
TP3 : SYSTEME TRIPHASE EQUILIBRE CHAMP MAGNETIQUE TOURNANT

OBJECTIFS

Les objectifs principaux de cette manipulation sont d'une part, de vous initier aux grandeurs électriques en régime sinusoïdal triphasé et d'autre part, d'étudier le principe de création d'un champ magnétique tournant.

Régime sinusoïdale triphasé

Les éoliennes, les barrages hydrauliques et les centrales thermiques ou nucléaires transforment l'énergie mécanique apportée respectivement par le vent, les chutes d'eau et la vapeur d'eau à haute pression en énergie électrique à l'aide de génératrices appelées "alternateurs". Ces alternateurs délivrent une tension électrique triphasée de haute tension (plusieurs centaines de kV à 50Hz) qui est amené via un réseau complexe de lignes électriques jusqu'aux entreprises et aux habitations privées. Cependant, avant de parvenir aux consommateurs, la tension est abaissée (à l'aide de transformateurs). Le plus souvent, elle est disponible sur une seule phase (220V monophasé à 50Hz) chez un particulier. Dans la salle de TP, vous disposez à la fois du régime monophasé et du régime triphasé. Une partie de ce TP va vous permettre de vous familiariser avec les notions et le vocabulaire du régime triphasé équilibré et d'en comprendre les enjeux et les applications.

Champ magnétique tournant

Les moteurs électriques, présents partout dans la vie courante (rasoir, perceuse, machine à laver, ordinateurs, ...) et dans l'industrie (moteur de grue, de rotor pour impression, de bras articulés, de laminoir ...), ne doivent leur rotation qu'à l'existence, en leur sein, de champs magnétiques tournants. On conçoit alors l'importance de l'étude et de la compréhension de la génération d'un champ magnétique tournant et de son utilisation dans les moteurs. Ainsi, l'autre partie de ce TP rappelle brièvement les notions d'induction électromagnétique puis introduit la notion de champ tournant associé à un régime sinusoïdal monophasé pour enfin généraliser cette notion aux régimes diphasés (2 phases) puis triphasés (3 phases).

PRÉCAUTIONS ET RECOMMANDATIONS

Il est impératif :

- **De faire vérifier le montage à chaque modification de câblage,**
- De prendre soin à ne pas dépasser les valeurs nominales de courant et de tension, de chacune des charges,
- De prendre le type d'appareil adapté à la mesure à réaliser (mesure temporelle, valeur moyenne, efficace, efficace vraie, bande passante, valeurs limites, formes d'ondes, etc...),
- De prendre soin de ne pas dépasser les calibres des appareils de mesures (ampèremètre, voltmètre, wattmètre).

Remarque : Les postes de manipulation utilisés par la Licence (L2 et L3) sont alimentés en tension triphasée équilibrée 133 V / 230 V. La tension est quasi-sinusoidale (légèrement déformée par la saturation du transformateur d'alimentation général). À cause de cette distorsion on prendra soin d'utiliser des appareils efficaces vraies: ferromagnétiques repérés par le symbole ⚡ , ou numériques adaptés.

PARTIE 1 : SYSTEME TRIPHASE EQUILIBRE

1. MATERIELS MIS A DISPOSITION

Vous disposez

- d'une arrivée de tension triphasé [S2]
- d'un transformateur triphasé qui abaisse la tension d'un facteur dix environ [T2]
- d'un oscilloscope [M3]
- et d'un voltmètre permettant de mesurer les tensions efficaces.

Le boîtier de branchement du transformateur triphasé est représenté sur la figure 1a. Le schéma des trois transformateurs monophasés qui sont dans le boîtier sont représentés sur la figure 1b. Les tensions $u_{p1}(t)$, $u_{p2}(t)$ et $u_{p3}(t)$ au primaire du transformateur sont les tensions triphasées délivrées par la salle. Elles sont référencées par rapport à un potentiel commun, celui du neutre, noté N. Les tensions $u_{s1}(t)$, $u_{s2}(t)$ et $u_{s3}(t)$ au secondaire du transformateur sont en phase avec leur tension homologue du primaire mais leur amplitude est atténuée d'un facteur dix environ. Enfin, l'isolement galvanique des transformateurs fait que les potentiels Z, U₁, X, V₂, Z et W₃ sont flottants.

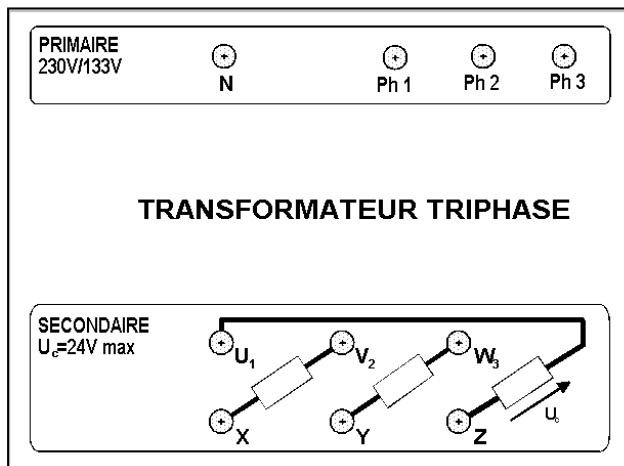


Figure 1a

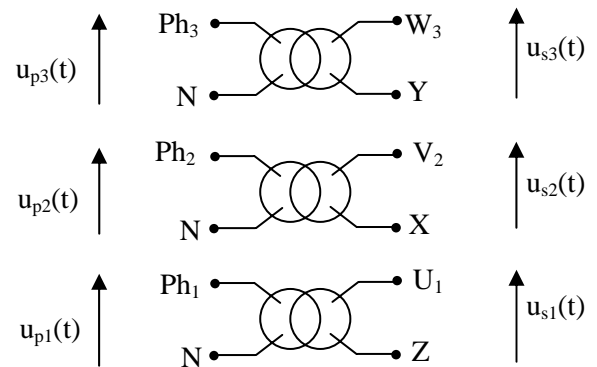


Figure 1b

2. MANIPULATIONS

2.1 Addition de tensions monophasées

Dans cette première série de mesures, l'objectif est d'appliquer les lois d'additivité de tensions en régime sinusoïdal monophasé. Ceci permettra de mieux appréhender les grandeurs triphasées.

- Réalisez le montage de la figure 2. Il consiste à alimenter les trois enroulement du primaire avec la même phase (L1 par exemple). Les valeurs efficaces de $u_{s1}(t)$, $u_{s2}(t)$ et $u_{s3}(t)$ sont identiques.
- Observez sur l'oscilloscope la tension $e(t) = u_{s1}(t)$ entre les bornes U₁ et Z et mesurez sa tension efficace E. Reportez sa valeur dans la première case du tableau 1.

- Branchez les 2 enroulements [U₁-Z] et [V₂-X] du secondaire **en série** en plaçant un fil entre U₁ et X.
 - Calculez la valeur théorique de la tension efficace E' (en fonction de E) entre les points V₂ et Z. Reportez sa valeur dans le tableau 1.
 - Observez sur l'oscilloscope la tension e'(t) entre les bornes V₂ et Z et mesurez la tension efficace E'.
- Branchez les 3 enroulements [U₁-Z], [V₂-X] et [W₃-Y] du secondaire **en série** en rajoutant un fil entre V₂ et Y.
 - Calculez la valeur théorique de la tension efficace E'' entre les points W₃ et Z. Reportez sa valeur dans le tableau 1.
 - Observez sur l'oscilloscope e''(t) entre les bornes W₃ et Z et mesurez la tension efficace E''.
 - Que se passerait-il si on reliait W₃ et Z ?

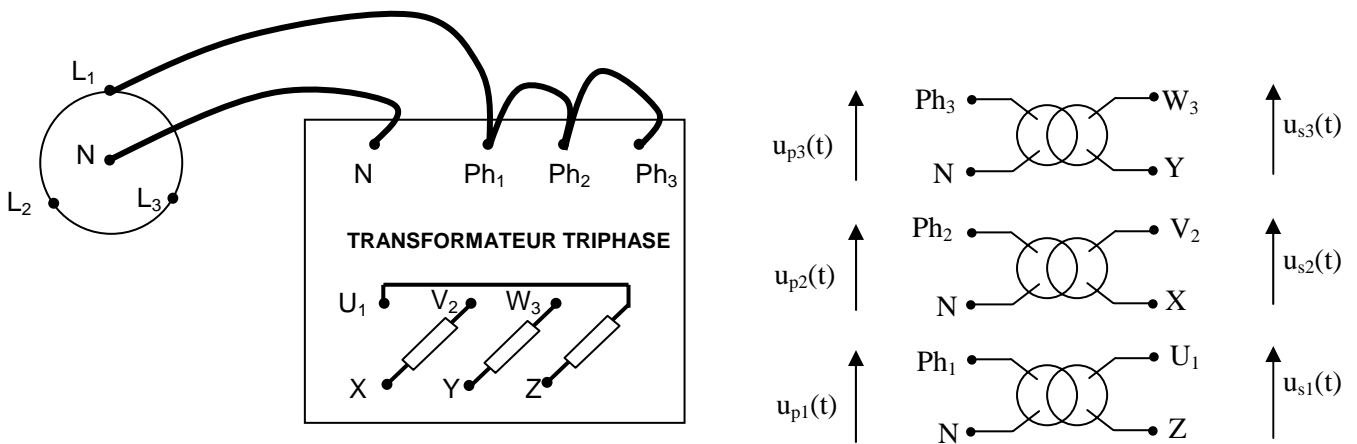


Figure 2

	mesuré	théorique
E(V)		
E'(V)		
E''(V)		

Tableau 1

- Faites un diagramme de Fresnel représentant les tensions efficaces U_{s1}, U_{s2} et U_{s3} puis les tensions E, E' et E''.

2.2 Addition de tensions triphasées

a. Mesures

- Coupez l'alimentation triphasée et réalisez le montage de la figure 3.
 - Observez e(t) = u_{s1}(t) entre les bornes U₁ et Z et mesurez sa tension efficace E.
 - Dans le tableau 2, complétez la première case "mesuré".
- Branchez les 2 enroulements [U₁-Z] et [V₂-X] du secondaire **en série** en plaçant un fil entre U₁ et X.

- Observez $e'(t)$ entre les bornes V_2 et Z et mesurez la tension efficace E' . Complétez la case correspondante sur le tableau 2.
- Branchez les 3 enroulements $[U_1-Z]$, $[V_2-X]$ et $[W_3-Y]$ du secondaire **en série** en rajoutant un fil entre V_2 et Y .
- Observez $e''(t)$ entre les bornes W_3 et Z et mesurez la tension efficace E'' . Complétez la case "mesuré" sur le tableau 2.
- Que se passerait-il si on reliait W_3 et Z ?

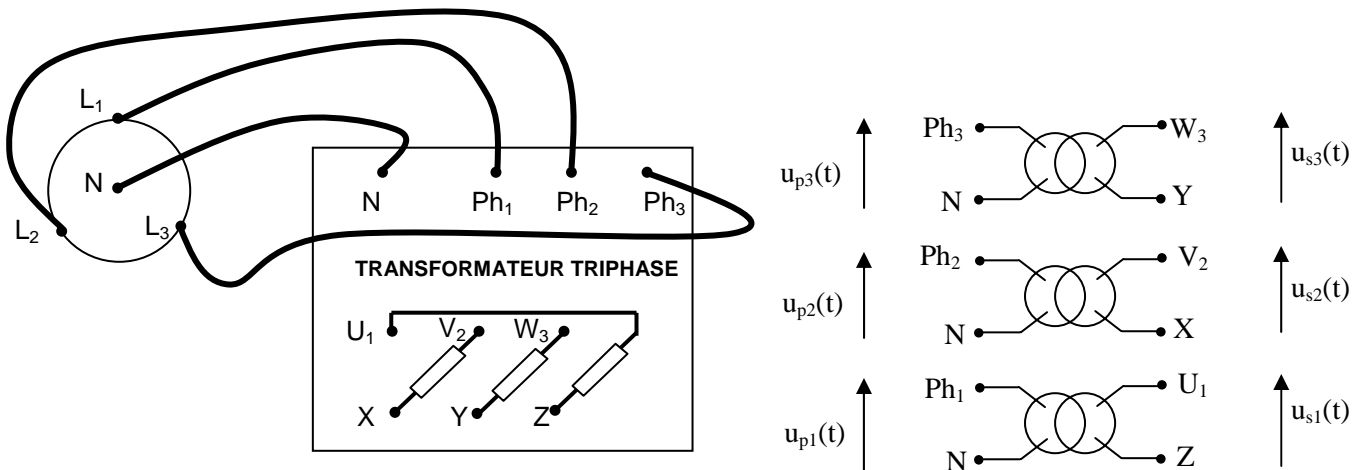


Figure 3

	mesuré	théorique
$E(V)$		
$E'(V)$		
$E''(V)$		

Tableau 2

b. Analyse des résultats

L'objectif de cette partie est de tracer le diagramme de Fresnel des tensions $u_{s1}(t)$, $u_{s2}(t)$ et $u_{s3}(t)$ et de comprendre les résultats des mesures que vous avez obtenues dans le § 2.2.a en complétant la colonne théorique du tableau 2.

- Reprenez le montage de la figure 3 et reliez entre elles les trois bornes X , Y et Z . De cette façon, les tensions $u_{s1}(t)$, $u_{s2}(t)$ et $u_{s3}(t)$ possèdent la même tension de référence.
- Visualisez à l'oscilloscope les tensions $u_{s1}(t)$ et $u_{s2}(t)$ puis $u_{s1}(t)$ et $u_{s3}(t)$. Comme vous disposez d'un oscilloscope à deux voies, vous visualiserez les tensions deux à deux. Complétez le tableau 3 en prenant pour phase de référence celle de $u_{s1}(t)$.
- Tracez sur la figure 4, le diagramme de Fresnel des tensions efficaces U_{s1} , U_{s2} et U_{s3} . En déduire les valeurs théoriques des tensions E , E' et E'' et complétez le tableau 2.

	Amplitude [V]	Phase [°]	Valeur efficace [V]
$u_{s1}(t)$		0	
$u_{s2}(t)$			
$u_{s3}(t)$			

Tableau 3

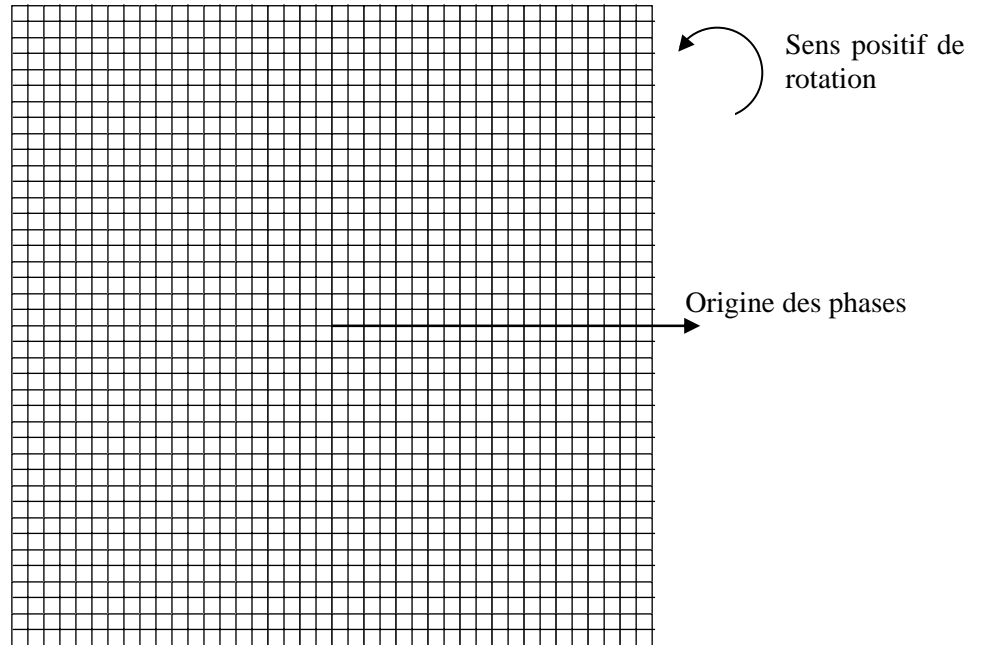


Figure 4

- || - En régime équilibré, quel est le principal avantage du transport électrique triphasé ? Quels sont les autres avantages du régime triphasé?

PARTIE 2 : CHAMP MAGNETIQUE TOURNANT

1. MATERIELS MIS A DISPOSITION

Vous disposez

- d'un autotransformateur [S4],
- de deux bobines [L1],
- d'un boîtier de capacités variables [C1]
- d'un aimant permanent,
- d'un wattmètre [M3]

2. RAPPELS

2.1 Aimant permanent, ligne de champ et boussole

Un aimant permanent crée un champ magnétique dans tout l'espace. Ses lignes de champ magnétique sont représentées sur la figure 5. Le champ magnétique est tangent en chaque point aux lignes de champ et son orientation va du pôle nord de l'aimant vers le pôle sud. Une représentation vectoriel du champ d'induction est représenté au point P de la figure 5. Si l'on place une boussole en ce point, elle s'orientera comme sur la figure 5, c'est à dire que son pôle sud magnétique sera orienté vers le pôle nord de l'aimant. Les orientations de la boussole sont également représentés aux deux extrémités de l'aimant.

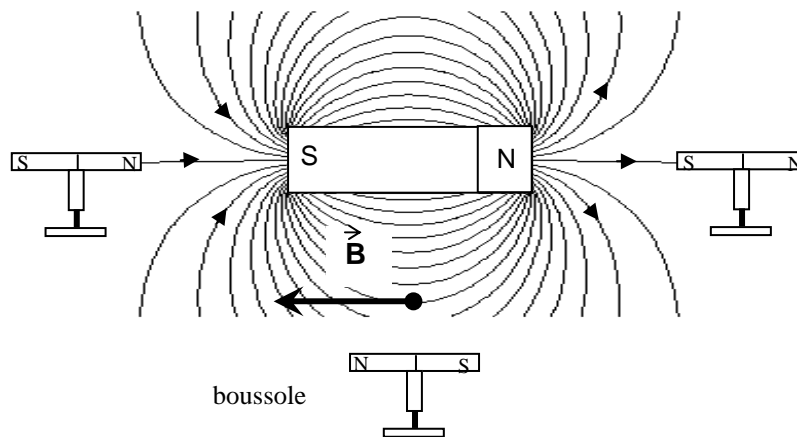


Figure 5

On peut noter que l'on obtient les mêmes lignes de champ à l'aide d'une bobine alimentée en courant continu. On forme ainsi un électroaimant. Un rapide rappel vous est donné sur les électroaimants alimentés en courant alternatif dans le paragraphe suivant.

2.2 Electroaimant alimenté en courant alternatif

Une bobine parcourue par un courant sinusoïdal $i(t)$ crée un champ magnétique $h(t)$ dont l'amplitude varie sinusoïdalement, en phase avec le courant qui la traverse (Théorème d'Ampère $h(t) \times \ell = n \times i(t)$). Si l'on place un matériau ferromagnétique en P (voir la figure 6), on développe alors une induction magnétique $b(t)$ à travers ce matériau dont l'amplitude est proportionnelle au champ magnétique $h(t)$ (tant que le matériau n'est pas saturé).

On a $b(t) = \mu_0 \mu_r h(t)$ μ_0 : perméabilité magnétique du vide
 μ_r : perméabilité magnétique relative du matériau

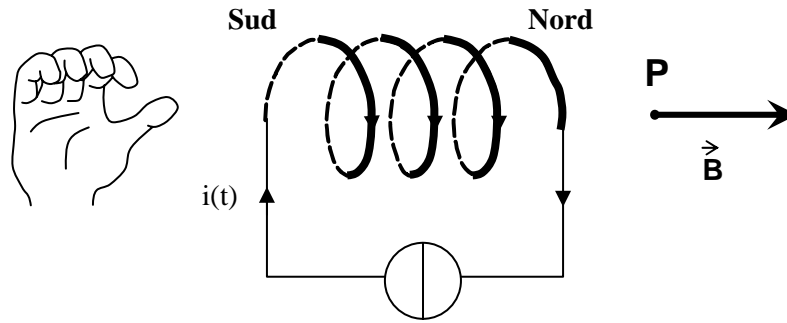


Figure 6

L'orientation du champ est donnée par la règle de la main droite comme indiquée sur la figure 7. Comme le champ magnétique à l'extérieur de la bobine va du pôle nord vers le pôle sud, on peut en déduire la position des pôles magnétiques de la bobine.

Remarque:

$i(t) = I\sqrt{2} \cos(\omega t)$
 courant instantané
 [A]

$h(t) = H\sqrt{2} \cos(\omega t)$
 excitation ou champ magnétique instantané
 [Atr.m⁻¹]

$b(t) = B\sqrt{2} \cos(\omega t)$
 induction magnétique
 [Tesla]

Dans le plan complexe, les vecteurs I, H et B sont donc en phase.

3. MANIPULATIONS

3.1 Génération d'un champ tournant par rotation de la source du champ magnétique.

Il paraît évident que pour générer un champ magnétique tournant, le plus simple est de faire tourner un aimant. La figure 7 montre la rotation du champ magnétique en un point de l'axe de rotation sous l'aimant.

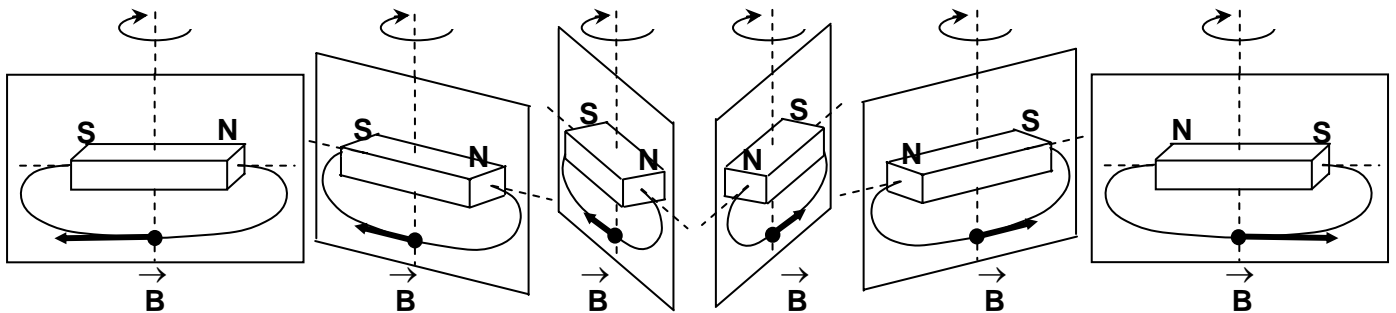


Figure 7

|| - Faites tourner l'aimant au dessus de la boussole. Que constatez-vous ?

La figure 8 montre la rotation du champ magnétique devant l'aimant lorsque ce dernier tourne. Contrairement à la figure 7 l'amplitude et la direction du champ varie.

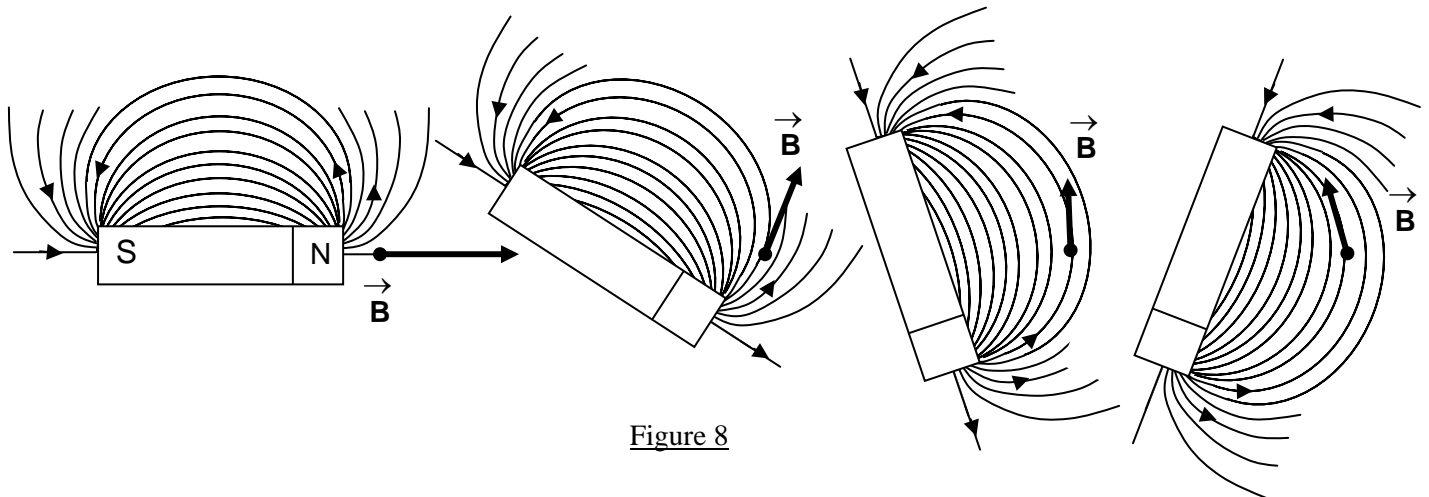


Figure 8

|| -Demandez à l'enseignant de faire pivoter un aimant devant votre boussole et analysez le résultat.

Remarque:

Toutes les démonstrations de ce paragraphe auraient pu être faites avec un électroaimant alimenté en courant continu.

3.2 Champ tournant créé par une excitation sinusoïdale : Théorème de Leblanc

Nous venons de voir que lorsque l'on fait tourner un aimant dans l'espace, on crée des champs magnétiques tournants. Or si on fait tourner un aimant devant une bobine, le courant d'induction qui la traverse varie de manière sinusoïdale. On a alors la relation de cause à effet :

Champ magnétique tournant \Rightarrow Courant induit sinusoïdal

Est ce que la réciproque est vrai ?

- Réglez la bobine à 0,5H et alimentez là avec la tension sinusoïdale du réseau (220V). Mettre la boussole en rotation (telle une toupille) et placez là devant la bobine. Que constatez-vous ? Interprétez le résultat à l'aide de l'animation présentée par l'enseignant.
- Énoncez le théorème de Leblanc.

3.3 Champ tournant créé par deux bobines diphasées : Théorème de Ferraris

Pour générer un champ tournant avec deux bobines, il faut les positionner dans l'espace à 90° l'une de l'autre et les alimenter avec deux courants déphasés de 90° et possédant les mêmes valeurs efficaces. Pour réaliser ces conditions, nous vous proposons le montage de la figure 9.

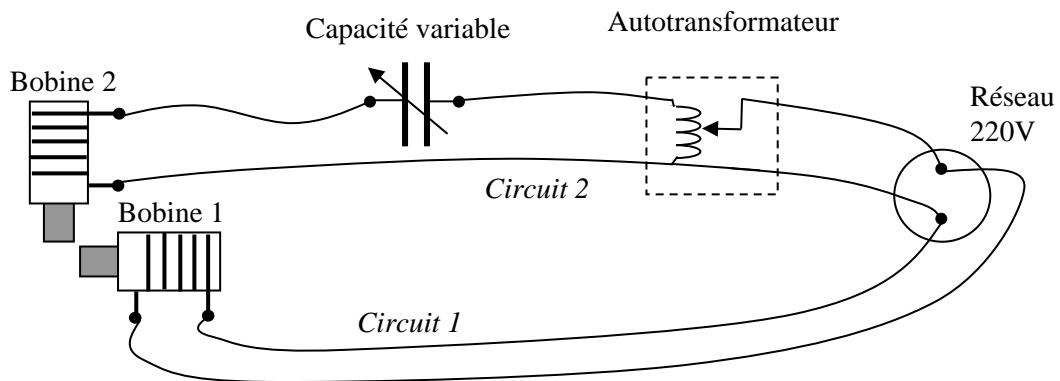


Figure 9

Avant de réaliser ce montage, il faut caractériser ses différents éléments. C'est l'objet des premières mesures.

- Réglez l'inductance des deux bobines à 0.6H.
- Alimentez la bobine 1 sous 220V et mesurez le courant I_1 qui la traverse et le facteur de puissance FP_1 . Complétez les colonnes « Circuit1 » du tableau 4.
- Alimentez la bobine 2 sous 220V et donnez à l'aide du wattmètre le modèle équivalent série de la bobine 2. Complétez les colonnes « Bobine2 » du tableau 4.
- Quelle doit être la réactance et la valeur de la capacité pour ramener le facteur de puissance FP_2 du circuit 2 à l'unité ? Complétez les colonnes « Capacité » du tableau 4.
- Lorsque la compensation est faite, quelle est la tension V_{auto} que doit délivrer l'autotransformateur pour que le courant I_2 soit égale au courant I_1 ? Complétez les parties théoriques des colonnes « Circuit2 »
- Faites valider vos résultats par l'enseignant.

- Réalisez le montage de la figure 9 en plaçant un wattmètre aux bornes du circuit 2 (c'est-à-dire en sortie de l'autotransformateur). **Faites vérifier le montage.**
- Une fois la compensation réalisée dans le circuit 2, complétez les dernières colonnes « Circuit2 » du tableau 4.
- Placez la boussole entre les deux bobines. Que constatez-vous?

Circuit 1		Bobine 2					Capacité		Circuit 2					
I ₁ (A)	FP ₁	I ₂ (A)	P (W)	Q (VAR)	R _s (Ω)	X _s (Ω)	X _c (Ω)	C (μF)	V _{auto} (V)		I ₂ (A)		FP ₂	
									Th.	Mes.	Th.	Mes.	Th.	Mes.

Tableau 4

3.4 Champ tournant en triphasé : démonstration
