

PEA 301 TD ELECTROTECHNIQUE 1

2005/2006

TRAVAUX DIRIGES 2005-2006

Repérage des sujets d'exercices présentés dans le fascicule

A = Réseaux monophasés - Puissance active

B = Réseaux monophasés/triphasés : application du théorème de Boucherot

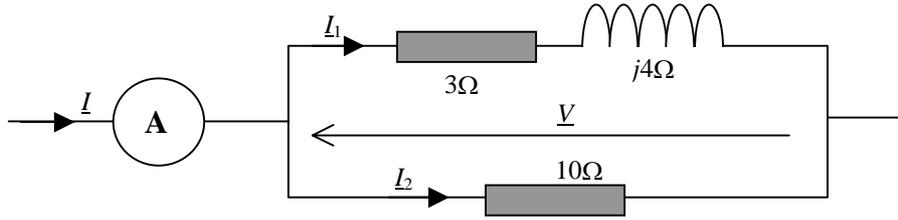
C = Distribution de l'énergie électrique – Protections

D = Circuits magnétiques

A 1 – Complexes - Diviseur de courant – Puissance active

La puissance absorbée par le circuit représenté ci-dessous est de 1100W.

1 – Calculer la puissance dissipée dans chacune des résistances et déterminer la valeur de l'intensité affichée par l'ampèremètre. Les intensités I_1 et I_2 seront calculées à partir de la formule du diviseur de courant.

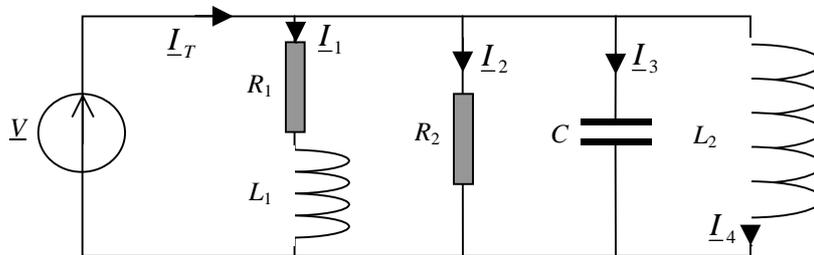


2 – Calculer le déphasage entre la tension $v(t)$ et le courant $i(t)$. Tracer les représentations de $v(t)$ et de $i(t)$ dans le plan complexe.

3 – Montrer qu'on peut répondre à la question 1 en exprimant l'impédance équivalente à l'ensemble.

A 2 – Complexes - Puissance active

Déterminer l'intensité totale I_T débitée par le générateur connecté sur l'ensemble des impédances, comme indiqué par le schéma ci-dessous :



Il est donné pour ce circuit :

$$L_1\omega = 8,66\Omega ; L_2\omega = 5\Omega ; R_1 = 5\Omega ; R_2 = 15\Omega ; C\omega = 0,1S, V = 48V.$$

2 – Calculer l'impédance équivalente du circuit. La mettre sous la forme $\underline{Z} = Ze^{j\alpha}$.

3 - Calculer la puissance active absorbée par ce circuit.

4 – Montrer, à partir d'un schéma vectoriel (ou d'un tracé dans le plan complexe) que le facteur de puissance peut devenir unitaire.

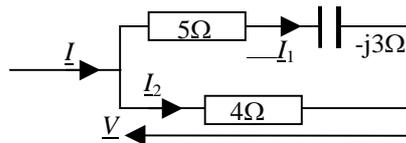
5 – Quels sont les éléments du circuit dont la variation de la valeur ne change pas la puissance absorbée ?

A 3 – Complexes – Diviseur de courant – Puissances

L'intensité qui entre dans le circuit schématisé ci-dessous a pour valeur efficace $I = 30A$.

1 – Calculer P , Q , S et le facteur de puissance du circuit.

2 – Calculer l'expression du phaseur \underline{V} et exprimer $v(t)$.



A 4 – Triangle des puissances

Déterminer le triangle des puissances pour la combinaison (en parallèle) des trois charges suivantes :

Charge 1 : 250VA, $\cos\varphi = 0,5$ AR

Charge 2 : 180W, $\cos\varphi = 0,8$ AV

Charge 3 : 300VA, +100VAR.

Calculer la puissance moyenne et la puissance réactive pour chacune de ces charges (si elles ne sont pas connues).

A 5 – L'art d'utiliser un transformateur

Un transformateur de puissance apparente nominale $S_n = 25\text{kVA}$ alimente une charge de 12kW ayant un $\cos\varphi$ inductif de 0,6.

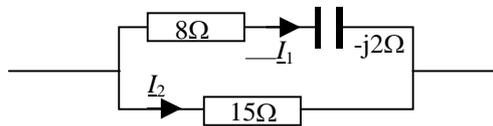
1 - Déterminer, en %, le taux de charge de ce transformateur.

2 - Si ce transformateur doit alimenter d'autres charges, de facteur de puissance unitaire, combien de kW sont encore disponibles avant d'atteindre la charge nominale du transformateur ?

3 - Même question avec des charges de facteur de puissance 0,866AR.

A 6 – Calculs de puissances

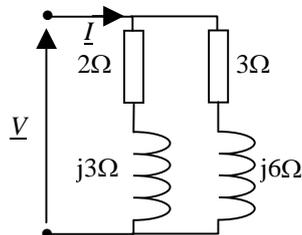
La puissance totale dissipée par le circuit schématisé ci-dessous est de 2kW. Calculer la puissance dissipée dans chacune des résistances.



A 7 – Triangle des puissances

Le circuit schématisé ci-dessous dissipe une puissance totale de 1,5kW.

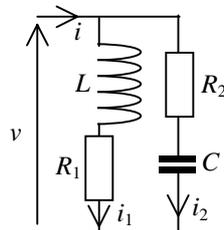
1 - Déterminer le triangle des puissances.



2 – Rechercher les phaseurs représentant la tension \underline{V} aux bornes du circuit et le courant \underline{I} entrant.

A 8 – Phaseurs – Puissances

On considère le circuit suivant :



On donne $v(t) = 230\sqrt{2} \cos \omega t$, $R_1 = 12\Omega$, $L\omega = 15\Omega$, $R_2 = 8\Omega$, $\frac{1}{C\omega} = 20\Omega$, avec $\omega = 100\pi \text{ Rad.s}^{-1}$.

1 – Mettre $v(t)$ sous la forme de phaseur, noté \underline{V} .

2 – Calculer les expressions complexes de $i_1(t)$ et de $i_2(t)$ et les mettre sous forme de phaseurs, notés respectivement \underline{I}_1 et \underline{I}_2 (avec valeurs numériques des modules et des arguments).

- 3 – Donner les expressions temporelles de $i_1(t)$ et de $i_2(t)$.
- 4 – Calculer l'expression complexe de l'intensité $i(t)$, on la mettra sous forme de phaseur, noté \underline{I} .
- 5 – Donner l'expression temporelle de $i(t)$.
- 6 – Calculer la puissance apparente complexe \underline{S} relative à ce réseau. En déduire les puissances active et réactive absorbées par ce réseau.
- 7 – Quel élément purement réactif faut-il insérer aux bornes de ce réseau pour annuler la puissance réactive absorbée par l'ensemble ? Calculer la valeur numérique de cet élément.
- 8 – Que vaut alors la nouvelle intensité $i'(t)$ absorbée par le nouveau dipôle ainsi constitué ? On précisera la valeur du facteur de puissance.

A.9 – Modèle d'un transformateur monophasé

Vu du secondaire, un transformateur monophasé peut être modélisé par une source de tension mV_1 associée à une impédance interne $\underline{Z}_{e2} = R_{e2} + jX_{e2}$, avec $R_{e2} = 0,26 \Omega$, $X_{e2} = 0,42 \Omega$, le terme m est le rapport de transformation de valeur $\frac{5}{23}$, la tension V_1 est variable, la fréquence est fixe de valeur 50 Hz.

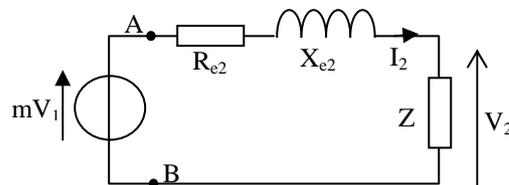


Figure 1

L'impédance du circuit de charge est $\underline{Z} = 3,84 + j2,88$.

- 1 – Calculer la valeur efficace de la tension V_2 apparaissant aux bornes de la charge sachant que $I_2 = 10$ A.
- 2 – Calculer les puissances actives et réactives totales consommées en aval de la source (à droite des points A,B).
- 3 – Quelle tension V_1 faut-il appliquer pour avoir $I_2 = 10$ A dans les conditions de la question 1 ?
- 4 – Calculer le déphasage φ_2 qu'il y a entre $i_2(t)$ et $v_2(t)$.
- 5 – On souhaite une tension $V_2 = 48$ V aux bornes de la même charge à laquelle on associe un condensateur en parallèle, figure 2.

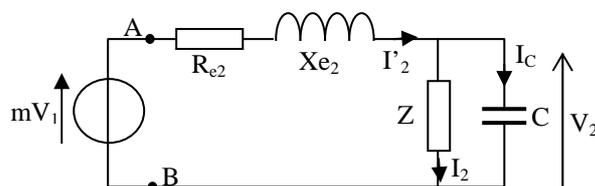
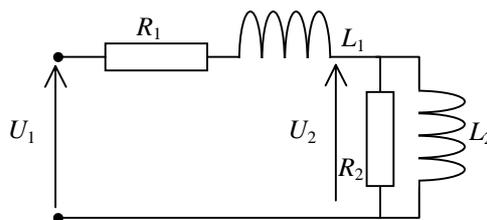


Figure 2

Quelle tension V_1 faut-il appliquer sachant que $C = 400 \mu\text{F}$. Pour cela on fera un bilan de puissances active et réactive du dipôle de sortie (en faisant un arrondi judicieux), on en déduira l'intensité I_2 absorbée...

B 1 – Th. de Boucherot – Cas simple

On considère le circuit dont le schéma est donné ci-dessous :



Le problème consiste à déterminer la valeur U_1 de la tension à appliquer à l'entrée du circuit connaissant U_2 et les valeurs des éléments. Les calculs doivent être faits en utilisant le caractère conservatif des énergies active et réactive. On donne :

$$U_2 = 100 \text{ V}$$

$$R_1 = 0,5 \Omega ; R_2 = 11,5 \Omega$$

$$L_1 \omega = 0,247 \Omega ; L_2 \omega = 20 \Omega.$$

B 2 – Exemple type d'application du théorème de Boucherot

Un atelier, branché sur un réseau monophasé 230V, 50 Hz comporte :

a – Un moteur de puissance utile $P_{U1} = 3,68 \text{ kW}$, $\cos \varphi_1 = 0,74$ AR à pleine charge. Rendement $\eta_1 = 0,80$.

b – Un moteur de puissance utile $P_{U2} = 7,36 \text{ kW}$, $\cos \varphi_2 = 0,76$ AR à pleine charge. Rendement $\eta_2 = 0,82$.

c – 20 lampes de 100 W chacune.

1 – Déterminer l'intensité du courant absorbé par l'atelier ainsi que son facteur de puissance, les moteurs fonctionnant à pleine puissance.

2 – A cette pleine charge, on désire relever jusqu'à 0,92 AR le facteur de puissance de l'installation. Calculer la capacité C de la batterie de condensateurs nécessaire, ainsi que la nouvelle intensité I' du courant absorbé par l'atelier.

3 – Quelle serait la valeur C' de cette capacité pour un facteur de puissance de 0,92 AV ?

Quelle est la valeur de l'intensité I' absorbée par l'atelier ?

Discuter sur le choix à faire : C ou C' ?

B 3 – Triphasé

Un réseau triphasé équilibré 400 V, 50 Hz, alimente un atelier dans lequel fonctionnent :

- Un four de 8 kW
- Un moteur asynchrone absorbant 15 kW avec un facteur de puissance de 0,75 AR
- Un ensemble de circuits annexes consommant 5 kW avec un facteur de puissance de 0,4AR.

Tous les éléments décrits ci-dessus fonctionnent simultanément et sont équilibrés.

N.B. : Il est rappelé que l'étude peut être faite en considérant ce qui se passe sur une seule phase à condition d'utiliser les tensions simples, ce qui revient à considérer la charge comme étant globalement étoile.

1 - Faire un bilan énergétique de l'atelier (P_T , Q_T , S).

2 - Calculer l'intensité efficace I en ligne et le facteur de puissance de l'atelier.

3 - Faire un schéma vectoriel représentant les tensions composées, les tensions simples et les courants de lignes correspondants.

4 - Dédire des calculs précédents les indications P_1 et P_2 que donneraient deux wattmètres devant effectuer la mesure de puissance selon la méthode dite des deux wattmètres. Pour cela on utilisera les relations liant P_1 et P_2 à P_T et Q_T .

5 - On désire amener le facteur de puissance à la valeur 0,9AR en utilisant trois condensateurs montés en triangle. Calculer la capacité commune de ces trois condensateurs.

6 - Calculer la nouvelle intensité de ligne I' lorsque les condensateurs sont en place.

7 - L'installateur a mis un jeu de trois condensateurs connectés en triangle de valeur unitaire 164 μF . Quel est le facteur de puissance réel de l'installation et la vraie valeur de l'intensité en ligne?

8 - Chaque fil de ligne triphasée possède une résistance de 0,8 Ω et une réactance de 1 Ω entraînant une chute de tension en ligne. Sachant qu'on désire maintenir $U = 400 \text{ V}$ à l'entrée de l'atelier lorsque celui-ci absorbe une intensité de valeur 40,4 A, quelle tension U' faut-il imposer à la sortie du poste de transformation? (Il est demandé une solution à partir de considérations énergétiques exclusivement).

B.4 – Tension de déplacement du neutre

Un réseau triphasé équilibré 230/400V, 50Hz alimente un récepteur triphasé câblé en étoile.

Les trois branches de l'étoile ont pour impédances :

$$\underline{Z}_1 = 20 + j12 ; \underline{Z}_2 = 15 + j25 ; \underline{Z}_3 = 10 + j30 .$$

Leur point commun est noté N' , il n'est pas relié au neutre N du réseau.

1 – Calculs littéraux

1.1 – Exprimer les courants de lignes I_1, I_2, I_3 en fonction des impédances et des tensions simples.

1.2 - Ecrire la loi des nœuds en N' et en tirer une relation contenant les tensions simples et les impédances.

1.3 - Introduire la tension $\underline{V}_{NN'}$ dans les expressions des tensions simples apparaissant aux bornes des impédances.

1.4 – En exploitant la relation de 1.1, exprimer $\underline{V}_{NN'}$ en fonction des tensions simples du réseau et des impédances.

1.5 – N'aurait-on pas déjà vu une expression de ce type quelque part ?

2 – Calculs numériques

2.1 – Calculer la tension $V_{NN'}$ à partir des données ci-dessus.

2.2 – Supposons que les trois impédances soient égales. Prenons un exemple simple. Chaque impédance est formée de deux résistances en parallèle, on pourrait imaginer qu'il s'agit de lampes d'éclairage (100 W chacune). Rappeler la valeur de la tension apparaissant aux bornes de chaque lampe.

2.3 – Une des lampes « grille ». En supposant que la valeur des résistances ne change pas, chiffrer les nouvelles tensions aux bornes des lampes.

2.4 – Que va-t-il se passer et quelle solution apporter pour éviter cela ?

2.5 – Que penser de l'hypothèse faite en 2.3 ?

B.5 – Triphasé – étude avec et sans neutre – cas déséquilibré

Un générateur parfait triphasé étoile fournit les tensions simples $v_1(t), v_2(t), v_3(t)$ T.E.D. Le point neutre est noté N. La valeur efficace des tensions est $V = 230 \text{ V}$ et la fréquence est $f = 50 \text{ Hz}$.

Ce générateur alimente un récepteur constitué de trois impédances \underline{Z} égales câblées en triangle. On donne $\underline{Z} = 10 + j10\sqrt{3}$.

1 – Calculer les expressions complexes des courants de phases \underline{J}_k et des courants de lignes \underline{I}_k , ($k = 1, 2, 3$).

On prendra $\text{Arg}(\underline{U}_{12}) = 0$

2 – Calculer les déphasages de :

- $j_2(t)$ par rapport à $j_1(t)$
- $i_2(t)$ par rapport à $i_1(t)$.

3 – Calculer les valeurs efficaces I et J des courants de lignes et des courants de phases. Quelle est la valeur du rapport I/J ?

4 – Calculer directement les puissances active P et réactive Q consommées par le récepteur. Vérifier que le rapport Q/P est conforme aux données du problème.

5 – Quelles sont les indications P_1 et P_2 fournies par un wattmètre chargé de mesurer la puissance par la méthode des deux wattmètres ?

6 – Montrer que l'étude de ce montage peut se ramener à celle d'un montage monophasé.

7 – Calculer la valeur nécessaire de la capacité de trois condensateurs branchés en étoile pour amener à 0,9 AR le facteur de puissance de ce montage.

8 – On considère un récepteur étoile tel que :

$$\underline{Z}_1 = 10 + j10\sqrt{3}, \quad \underline{Z}_2 = 20 + j10, \quad \underline{Z}_3 = 15 + j20. \text{ Le point commun est noté } N'.$$

Afin d'imposer 230 V aux bornes de chaque impédance, on relie N' à N . Il est rappelé que $\underline{V}_1, \underline{V}_2, \underline{V}_3$ sont T.E.D. Calculer les expressions complexes des courants de lignes et de neutre : $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3, \underline{I}_N$. On prendra $\text{Arg}(\underline{V}_1) = 0$.

9 – Calculer les puissances apparentes complexes $\underline{S}_1, \underline{S}_2, \underline{S}_3$. En déduire les puissances active P et réactive Q consommées par le récepteur. Réfléchir à la signification du rapport Q/P .

10 – Le système des sources devient T.E.I. On pose encore $\text{Arg}(\underline{V}_1) = 0$. Calculer dans ces conditions les nouvelles valeurs des courants de lignes et de neutre $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3, \underline{I}_N$. Comparer aux résultats de la question 8.

11 – On reprend le montage défini à la question 8 et on enlève le fil neutre.

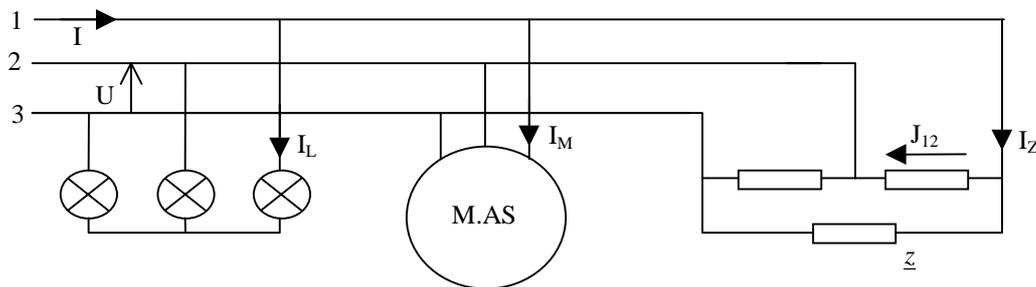
Calculer les nouvelles expressions des courants de lignes $\underline{I}_1, \underline{I}_2, \underline{I}_3$ et les tensions $\underline{V}'_1, \underline{V}'_2, \underline{V}'_3$ respectivement aux bornes de $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$.

12 – Calculer les indications P_1 et P_2 d'un wattmètre mesurant la puissance selon la méthode des deux wattmètres sachant qu'on capte $i_1(t)$ et $u_{13}(t)$ d'une part puis $i_2(t)$ et $u_{23}(t)$ d'autre part.

13 – Dans ce cas de déséquilibre, montrer, en la calculant, que la d.d.p. $\underline{V}_{NN'}$ est différente de zéro.

B.6 – Atelier triphasé

Une source triphasée fournit entre fils de lignes trois tensions T.E.D., $u_{12}(t), u_{23}(t), u_{31}(t)$. La fréquence est 50 Hz et la valeur efficace commune des tensions est $U = 400\text{V}$. Générateurs et lignes sont supposés parfaits. Cette ligne alimente trois récepteurs équilibrés comme indiqué ci-dessous :



Ces récepteurs sont :

- Trois blocs de lampes branchées en étoile absorbant chacun une intensité $I_L = 10\text{ A}$.
- Un moteur asynchrone absorbant une puissance $P_M = 10\text{ kW}$ avec un facteur de puissance $\cos\varphi_M = 0,75\text{ AR}$.
- Une charge constituée de trois impédances montées en triangle, on donne : $\underline{z} = 10 + j10\sqrt{2}$.

1 – Calculer la puissance P_L absorbée par les lampes.

2 – Calculer la puissance réactive Q_M absorbée par le moteur ainsi que l'intensité I_M de ligne.

- 3.1 – Mettre sous forme complexe l'intensité $j_{12}(t)$ circulant dans l'impédance ayant à ses bornes $u_{12}(t)$. Donner, sans les développer, les expressions de \underline{J}_{23} et de \underline{J}_{31} en fonction de \underline{J}_{12} .
- 3.2 – Exprimer et calculer la puissance apparente complexe développée aux bornes de l'impédance parcourue par \underline{J}_{12} .
En déduire les puissances active P_Z et réactive Q_Z absorbées par les trois impédances.
- 4 – Calculer les puissances active et réactive totales absorbées par les trois récepteurs. On les notera P_T et Q_T .
- 5 – Calculer les valeurs des puissances partielles P_1 et P_2 obtenues par la mesure de puissance par la méthode dite « des deux wattmètres ».
- 6 – Déduire de 4 la puissance apparente relative à ces trois récepteurs et la valeur efficace de l'intensité de ligne I .
- 7 – Calculer le facteur de puissance de l'ensemble.
- 8 – On veut ramener à 1 le facteur de puissance. Quelle doit être la valeur de la capacité de trois condensateurs connectés en étoile pour arriver à ce résultat.
- 9 – Calculer dans ces conditions la nouvelle intensité de ligne I' .
- 10 – Supposons que l'on transforme tout ce qui est triangle en étoile. Dans ces conditions, les lampes, le moteur, les impédances et les condensateurs peuvent être réunis pour ne former qu'un seul montage étoile unique. Tracer les vecteurs de Fresnel associés aux tensions $u_{12}(t)$, $u_{23}(t)$, $u_{31}(t)$. Puis, sur ce même schéma, tracer les vecteurs des tensions simples apparaissant aux bornes de cette étoile.
Compte tenu de ce qui a été déjà calculé, tracer les vecteurs de Fresnel relatifs aux intensités traversant les branches de l'étoile.
- 11 – Quelle valeur de capacité (en montage triangle) faut-il introduire aux bornes du réseau précédent pour avoir un facteur de puissance 0,92 AV ?

B.7 – Triangle et puissance apparente complexe

Un générateur triphasé impose trois tensions $v_1(t)$, $v_2(t)$, $v_3(t)$ T.E.D. Les sorties de ce générateur sont connectées en étoile et sont numérotées 1, 2, 3.

La valeur commune des tensions efficaces est $V = 230$ V, à la fréquence $f = 50$ Hz.

Le récepteur est formé de trois branches identiques câblées en triangle dont les sommets sont numérotés 1, 2, 3. Chaque branche résulte de la mise en série d'une résistance de valeur $r = 10$ Ω et d'une inductance de valeur $L = 55,133$ mH.

Pour tout le problème on prendra la tension $u_{12}(t)$ pour origine des phases (ou des arguments). On la notera U .

1 – Exprimer \underline{J}_{12} l'intensité du courant qui circule entre les sommets 1 et 2 du triangle. Mettre \underline{J}_{12} sous la forme : $\underline{J}_{12} = A_1 + jB_1$ (avec $j^2 = -1$). En déduire l'argument de \underline{J}_{12} et la valeur efficace J correspondante.

2 – En utilisant l'opérateur « a », exprimer \underline{J}_{23} et \underline{J}_{31} et les mettre respectivement sous la forme $A_2 + jB_2$ et $A_3 + jB_3$.

3 – Exprimer l'intensité de ligne \underline{I}_1 arrivant au nœud « 1 » du récepteur en fonction de certains courants de branches et mettre \underline{I}_1 sous la forme $M_1 = jN_1$.

Calculer le module de \underline{I}_1 et vérifier que la valeur efficace I de $i_1(t)$ est conforme à celle attendue.

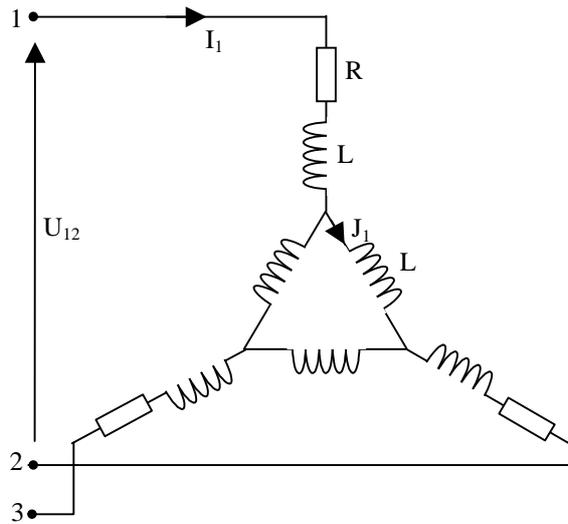
4 – Exprimer la tension composée \underline{U}_{32} en fonction de U et de l'opérateur « a ». Exprimer également l'intensité de ligne \underline{I}_3 en fonction de \underline{I}_1 et de l'opérateur « a ». Mettre \underline{I}_3 sous la forme $M_3 + jN_3$.

5 – Calculer les expressions $\underline{U}_{12} \cdot \underline{I}_1^* + \underline{U}_{32} \underline{I}_3^*$. Que représente la somme de ces deux quantités ?

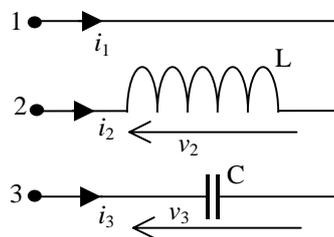
B.7 – Intervention de KENNELY et cas exotique

On considère le circuit triphasé ci-dessous. Il est alimenté par une source de tension triphasée équilibrée.

On donne $U = 400 \text{ V}$, $L = 6,37 \cdot 10^{-2} \text{ H}$, $R = 10 \Omega$. La fréquence des sources est $f = 50 \text{ Hz}$.



- 1 – Calculer la valeur efficace I_1 du courant circulant dans la branche 1
- 2 – Calculer le déphasage de $j_1(t)$ par rapport à $u_{12}(t)$.
- 3 – Calculer la valeur efficace J_1 de $j_1(t)$.
- 4 – Calculer les puissances active et réactives consommées par ce circuit.
- 5 – On considère le circuit étoile sans neutre présenté ci-dessous, alimenté par le réseau précédent :



On donne $L\omega = 20 \Omega$ et $\frac{1}{C\omega} = 20 \Omega$.

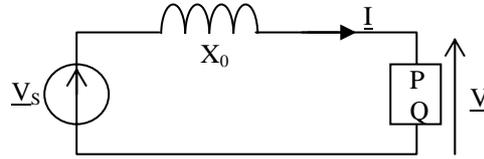
- a – Calculer la valeur efficace V_2 de la tension $v_2(t)$ et sa phase par rapport à $u_{12}(t)$.
- b – Calculer la valeur efficace V_3 de la tension $v_3(t)$ et sa phase par rapport à $u_{31}(t)$.
- c – Calculer les valeurs efficaces I_2 et I_3 de $i_2(t)$ et $i_3(t)$ et indiquer leurs déphasages respectivement par rapport à $v_2(t)$ et $v_3(t)$.
- d – Faire les schémas vectoriels des tensions et des courants.
- e – Calculer la valeur efficace I_1 de $i_1(t)$ et le porter sur le diagramme vectoriel. Conclure.

C.1 - Transport d'énergie

I - Transmission de puissance entre un réseau et une charge passive alimentée en antenne :

Une source de tension triphasée sinusoïdale de tension simple V_S alimente à travers une ligne triphasée caractérisée par sa réactance X_0 un récepteur absorbant par phase une puissance active P et une puissance réactive Q .

On peut ramener l'étude à celle d'une ligne monophasée comme indiqué ci-dessous.



1.1 - Donner l'expression de la tension V appliquée par la ligne au récepteur en fonction de V_S , P , Q , et X_0 .

1.2 - On désigne par S_{CC} la puissance apparente de court-circuit de la ligne, $S_{CC} = \frac{V_S^2}{X_0}$. Exprimer la tension V

en fonction de V_S , S_{CC} , P et φ avec $\tan\varphi = \frac{Q}{P}$.

1.3 - Montrer qu'il existe une puissance maximale transmissible par la ligne qui dépend de l'angle de phase φ et de la puissance apparente de court-circuit de la ligne S_{CC} .

1.4 - Donner les valeurs de cette puissance maximale en fonction de S_{CC} pour $\cos\varphi = 1$, $\cos\varphi = 0,8$ AR et pour $\cos\varphi = 0,8$ AV.

1.5 - Donner l'expression de la tension aux bornes du récepteur quand la ligne transite la puissance maximale.

1.6 - Calculer la valeur de cette tension en fonction de V_S pour les valeurs de $\cos\varphi$ données en 1.4.

1.7 - En déduire l'allure des courbes donnant V/V_S en fonction de P/S_{CC} pour les mêmes valeurs de $\cos\varphi$.

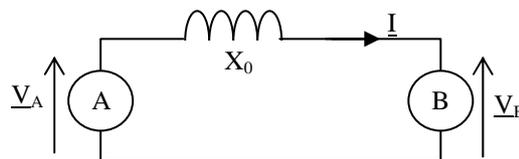
1.8 - Comment évolue la puissance maximale transmissible dans la ligne si on branche des condensateurs en parallèle sur le récepteur ?

1.9 - La ligne transite par phase une puissance $P = 0,25 S_{CC}$, le récepteur absorbe par phase une puissance réactive $Q = 0,5 P$.

Déterminer la puissance réactive que doivent créer des condensateurs branchés en parallèle sur la charge pour que la tension V aux bornes de celle-ci soit égale à la tension V_S de la source.

II - Transmission de puissance entre deux réseaux

Une source de tension monophasée sinusoïdale A de valeur efficace V_A est connectée à une autre source monophasée sinusoïdale B de même fréquence et de valeur efficace V_B par une ligne caractérisée par sa réactance X_0 , comme indiqué ci-dessous :



2.1 - Donner l'expression de la puissance P transmise de la source A vers la source B en fonction de X_0 , V_A , V_B et de l'angle de transport δ , déphasage entre les tensions \underline{V}_A et \underline{V}_B .

2.2 - Indiquer les paramètres sur lesquels il est possible d'agir pour régler la puissance transmise par la ligne.

C.2 – Régime TT

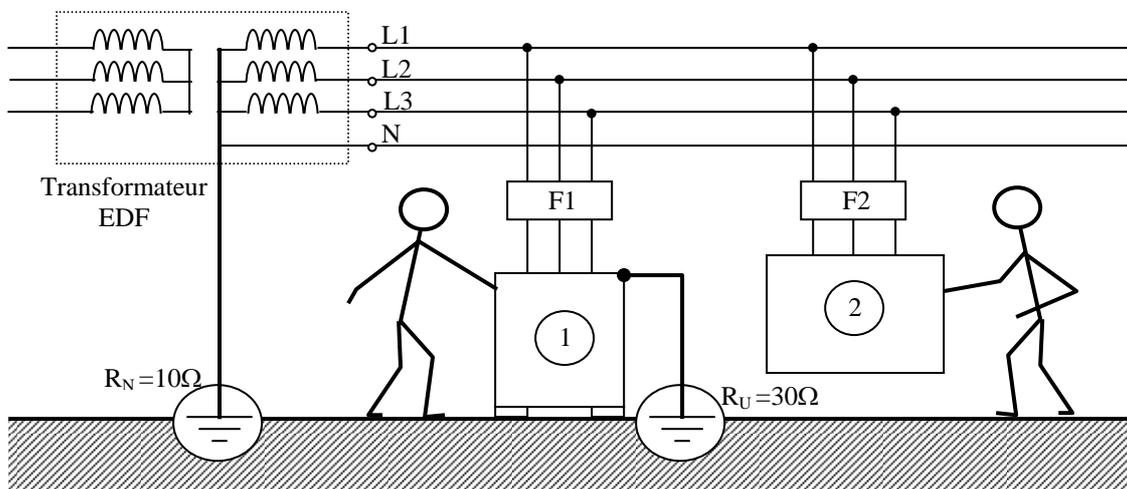
Une entreprise dont le régime de neutre correspond au schéma TT, installe des machines dans un atelier alimenté en 230/400 V. La protection de ces machines est faite par des disjoncteurs différentiels notés F1 et F2 de calibre 30 A et de sensibilité 500 mA.

1 – Une phase de la machine 1 touche la masse avec une résistance de contact de 4Ω :

- quelle est la valeur du courant de fuite ?
- à quelle tension est soumise la personne qui touche cette machine ?
- que fait le disjoncteur différentiel F1 dans cette situation ?

2 – La machine 2 n'est pas reliée à la terre, un fil de phase entre en contact accidentellement avec la carcasse de la machine :

- à quelle tension est soumise la personne qui touche cette machine ?
- quelle est la valeur du courant de fuite en supposant que la résistance du corps humain soit de 1000Ω ?
- que fait le disjoncteur F2 dans cette situation ? Commenter.



C.3 – régime IT

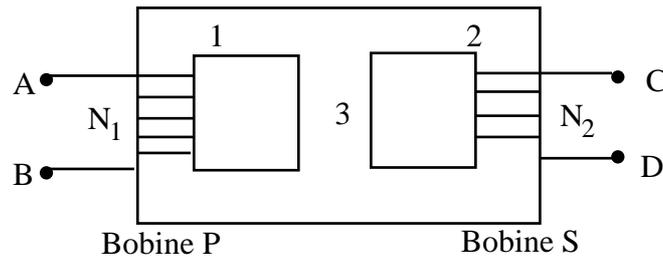
C.4 – régime TN

D1 - Circuits magnétiques - bases

Un circuit magnétique, sans fuites, de section constante $S = 1,6 \text{ cm}^2$, a une longueur moyenne $l = 62 \text{ cm}$. Selon une section droite, on y pratique un entrefer d'épaisseur $e = 0,10 \text{ mm}$. Le circuit porte un enroulement de $N = 500$ spires et on désire obtenir une induction $B = 0,6 \text{ T}$ (ou "flux density" comme disent les anglosaxons). La perméabilité relative μ_r pouvant être considérée comme constante, est égale à 4500, déterminer:

- 1) L'intensité du courant nécessaire.
- 2) L'inductance de la bobine.
- 3) L'énergie électromagnétique emmagasinée.

D2 - Circuits magnétiques - circuits dérivés



Dans le circuit magnétique ci-dessus, les portions 1 et 2 sont identiques, avec:

pour longueur: $l_1 = l_2 = 30 \text{ cm}$,
pour section: $S_1 = S_2 = 3 \text{ cm}^2$.

La portion (3) a pour longueur $l_3 = 10 \text{ cm}$ et section $S_3 = 1 \text{ cm}^2$. Tout le matériau est de perméabilité constante de valeur relative $\mu_r = 1600$. $N_1 = 240$ spires, $N_2 = 50$ spires.

- 1) On désire obtenir une induction $B_3 = 0,8 \text{ T}$ dans (3) en alimentant seule la bobine P constituée de N_1 spires.
 - a - Quel doit être le courant dans les N_1 spires ?
 - b - Quelle est l'inductance de la bobine formée par les N_1 spires ?
 - c - Quelle est l'inductance mutuelle entre la bobine P et la bobine S ?
 - d - Quelle est l'énergie électromagnétique emmagasinée ?
- 2) On envoie de plus un courant $I_2 = 1,2 \text{ A}$ dans les N_2 spires. On constate une diminution de l'induction B_3 dans le noyau (3).
 - a - Que vaut l'induction B_3 ?
 - b - Que valent les inductions B_1 et B_2 dans (1) et (2) ?

D3 - Circuits magnétiques - Energie, force

(extrait Licence 92)

1) On possède une inductance de valeur $L = 55,133 \text{ mH}$, constituée de fil de cuivre émaillé bobiné sur un matériau magnétique torique possédant un entrefer sans fuites pratiqué dans une section droite.

On donne pour le tore:

longueur moyenne $l = 50 \text{ cm}$
section $S = 40 \text{ cm}^2$
perméabilité $\mu = 2000 \times 4\pi 10^{-7}$.

On donne pour l'entrefer:

épaisseur $e = 2 \text{ mm}$
section $S = 40 \text{ cm}^2$
perméabilité $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$

- Calculer littéralement et numériquement la réductance R du circuit magnétique en fonction des données.
- Déduire de la question précédente le nombre N des spires régulièrement bobinées sur le circuit magnétique.
- Calculer la valeur maximale φ_M du flux dans le circuit magnétique sachant que la bobine est parcourue par une intensité sinusoïdale de valeur maximale $I_M = 1,414 \text{ A}$.

2) Pour la suite on posera $\varphi(t) = \varphi_M \sin \omega t$ la valeur instantanée du flux.

- Sachant que la densité volumique d'énergie magnétique a pour expression $1/2 BH$ (B et H ayant les significations habituelles), calculer l'expression temporelle de l'énergie magnétique $W_E(t)$ dans l'entrefer en fonction de S , μ_0 , $\varphi(t)$ et e .
- En déduire l'expression littérale de la force qui s'exerce entre les deux surfaces en regard qui limitent l'entrefer.
- Expliciter l'expression de cette force en fonction du temps. Préciser ses particularités: fréquence, valeur moyenne, attractive, répulsive...

3) La courbe d'aimantation du matériau est en fait non linéaire. On donne le tableau suivant

B teslas	0,85	1,40	1,85	2,12	2,26	2,34	2,37
H A/m	693	1155	1849	2773	3697	4622	5546

- Quelle est l'induction B pour un courant $I = 15 \text{ A}$ dans l'enroulement de 157 spires?
- Quelle est la force d'attraction s'exerçant sur les faces de l'entrefer?

D4 - Circuits magnétiques - approche non linéaire

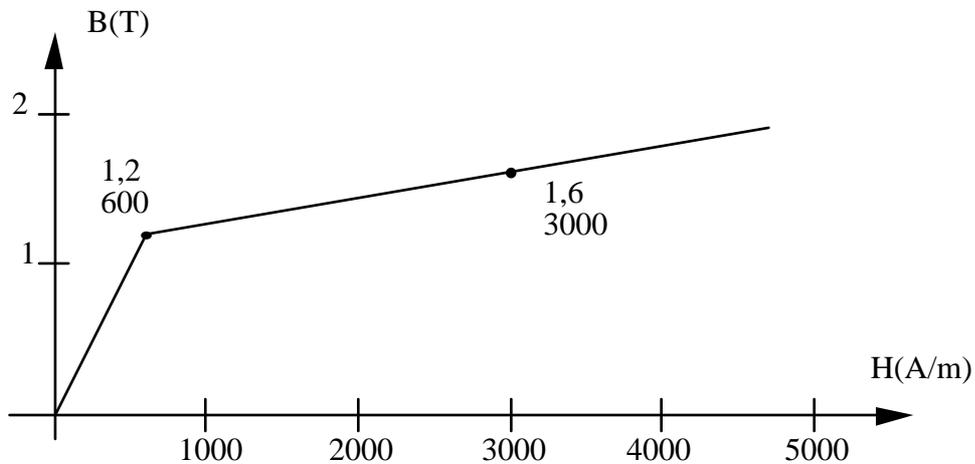
(extrait Licence E.E.A 87)

On considère un circuit magnétique de section constante $S = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ et de longueur moyenne $l = 0,5 \text{ m}$. La caractéristique $B(H)$ du matériau magnétique a été linéarisée et se ramène au graphe fourni. Le circuit est excité en courant continu par un enroulement constitué de $N = 2400$ spires, de résistance négligeable. Les fuites magnétiques sont négligeables.

- 1) Calculer le courant nécessaire pour obtenir un flux $\varphi = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$.
- 2) Sur le graphe joint donnant la courbe $B(H)$, porter une nouvelle échelle permettant d'utiliser cette courbe pour les variations $\varphi = f(NI)$ (caractéristiques partielles).
- 3) On pratique un entrefer d'épaisseur $e = 1,18 \text{ mm}$.
 - a. Calculer le courant nécessaire pour maintenir le flux $\varphi = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$.
 - b. Tracer sur le graphe joint la courbe $\varphi = f(NI)$ de l'entrefer seul.
 - c. Tracer la courbe $\varphi = f(NI)$ du circuit magnétique avec entrefer. Retrouver le résultat de la question 3.a.
- 4) On considère toujours le circuit avec entrefer.
 - a) Montrer que dans la zone saturée, on peut écrire:

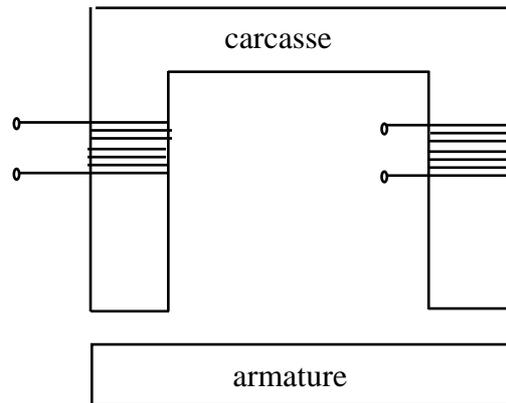
$$B = \mu'_2 H + B'_0 \quad \text{avec } H = \frac{NI}{l}$$

- b) Déterminer μ'_2 en fonction de μ_2 , perméabilité effective du matériau magnétique en zone saturée.
- c) Déterminer B'_0 en fonction de B_0 (ordonnée à l'origine de l'induction en zone saturée).
- d) Application numérique pour μ_2 , μ'_2 , B'_0 .



D5 - Circuits magnétiques - Electroaimant

On considère le circuit magnétique ci-dessous, composé d'une carcasse et d'une armature mobile en acier coulé. La courbe d'aimantation normale de ce matériau est donnée par le tableau ci-dessous:



B(T)	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
H(A/m)	380	490	600	760	980	1300	1700	2450	3300	4700	7500

Les données géométriques du circuit magnétique considéré sont les suivantes:

carcasse : longueur moyenne $l_1 = 0,60$ m

armature : longueur moyenne $l_2 = 0,20$ m

section moyenne commune : 20 cm^2 .

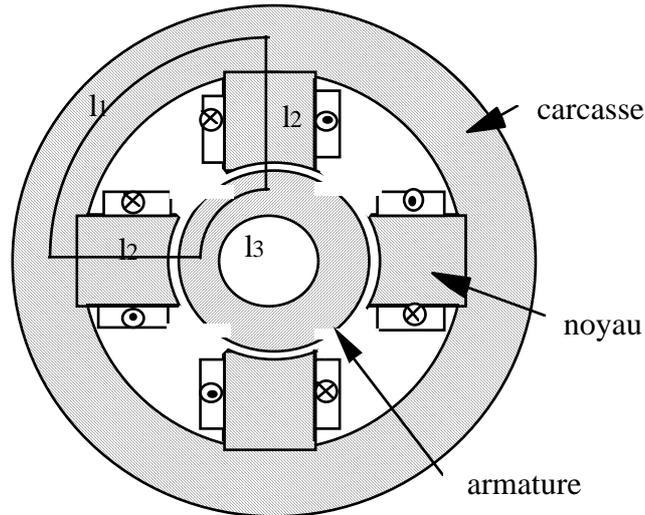
1°) On place deux enroulements identiques sur chaque colonne de la carcasse; ces enroulements sont montés en parallèle. L'armature étant en contact avec le reste du circuit magnétique, on veut créer un flux $\varphi = 10^{-3}$ Wb. Le courant total délivré par le générateur alimentant les enroulements étant limité à 30A, calculer le nombre de spires minimum de chaque enroulement.

2°) L'armature est maintenant décollée de la carcasse, laissant apparaître deux entrefers d'épaisseur égale à 0,5 mm. Quel doit être le nombre de spires de chaque enroulement pour maintenir le flux précédent, le courant étant fixé à sa valeur maximale?

3°) Le courant total délivré par le générateur est fixé à 20A. Trouver la valeur du flux magnétique dans le circuit (les conditions géométriques et le nombre de spires étant identiques à ceux de la deuxième question). On calculera deux points correctement choisis de la courbe $\varphi(I)$ qui sera supposée linéaire entre ces deux points.

D6 - Circuits magnétiques – Calcul de l'excitation d'une M.C.C.

Le circuit magnétique d'une dynamo multipolaire est constitué de la manière suivante:



Dimensions:

- Longueur moyenne des lignes de flux:

carcasse : $l_1 = 40$ cm

noyaux : $2l_2 = 24$ cm

entrefers: $2e = 0,5$ cm

armature : $l_3 = 16$ cm

-Sections:

carcasse : 350 cm²

noyau : 475 cm²

armature : 208 cm²

Section moyenne de chaque entrefer : 800 cm²

Le coefficient d'Hopkinson est pris égal à 1,3. Le flux dans le noyau est donc égal à 1,30 fois le flux dans l'entrefer. Le nombre de spires par pôle est 880. La caractéristique $B = f(H)$ du matériau magnétique utilisé est:

B (T)	0,26	0,47	0,61	0,81	0,96	1,12	1,27	1,35	1,47
H (A/m)	100	200	300	500	700	1000	1500	2000	3000

1) Quelle intensité I_e doit circuler dans ces spires pour obtenir un flux dans chaque entrefer de $0,045$ Wb ?

2) On se limite à $I_e = 1,5$ A. Quel est le flux utile correspondant ?

D7 - Circuits magnétiques - Influence de la substance et des entrefers

Un tore de section circulaire a un diamètre intérieur de 40 cm et un diamètre extérieur de 60 cm. On enroule sur ce tore 400 spires d'un conducteur dans lequel on fait passer un courant d'intensité 1,96A.

1) En supposant le tore constitué d'acier coulé, déterminer l'induction B , la perméabilité μ_r , l'intensité d'aimantation J , la susceptibilité magnétique χ ainsi que le flux φ qui le traverse.

2) Combien de spires traversées par le même courant seraient nécessaires pour avoir le même flux φ :

a - Si le tore est en fonte ?

b - Si le tore est en acier coulé avec un entrefer de 5 mm

c - Quelle induction aurait-on dans l'entrefer si, dans l'hypothèse de l'acier coulé et de l'entrefer, on donnait au courant une intensité de 2,1 A ?

D8 – Circuits magnétiques – Caractéristiques partielles

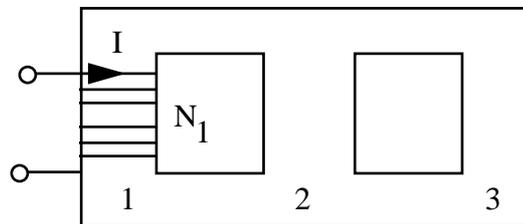
On considère le circuit magnétique suivant dont les 3 éléments sont constitués d'acier, de fonte et de tôles de fer doux (voir les caractéristiques d'aimantation).

Les données géométriques sont les suivantes:

Tôles : $L_1 = 0,7 \text{ m}$ $S_1 = 25 \text{ cm}^2$

Acier coulé: $L_2 = 0,4 \text{ m}$ $S_2 = 15 \text{ cm}^2$

Fonte : $L_3 = 0,8 \text{ m}$ $S_3 = 25 \text{ cm}^2$



On souhaite une induction de 0,6T dans le troisième noyau.

1) Quelle f.m.m. faut-il sachant qu'elle est disposée sur le premier noyau ?

On tracera pour chaque circuit le flux en fonction de HL où L est la longueur moyenne du circuit considéré. En déduire le flux dans le noyau "1" en fonction de la f.m.m. $N_1 I$.

TABLEAUX DE NOMBRES
DONNANT B(H) et μ_r (H) POUR DIFFERENTS MATERIAUX MAGNETIQUES

B(tesla)	H (A/m)			μ_r		
	Acier coulé	Fonte	Tôles fer doux	Acier coulé	Fonte	Fer doux
0,1	50	200	25	1 600	480	
0,2	80	410	30	2 100	350	
0,3	115	750	50	2 200	300	
0,4	160	1 200	65	2 100	250	
0,5	220	2 000	75	1 850	200	
0,6	300	3 000	100	1 650	150	4 800
0,7	380	4 200	130	1 500	120	4 350
0,8	490	6 000	195	1 350	110	3 500
0,9	600	8 500	265	1 200	90	2 750
1,0	760	12 500	380	1 050	50	2 180
1,1	980		530	900		1 800
1,2	1 300		750	850		1 400
1,3	1 700		1 100	620		1 180
1,4	2 450		1 700	500		700
1,5	3 300		2 600	350		500
1,6	4 700		4 000			325
1,7	7 500		6 300			200
1,8	11 500		11 500			

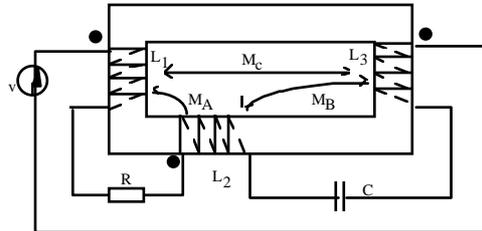
D9 - Circuits magnétiques - Mutuelles

I - Deux bobines d'inductance $L_1 = 0,05 \text{ H}$ et $L_2 = 0,2 \text{ H}$ sont couplées. Leur coefficient de couplage est $k = 0,5$ et la bobine (2) a 1000 tours. L'intensité qui circule dans la bobine (1) est :

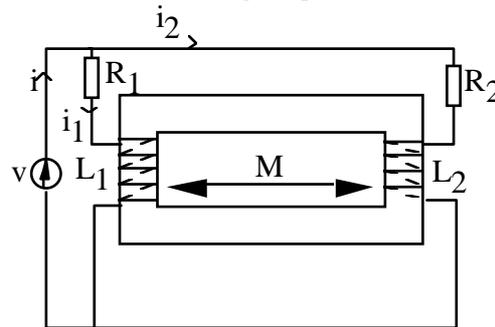
$$i_1 = 5 \sin 100 \pi t.$$

Calculer la tension induite aux bornes de la bobine (2), ainsi que la valeur maximale du flux créé par la bobine (1).

II - Déterminer le circuit équivalent pointé correspondant au circuit représenté ci-après. Ecrire l'équation électrique correspondante.



III - Dans le schéma suivant on considère le circuit magnétique non saturé.



1- Ecrire les équations différentielles de mailles pour les circuits couplés comme indiqué ci-dessous. Faire le schéma pointé.

2- Exprimer i_1 et i_2 en fonction des données.

3- Dédire de la question précédente l'expression littérale i de l'intensité délivrée par le générateur.

4- Donner l'expression littérale de l'impédance vue par le générateur.

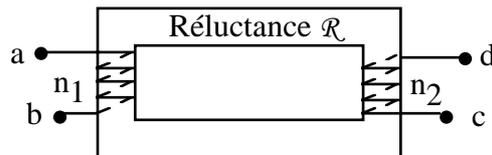
D10 - Circuits magnétiques - Flux totalisés, inductances

A - On bobine $n_1 = 100$ spires sur un C.M. de reluctance $R = 10^5$ S.I ; on réalise ainsi une inductance (1) de valeur L_1 . On réalise une inductance (2) de valeur L_2 en bobinant $n_2 = 150$ spires sur le même circuit magnétique.

1- Quelles valeurs trouve-t-on pour L_1 et L_2 (mesurées séparément).

2- Ces 2 inductances sont mises en série comme indiqué ci-après. Que vaut l'inductance vue entre les points a et d en supposant L_1 et L_2 parfaitement couplées ? (On notera L_{ad} cette valeur). Montrer alors que:

$$L_{ad} = L_1 + L_2 + 2L_1L_2$$



3- On relie maintenant b et d. Que vaut dans ces conditions l'inductance L_{ac} vue entre les points a et c ? . Donner sa valeur numérique.

B - Un C.M. homogène est caractérisé par :

- longueur de la fibre moyenne $l = 40$ cm
- Section constante $S = 36$ cm²
- perméabilité $\mu = 1500 \times 4\pi 10^{-7}$ (circuit magnétique linéaire).

1- On bobine $n = 100$ spires de fil de cuivre émaillé . Calculer le flux φ dans le C.M. sachant que l'intensité du courant circulant dans les spires est de 1A.

2- Calculer le flux Φ intercepté par l'ensemble des 100 spires. (ou flux "vu" par le circuit électrique).

3- En déduire l'inductance constituée par les 100 spires et le circuit magnétique décrit ci-dessus.

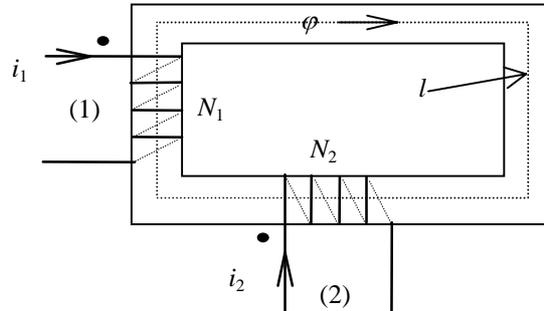
4- On pratique un entrefer d'épaisseur $e = 2$ mm dans une section droite. Calculer la nouvelle valeur L' de l'inductance. Commenter ce nouveau résultat.

D - 11 - Circuits magnétiques - Caractéristiques partielles (session sept. 2002)

On considère un circuit magnétique constitué d'un seul matériau, de l'acier mi-dur dont la courbe de première aimantation est donnée en annexe. Le tableau des données constructeur figure ci-dessous.

HkA/m	0,75	0,90	1,2	1,7	2,5	3,6	6,0	10,0
B(T)	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

La longueur moyenne l du circuit est de 1 mètre et sa section S est de 10 cm^2 .



1 - Calculer l'intensité i_1 nécessaire pour avoir un flux moyen ϕ de $1,6 \text{ mWb}$ sachant que le circuit électrique (1) constitué de $N_1 = 1000$ spires est seul alimenté.

2 - Sur le circuit magnétique on ajoute un autre bobinage (2) ayant $N_2 = 600$ spires. Les sens positifs des courants sont indiqués ainsi que les bornes homologues.

Quelle valeur faut-il donner à i_2 pour que $\phi = 1,5 \text{ mWb}$, sachant que $i_1 = 6 \text{ A}$.

3 - On pratique un entrefer d'épaisseur $e = 2 \text{ mm}$ dans le matériau, selon une section droite.

3.1 - Tracer sur papier millimétré la caractéristique partielle $\phi(\varepsilon)$ relative au circuit en acier, avec $\varepsilon = Hl$.

3.2 - Tracer la caractéristique partielle relative à l'entrefer. Montrer que c'est une droite d'équation $\phi = (\mu_0 \frac{S}{e})\varepsilon$, avec $\varepsilon = He$.

3.3 - Tracer la caractéristique totale (C) relative au montage résultant de l'association acier-entrefer après avoir appelé les deux "arguments" physiques qui sont à l'origine de cette construction.

4 - Placer le point de fonctionnement (noté P) sur la courbe tracée en 3.1 pour la f.m.m. calculée à partir du résultat de la question 1.

5 - Montrer comment se déplace le point de fonctionnement lorsqu'on pratique l'entrefer, la f.m.m. étant celle de la question 4 et donner la nouvelle valeur de ϕ ou de B dans le circuit magnétique.

6 - Montrer graphiquement que l'entrefer, vis à vis de l'acier est l'équivalent d'une f.m.m. dont on précisera le signe et la valeur.

7 - L'entrefer étant en place, donner la valeur de l'intensité i'_1 nécessaire (dans N_1 spires) pour conserver $\phi = 1,6 \text{ mWb}$.

D - 12 - Circuits magnétiques - Capteur de déplacement (session sept. 2002)

Le circuit magnétique étudié est schématisé figure 1. Il est formé de trois pièces A, B, C d'un matériau magnétique de perméabilité relative μ_r constante.

A et C sont fixes alors que B peut se déplacer par translation (indiqué par deux flèches).

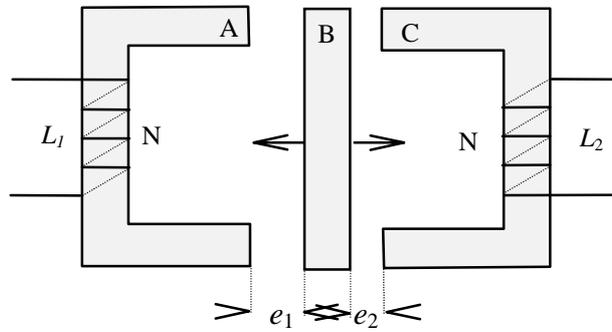


figure 1

Lorsqu'il n'y a pas d'action sur la pièce B celle-ci est centrée par rapport à A et C, c'est à dire que $e_1 = e_2 = e_0$. Les pièces A et C portent deux enroulements identiques de N spires chacun.

La perméabilité du milieu dans lequel évolue B est celle du vide, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$.

On donne:

- ◆ - Longueur de A + longueur de B = longueur de C + longueur de B = 8 cm. On notera l_0 cette longueur.
- ◆ - Les sections droites de A, B, C sont les mêmes: $S = 1 \text{ cm}^2$
- ◆ - $N = 100$ spires, $\mu_r = 2000$, $e_0 = 2\text{mm}$.

1 - Pour la position de repos calculer numériquement:

- 1-a La réluctance \mathfrak{R} du circuit (A+B) seul (pièces métalliques).
- 1-b La réluctance \mathfrak{R}_0 du circuit situé entre A et B (entrefers).

2 - Calculer l'expression littérale de la réluctance obtenue à partir de A, B et des entrefers communs.

3 - Montrer que l'expression littérale de l'inductance $L_0 = L_1(e_0) = L_2(e_0)$ est $\frac{\mu_0 S N^2}{\frac{l_0}{\mu_r} + 2e_0}$ (pour la position de repos

de la pièce B). Pour ce calcul littéral, on supposera que seules les réluctances de A, B et de leurs entrefers communs interviennent. (décrypter cette hypothèse de travail).

4 - Après avoir comparé les valeurs numériques des termes de l'expression de L_0 , montrer que cette dernière peut s'écrire plus simplement. On gardera cette expression pour la suite du problème.

Application numérique: Calculer dans ces conditions la valeur numérique de L_0 .

5 - La pièce B se déplace d'une quantité " δe " que l'on supposera petite devant e_0 . (B se déplace vers C par exemple, donc L_1 diminue, L_2 augmente).

Calculer littéralement les expressions, développées au premier ordre, prises par L_1 et L_2 en fonction de L_0 , e_0 et de " δe ".

6 - On réalise le montage indiqué figure 2.

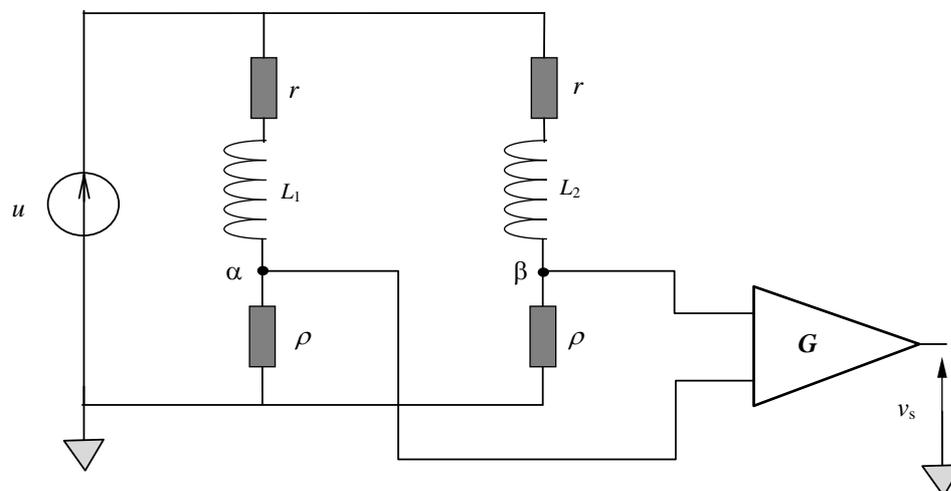


figure 2

Les inductances L_1 et L_2 sont placées dans les branches d'un pont alimenté par une source de tension sinusoïdale de fréquence $f = 100$ Hz, de valeur efficace $U = 10$ V.

On donne $r = 5 \Omega$ (résistance de chaque bobine), $\rho = 100 \Omega$ et on pose $\omega = 2\pi f$.

Calculer l'expression littérale complexe $\underline{V}_{\alpha\beta}$ en fonction des données (dans le cas, par exemple, d'un déplacement vers la droite de la pièce B) et de " δe ".

7 - Simplifier le dénominateur de $\underline{V}_{\alpha\beta}$ après avoir comparé les valeurs numériques de $L_0\omega$ et de $(r+\rho)$ et fait l'hypothèse que L_1 et L_2 sont très proches de L_0 .

8 - Montrer que $V_{\alpha\beta} = \frac{2\rho UL_0\omega}{e_0(r+\rho)^2} \delta e$, en appelant $V_{\alpha\beta}$ la valeur efficace de $v_{\alpha\beta}(t) = |\underline{V}_{\alpha\beta}|$.

9 - Donner la valeur numérique du coefficient $\frac{V_{\alpha\beta}}{\delta e}$. Quelle est sa signification physique?

10 - On veut que la tension V_s à la sortie de l'amplificateur soit telle que $\frac{V_s}{\delta e} = 1000 \text{ Vm}^{-1}$. Quelle valeur faut-il donner à l'amplification G de l'amplificateur de mesure? (son impédance d'entrée est supposée infinie).

11 - A-t-on intérêt à prendre un amplificateur sélectif ou large bande? Justifiez votre réponse.

12 - On se pose la question de savoir si ce système de détection permet de connaître le sens du déplacement de la pièce B. Si c'est le cas justifier votre réponse, si ce n'est pas le cas, proposer une solution.

D13 - Circuits magnétiques - Aimant permanent

La caractéristique de désaimantation d'un aimant (type TICONAL) est la suivante: $B_a = f(H_a)$

B_a (T)	1,2	1,1	1	0,8	0,7	0,4	0
H_a (A/m)	0	-22500	-32000	-40500	-43000	-46200	-48000

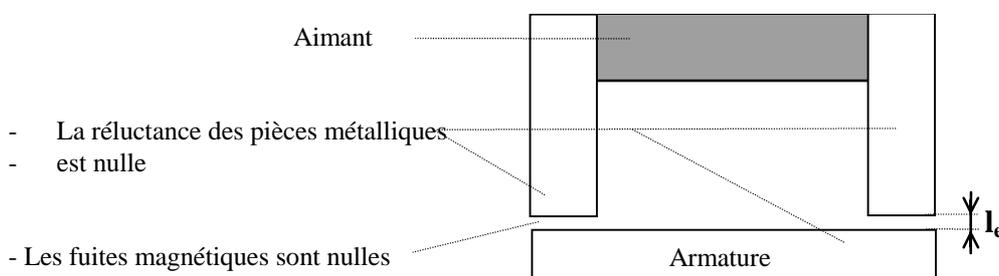
1) Donner la valeur de l'induction rémanente et du champ coercitif.

2) Déterminer la force d'attraction de l'armature dans les cas suivants:

a - Le circuit magnétique est fermé, l'aimantation à saturation ayant été effectuée après la fermeture du circuit magnétique.

b - Le circuit magnétique est fermé, mais après avoir éloigné l'armature de façon à créer un entrefer d'épaisseur $2l_e = 4$ mm.

L'aimant est parallépipédique. Longueur $L_a = 50$ mm, section $S_a = 150 \text{ cm}^2$. La pente des droites de recul est $3\mu_0$ (T/A/m). On choisira pour échelles 10 cm par tesla et 1 cm pour 4000 A/m. Les hypothèses sont indiquées sur le schéma ci-contre:



3) A partir de $2l_e = 4$ mm on passe à $2l_e = 2$ mm.

a) Déterminer les valeurs de B et H dans l'entrefer.

b) Calculer la nouvelle force de collage.

c) Calculer l'énergie magnétique dans le volume de l'entrefer.

4) Avec ce même matériau magnétique on désire fabriquer un entrefer aux caractéristiques suivantes:

$$2l_e = 1 \text{ mm}$$

$$S_e = 4 \text{ cm}^2$$

$$B_e = 0,8 \text{ T}$$

Déterminer la longueur L_a et la section S_a de telle sorte que le volume de l'aimant soit minimal. On admettra qu'il n'y a pas de fuites magnétiques.

5) Les aimants T.R. (Néodyme-Fer-Bore) présentent une caractéristique de désaimantation de type affine, de la forme : $B_a = \mu_r \mu_0 H_a + B_r$. (Les droites de recul sont dans ce cas confondues avec la caractéristique de désaimantation).

La perméabilité relative μ_r est généralement proche de l'unité, celle du matériau considéré vaut 1,1 et l'induction rémanente est $B_r = 1,2 \text{ T}$.

Pour un entrefer total $2l_e = 1 \text{ mm}$, avec une section de 4 cm^2 on veut $B_e = 0,8 \text{ T}$. Déterminer S_a et L_a pour que le volume de l'aimant soit minimal. Pour cela on partira des équations des circuits magnétiques et on cherchera par voie analytique les dimensions à donner à l'aimant. De plus on admettra qu'il n'y a pas de fuites magnétiques (Voir cours pour comprendre comment seraient corrigées les dimensions si on tenait compte des fuites et des réluctances "parasites").

6) Commenter les résultats obtenus.