situé assez loin de la source de tension, on considère que le câblage lui permettant d'accéder à l'énergie représente une résistance non nulle mais néanmoins faible de $r = 1,5\Omega$. Pour simplifier, le récepteur est considéré comme purement résistif.

1. Faire un schéma de principe de cette distribution.
2. Quelle tension efficace au niveau de la source permet d'assurer une tension efficace de 220V au niveau du récepteur ?
3. Est-ce raisonnable pour les petits particuliers habitant près de la source et qui se contentent de brancher une ampoule ?
4. Quelle est la puissance utile fournie à ce récepteur ?
5. Calculer la puissance dissipée dans le câble ?
6. Commenter.

Un transformateur élévateur de rapport $m = 25$ est inséré juste après la source. Un autre transformateur abaisseur de rapport $\frac{1}{m}$ est placé juste avant le récepteur. Ce dernier est toujours alimenté en 220V et consomme toujours un courant efficace de 150A. Les deux transformateurs sont considérés comme parfaits.

7. Refaire le schéma de principe de cette distribution.
8. Quelle est la tension efficace au secondaire du transformateur abaisseur ?
9. Quelle est la tension efficace au primaire du transformateur abaisseur ?
10. Quelle est la valeur efficace de l'intensité du courant parcourant la portion de réseau considérée ?
11. Quelle est la chute de tension le long des câbles ?
12. Quelle est la puissance dissipée dans ces câbles ?
13. Quelle est la tension efficace au secondaire du transformateur élévateur ?
14. Quelle est la tension efficace au primaire du transformateur élévateur ?
15. Commenter.

4.2 Étude d'un transformateur monophasé

Un circuit magnétique de section 50cm^2 est utilisé pour réaliser un transformateur monophasé. Le primaire de ce transformateur est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{\text{eff}} = 220\text{V}$ et de fréquence 50Hz.

1. Calculer le nombre minimal de spires du solénoïde au primaire sachant que l'on veut limiter l'amplitude de l'induction dans le circuit magnétique à 1 Tesla.

On réalise sur le transformateur une procédure classique d'essais, à savoir un essai à vide et un essai en court-circuit. On note par un indice « 0 » les grandeurs obtenues à vide et par un indice « cc » les grandeurs mesurées en court-circuit. L'indice « 1 » correspond au primaire et l'indice « 2 » correspond au secondaire. Les résultats des mesures sont les suivants :

- essai à vide : $V_{1\text{eff}} = 220\text{V}$, $V_{20\text{eff}} = 110\text{V}$, $I_{10\text{eff}} = 0,5\text{A}$ et $P_{10} = 22\text{W}$;
- essai en court-circuit : $V_{1\text{cc}\text{eff}} = 20\text{V}$, $I_{1\text{cc}\text{eff}} = 5\text{A}$, $I_{2\text{cc}\text{eff}} = 10\text{A}$, et $P_{1\text{cc}} = 40\text{W}$.

2. En déduire le schéma équivalent du transformateur.

Le primaire est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace $V_{\text{eff}} = 220\text{V}$ et de fréquence 50Hz. On branche au secondaire une charge qui se révèle parcourue par un courant d'intensité efficace $I_{2\text{eff}} = 10\text{A}$. Par ailleurs, elle est caractérisée par un angle ϕ positif (on parle de ϕ « avant ») vérifiant $\cos(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2}}$. On se place dans le cadre de l'approximation de Kapp (déphasage en entre $v_{20}(t)$ et $v_2(t)$ négligé).

3. Quelle est la tension efficace aux bornes de la charge ?
4. Quelle est la chute de tension relative (exprimée en %) ?
5. Quel est le rendement η du transformateur ?
6. Quelle est l'intensité efficace du courant au primaire ?

On n'oublie temporairement l'approximation de Kapp.

7. Reprendre les réponses aux quatre questions précédentes.
8. Commenter.

On place maintenant au secondaire du transformateur une charge révélant un $\cos(\phi)$ avant (négatif) égal $\cos(\phi) = 0.92$. On impose dans cette charge un courant d'intensité efficace $I_{2\text{eff}} = 2\text{A}$ et une tension efficace à ses bornes de $V_{2\text{eff}} = 110\text{V}$. On considère l'approximation de Kapp comme valide.

9. Quelle valeur de tension efficace doit être appliquée au primaire ?
10. Quelle est la chute relative de tension (exprimée en %) ?
11. Quel est le rendement η du transformateur ?

TD n° 5

Systeme triphasé

Objectifs

- Différencier les groupements « étoile » des groupements « triangle ».
- Maîtriser les formules de puissances relatives à un système triphasé.
- Calculer les intensités des courants appelés par les charges d'une installation alimentée en triphasé.
- Comprendre ce qu'est le relèvement du facteur de puissance.

Durée : 1h30

Sommaire

5.1 Quelques questions de culture en passant	19
5.2 Installation sur système triphasé	20

5.1 Quelques questions de culture en passant

En France, l'énergie électrique est transportée sur un réseau triphasé. Cependant, dans la grande majorité des habitations récentes, elle est fournie aux particuliers de façon monophasée, à 50Hz et pour une valeur efficace de 220V. Pour utiliser cette énergie, il suffit généralement de brancher l'appareil à utiliser à une prise électrique telle que celle représentée sur la figure 5.1



FIGURE 5.1 – Prise électrique sans grande originalité !!!

1. Comment peut-on « deviner » que l'énergie électrique est convoyée par un réseau triphasé ?
2. À quels potentiels correspondent les deux trous et la fiche mâle de la prise.
3. Du coup, à quoi sert cette fiche mâle (qui n'est d'ailleurs pas toujours utilisée) ?
4. Statistiquement, la phase qui est apportée chez chaque particulier est-elle la même que chez son voisin ? (Justifier.)

5.2 Installation sur système triphasé

Une installation électrique est alimentée par un réseau triphasé trois fils dont la tension composée a pour valeur efficace $U_{\text{eff}} = 380\text{V}$ et dont la fréquence est $f = 50\text{Hz}$. L'installation est représentée sur le figure 5.2. Elle comprend :

- trois moteurs asynchrones triphasés parfaitement identiques, de puissance utile $P_u = 4,4\text{kW}$, de rendement $\eta = 0,85$ et de facteur de puissance $\cos(\phi_1) = 0,8$ (arrière);
- Trois résistances de chauffage dissipant au total une puissance $P_J = 2\text{kW}$;
- Trois charges identiques et d'impédance complexe $\underline{Z} = R + jX$, avec $R = 4\Omega$ et $X = 6\Omega$.

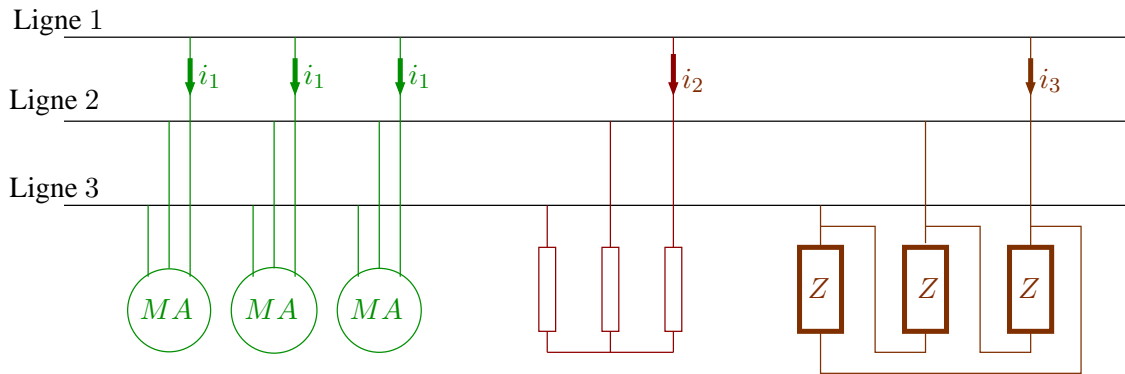


FIGURE 5.2 – Installation électrique alimentée par un système triphasé

1. Le système triphasé est-il équilibré ? (Justifier.)
2. Calculer les valeurs efficaces des intensités i_1 , i_2 et i_3 .
3. Quel est leur déphasage par rapport à v , la tension simple du système triphasé ?
4. Calculer la puissance active absorbée par les impédances en triangle.
5. Calculer le facteur de puissance global de l'installation.

Ce facteur de puissance étant un peu faible, on souhaite le ramener à la valeur $\cos(\phi') = 0,9$ (arrière). Pour ce faire, on place en amont du montage trois condensateurs parfaitement identiques qui relient les lignes de sorte que chaque paire de phases voit ses deux lignes reliées par un condensateur.

6. Redessiner le schéma de l'installation en y incluant les condensateurs.
7. Calculer la valeur efficace de l'intensité des courants traversant les condensateurs.
8. Calculer la valeur efficace de l'intensité du courant de ligne.
9. Calculer la capacité des condensateurs.