

TP ELECTROTECHNIQUE
1^{ère} année
Module MC2-2

Consignes

Les consignes données dans le fascicule de TP d'électricité s'appliquent également à ceux de ce module d'électrotechnique.

4 séances de TP de 3 h sont consacrés aux TP d'électrotechnique :

3 sujets et un examen individuel d'une durée d'1h30

Sommaire

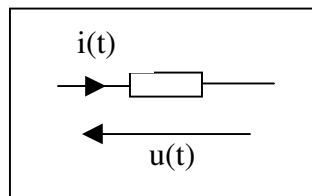
TP 1 : Présentation du Wattmètre	page 3
Sujet du TP Wattmètre	page 7
TP 2 : Transformateur Redressement	page 12
TP 3 : Redressement 2	page 17

PRESENTATION DU WATTMETRE

L'électricité est produite et distribuée sous forme sinusoïdale. Les appareils électriques domestiques et industriels (moteurs, éclairage etc...) fonctionnent donc en régime sinusoïdal. Vous pouvez être amenés à mesurer la puissance consommée ou fournie par un appareil. Pour cela vous pouvez utiliser un Wattmètre.

I – PUISSANCES EN REGIME SINUSOIDAL

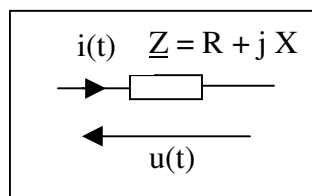
1° EN REGIME QUELCONQUE



Puissance instantanée : $p(t) = u(t) i(t)$

Puissance Active ou puissance moyenne : $P = (1/T) \int p(t) dt$

2° EN REGIME SINUSOIDAL



$$u(t) = U_{\max} \sin \omega t \quad \text{et} \quad i(t) = I_{\max} \sin (\omega t + \phi)$$

ϕ est le déphasage du courant par rapport à la tension

$$\phi = \arg (R + jX) = \arctan(X/R)$$

Puissance active : $P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \phi$ s'exprime en Watt

Puissance Réactive : $Q = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \sin \phi$ s'exprime en VAR (Volt Ampère Réactif)

Dipôle Inductif : $X > 0 \Rightarrow 0 < \phi < \pi/2 \Rightarrow Q > 0$ puissance réactive consommée

Dipôle Capacitif : $X < 0 \Rightarrow -\pi/2 < \phi < 0 \Rightarrow Q < 0$ puissance réactive fournie

Puissance apparente : $S = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$ s'exprime en VA

Facteur de puissance :

Si le dipôle n'introduisait pas de déphasage, la puissance active consommée serait maximale : $P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos 0$.

A cause de ce déphasage, elle n'est que de $U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \phi$.

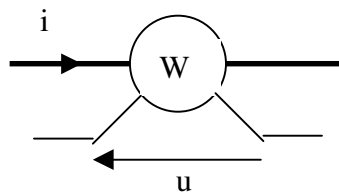
On chiffre cet inconvénient en utilisant le facteur de puissance $\cos \phi = P/S$

Pour P donné, on remarque que si $\cos \phi$ diminue, I_{eff} nécessaire pour maintenir P constante augmente. Ceci engendre l'augmentation des pertes par effets joules dans les lignes de transport. Dans une installation électrique, on cherche donc à maintenir un facteur de puissance élevé (proche de 1).

II – LE WATTMETRE

Le wattmètre sert à mesurer la puissance active consommée par un récepteur.

1° LE SYMBOLE



2° CONSTITUTION



Calibres d'intensité

Calibres tension

Le wattmètre comporte deux circuits distincts :

Un circuit « gros fil » parcouru par le courant, branché en série avec le récepteur, comme un ampèremètre.

Un circuit « fil fin », circuit tension, branché en parallèle sur le récepteur, comme un voltmètre.

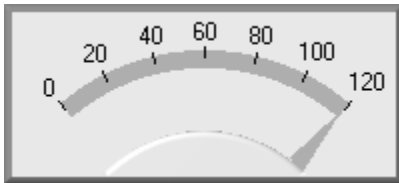
Chacun de ces circuits est protégé par un fusible.

3° MESURE

On dispose à la fois de calibres tension et de calibres intensité.

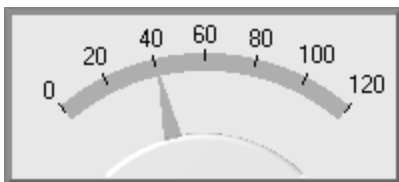
L'appareil mesurant la puissance active $P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos\phi$, pour U_{eff} et I_{eff} donnés, la déviation de l'aiguille dépend de $\cos\phi$.

L'aiguille dévie à pleine échelle quand : $U_{\text{eff}} \text{ mesurée} = U_{\text{cal}}$ la tension du calibre
 $I_{\text{eff}} \text{ mesurée} = I_{\text{cal}}$ le courant du calibre
et $\cos\phi = 1$



Cela correspond à une puissance active de $U_{\text{cal}} I_{\text{cal}}$

Si l'aiguille dévie de N graduations, sur un appareil de N_{tot} graduations au total, la mesure réalisée est : $P_{\text{mesuré}} = N U_{\text{cal}} I_{\text{cal}} / N_{\text{tot}}$



Exemple : Calibres 240 V et 5 A

soit $240 \times 5 = 1200 \text{ W}$ pleine échelle

Le nombre total de graduations est de 120.

Soit $1200/120 = 10 \text{ W / graduation}$

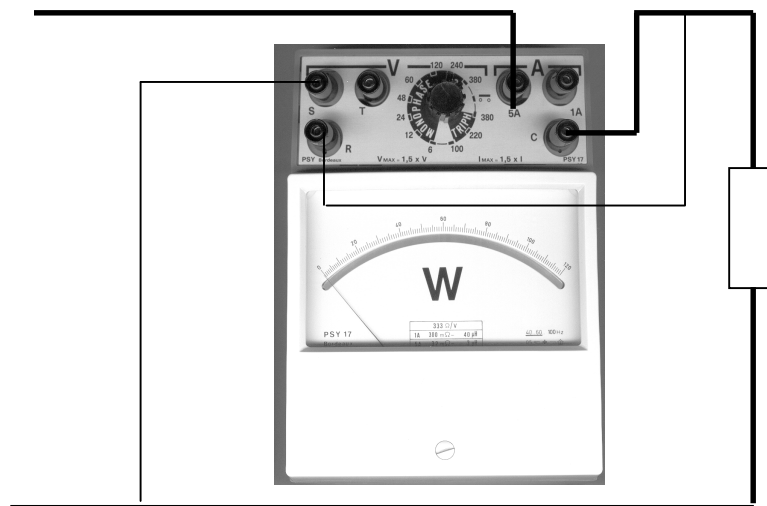
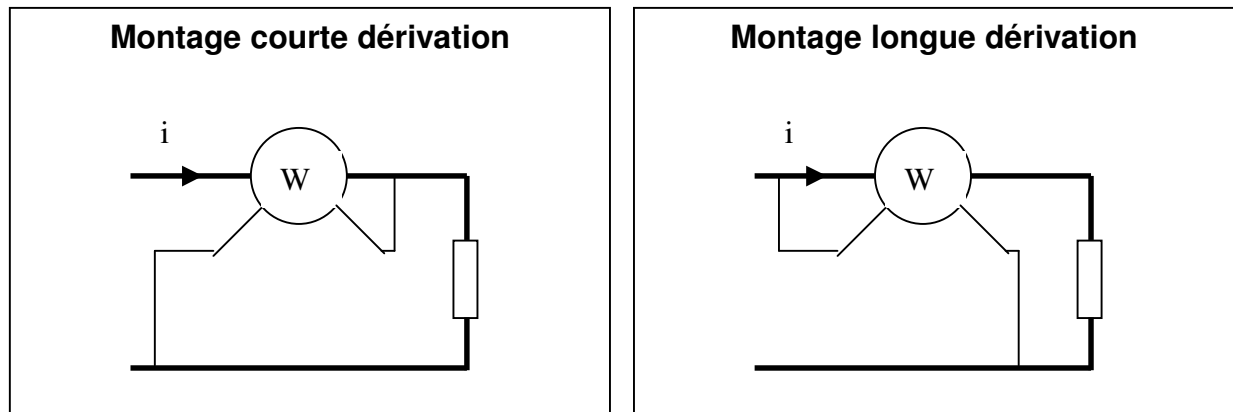
L'aiguille dévie de 40 graduations,

donc : $P_{\text{mesurée}} = 40 \times 240 \times 5 / 120 = 400 \text{ W}$

Attention : Même si U_{eff} et I_{eff} sont proches des valeurs des calibres sélectionnés, la déviation de l'aiguille reste faible si $\cos\phi$ est faible.

On ne peut cependant pas utiliser des calibres inférieurs ...
... cela détériore l'appareil !

III – BRANCHEMENT DU WATTMETRE



Montage courte dérivation

Procédure de mesure :

- Placer un ampèremètre en série avec le circuit « gros fil »
- Placer un voltmètre en parallèle sur le circuit fil fin
- Régler chaque appareil sur les calibres les plus élevés

Attention, le fusible du circuit tension du wattmètre coûte environ 10 euros pièce

- Adapter les calibres des différents appareils selon les valeurs mesurées.

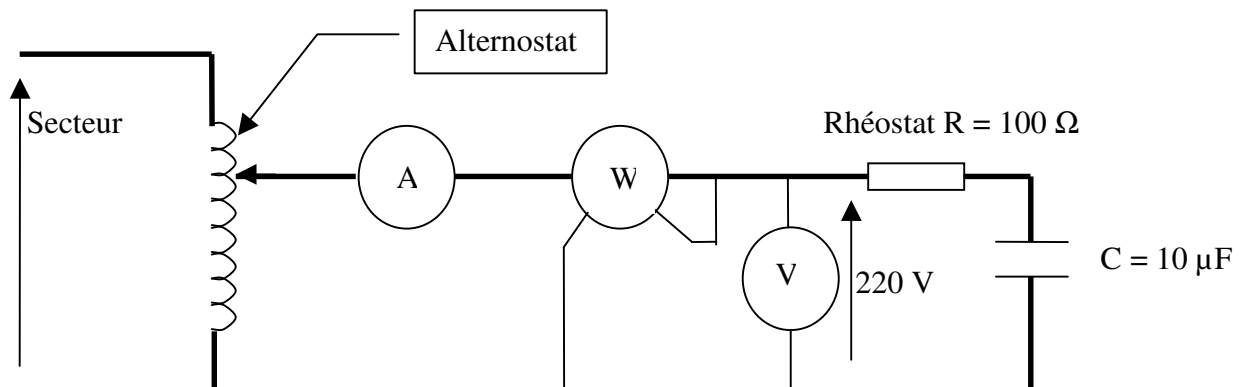
Si l'aiguille dévie du mauvais côté, inverser le sens de branchement du circuit fil fin.

TP WATTMETRE

Alimenter et interrompre progressivement l'alimentation du montage grâce à l'alternostat.

Cela permet d'éviter l'apparition de f.e.m induites élevées ($e = -L \frac{di}{dt}$) engendrées par des interruptions ou des mises sous tensions brutales de circuits inductifs.

I – MESURE DE PUISSANCE SUR CHARGE CAPACITIVE



Dans cette première manipulation, on ne prend pas en compte les erreurs systématiques dues au montage.

1° Mesure de P

Régler l'alternostat pour avoir 220 V aux bornes de la charge

Régler le rhéostat R à 100 Ω en mesurant la résistance à l'Ohmmètre

Mesurer I et P.

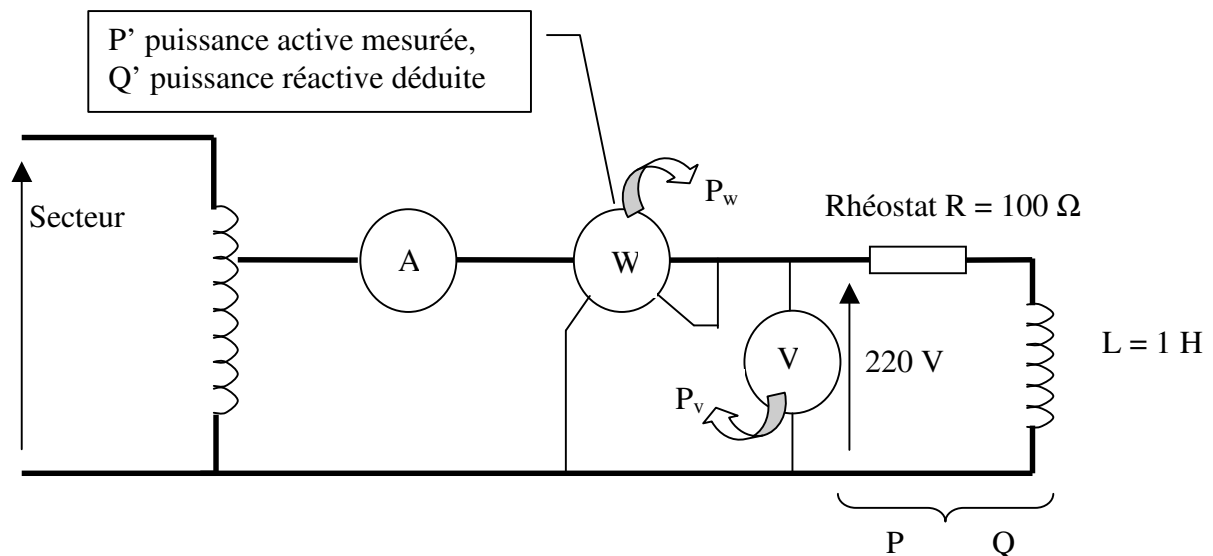
Rappeler le mode opératoire sur le compte-rendu. Bien faire apparaître également les calibres utilisés.

2° Exploitation de la mesure

Déduire de la mesure :

- a) le facteur de puissance
- b) la puissance réactive
- c) l'impédance de la charge : sa partie réelle R_c et sa réactance X, en déduire la capacité C.

II – MESURE DE PUISSANCE SUR CHARGE INDUCTIVE



1° Notations

P' et Q' puissances mesurées à l'aide du wattmètre

P_v puissance active consommée par le voltmètre à cause de sa résistance interne.

P_w puissance active consommée par le circuit tension du wattmètre à cause de sa résistance interne.

P et Q puissances réellement consommées par la charge.

2° Détermination de P et Q en fonction de P' et Q'

Exprimer Q' en fonction de Q en considérant que le voltmètre et le wattmètre sont purement résistifs.

Exprimer P' en fonction de P , P_v et P_w .

Les résistances internes du voltmètre et du circuit tension du wattmètre dépendent du calibre utilisé. Elles sont données en Ω/V (indication sur le cadran des appareils).

Relever les valeurs des résistances internes en Ω/V des deux appareils.

Soient U_{Vcal} le calibre utilisé sur le voltmètre et U_{Wcal} celui utilisé pour le wattmètre. Exprimer P' en fonction de P et des calibres utilisés.

3° Mesure de P

Régler le rhéostat à la valeur voulue à l'Ohmmètre. Régler l'alternostat afin d'avoir 220 V aux bornes de la charge R, L .

Mesurer U , I et P' en notant bien les calibres utilisés.

En déduire P la puissance active réellement consommée par la charge.

4° Exploitation de la mesure

Déduire de la mesure :

- d) le facteur de puissance
- e) la puissance réactive
- f) l'impédance de la charge : sa partie réelle R_c et sa réactance X , en déduire l'inductance L .

III – RELEVEMENT DU FACTEUR DE PUISSANCE

1° Rappels

Un condensateur parfait ne consomme pas de puissance active. En effet, son impédance est purement réactive : $\underline{Z}_c = -j / C\omega$, et $|\underline{Z}| = 1/C\omega$

En revanche il fournit de la puissance réactive $Q = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \sin(-\pi/2)$ au reste de l'installation.

La loi d'Ohm permet d'écrire $\underline{U} = \underline{Z}_c \underline{I}$!

2° Exercice

Un récepteur inductif alimenté sous 220 V consomme une puissance active de 90 W. L'intensité du courant qu'il absorbe est de 1,2 A.

Calculer le facteur de puissance et la puissance réactive consommée.

On place un condensateur en parallèle sur le récepteur afin d'augmenter le facteur de puissance. Soit $\cos \phi'$ le nouveau facteur de puissance et I' le nouveau courant absorbé.

Exprimer la puissance réactive Q_c mise en jeu par le condensateur seul en fonction de U , C et ω (attention au signe).

Compléter le tableau ci-dessous pour faire le bilan des puissances.

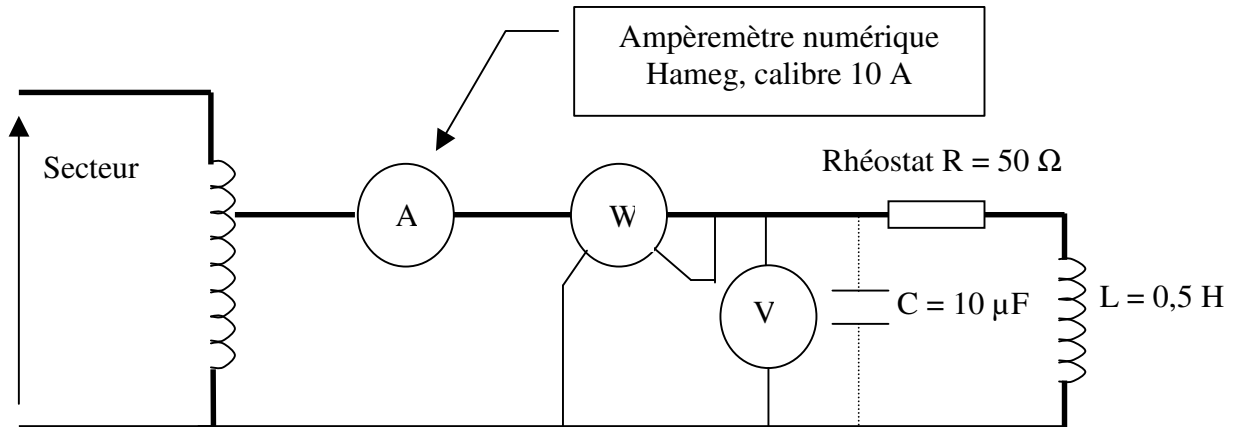
	Puissances réactives	Puissances actives
Charge R, L	$Q =$	$P = 90 \text{ W}$
C seul	$Q_c =$	$P_c =$
Charge R, L + C en //	$Q' = UI' \sin \phi' =$	$P' = UI' \cos \phi' =$

*Calculer I' sachant que $\cos \phi' = 0,7$
En déduire la valeur de C nécessaire*

3° Manipulation

**Ne pas modifier les valeurs de L et C proposées.
Les régler avant la mise sous tension**

En effet la fréquence propre $1 / 2\pi\sqrt{LC}$ ainsi obtenue pourrait devenir proche de 50 Hz provoquant ainsi l'apparition d'une surtension dangereuse pour le wattmètre



On ne prendra pas en compte les erreurs systématiques dues au montage.

a) Mesures sans le condensateur :

Mesurer I et P

En déduire $\cos\phi$ et Q

b) Mesures avec le condensateur :

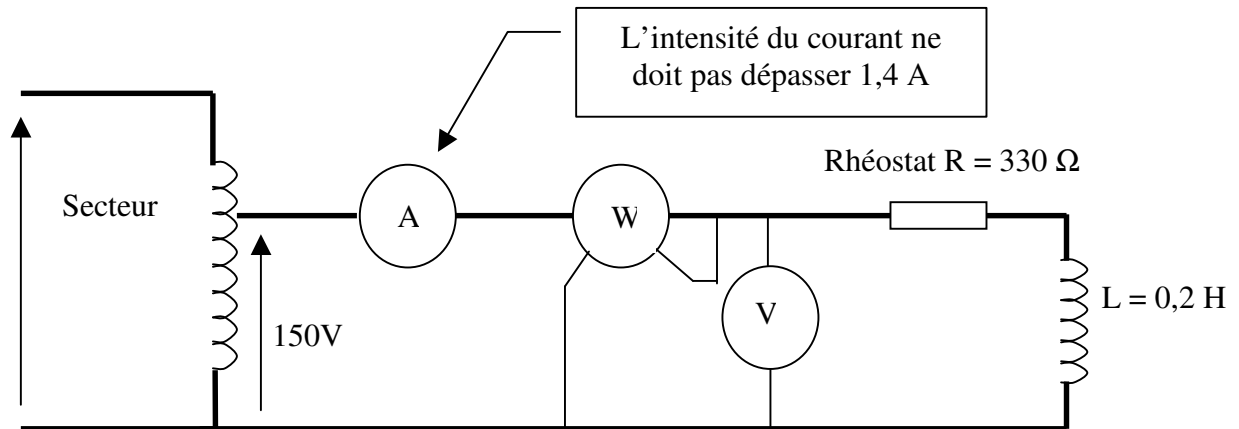
Le condensateur de $10 \mu\text{F}$ (boîte à décade) est placé en parallèle sur la charge inductive.

Mesurer I' et P'

En déduire $\cos\phi'$ et Q'

Comparer I' à I. Conclusion.

IV – CARACTERISTIQUE $I(\cos\phi)$ POUR P CONSTANTE



On ne prendra pas en compte les erreurs systématiques dues au montage.

1° Recommandations

L'alternostat est réglé de façon à délivrer 150 V
L'intensité du courant ne doit pas dépasser 1,4 A
La puissance active mesurée est maintenue constante à 62 W

2° Mesures

On augmente L de 0,2 à 0,5 H tout en diminuant R pour maintenir P constante à 62 W.

Mesurer I pour différentes valeurs de L. En déduire $\cos\phi$.

On diminue L de 0,5 à 0,3 H tout en continuant de diminuer R pour maintenir P constante à 62 W.

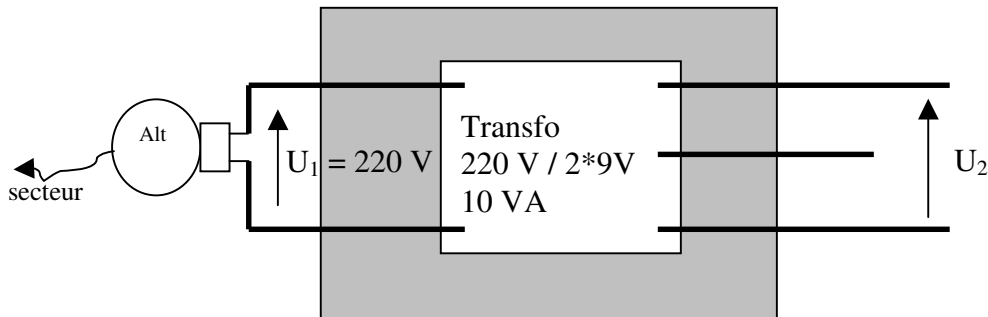
Mesurer I pour différentes valeurs de L. En déduire $\cos\phi$.

Tracer la courbe $I(\cos\phi)$ pour P constante de 62 W.

Conclusion.

TRANSFORMATEUR - REDRESSEMENT

I – ETUDE D'UN TRANSFORMATEUR DE FAIBLE PUISSANCE



1 % Rapport de transformation

Alimenter le primaire du transformateur sous 220 V.

Mesurer U_{2v} la valeur efficace de la tension obtenue à vide au secondaire.
(voltmètre numérique en AC).

En déduire le rapport de transformation m du transformateur.

2 % Courant absorbé à vide ($U_1 = 220$ V)

Insérer un ampèremètre en série avec le primaire du transformateur et mesurer la valeur efficace du courant absorbé I_{1v} à vide.

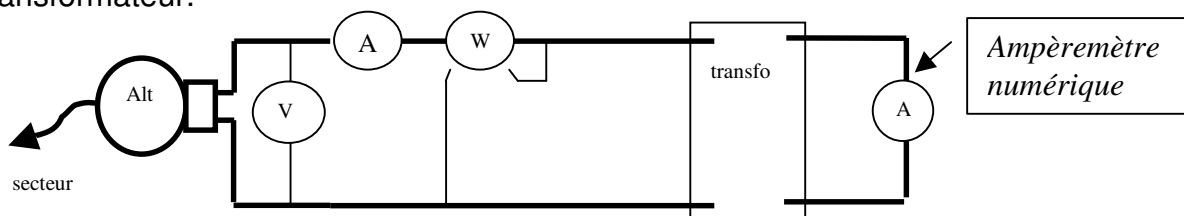
Sachant que $\varphi_{1v} = 70^\circ$, calculer la puissance active P_{1v} consommée par le transformateur à vide.

Que représente cette puissance ?

3 % Essai en court circuit sous tension réduite

Le primaire est alimenté sous tension réduite par l'intermédiaire de l'alternostat.

Brancher un ampèremètre numérique calibre 1 A au secondaire du transformateur.



Avant la mise sous tension, vérifier que l'alternostat est bien à zéro

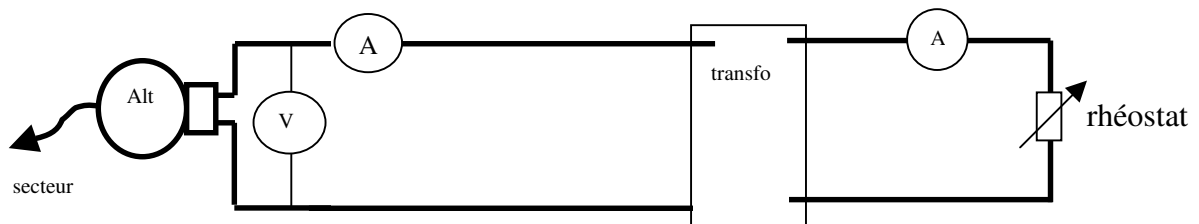
Augmenter progressivement la tension au primaire jusqu'à obtenir $I_{2cc} = 1$ A.
Mesurer I_{1cc} , U_{1cc} et P_{1cc} correspondants.

Replacer le transfo sous tension réduite en fonctionnement à vide et mesurer la puissance absorbée P_{1Vr} .

Déduire des mesures la résistance R_s et la réactance X_s du modèle équivalent du transformateur ramené au secondaire dans l'hypothèse de Kapp. On prendra en compte la puissance consommée à vide sous tension réduite : $P_{1CC} = R_s I_{2CC}^2 + P_{1Vr}$

Dessiner le schéma équivalent du transformateur ramené au secondaire.

3% Essai en charge nominale résistive



Avant la mise sous tension, vérifier que le rhéostat est à sa valeur maximum

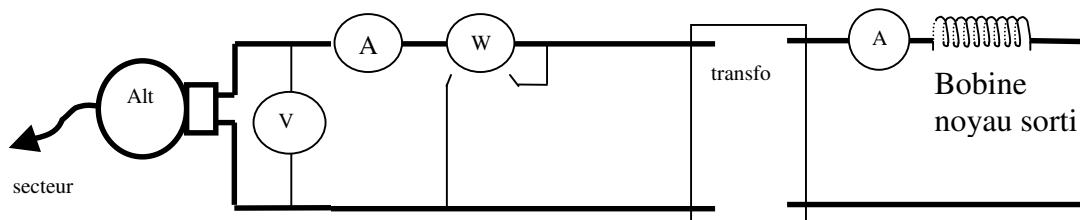
Diminuer progressivement la résistance du rhéostat jusqu'à l'obtention d'un courant I_2 de 1 A (valeur nominale).

Mesurer alors U_2 obtenu.

Vérifier que la chute de tension $\Delta U_2 = U_{2v} - U_2$ expérimentale correspond à celle que l'on peut calculer à partir du schéma équivalent du transformateur

Déterminer le rendement du transformateur en supposant la charge purement résistive : $\cos\phi_2 = 1$.

4% Essai en charge inductive



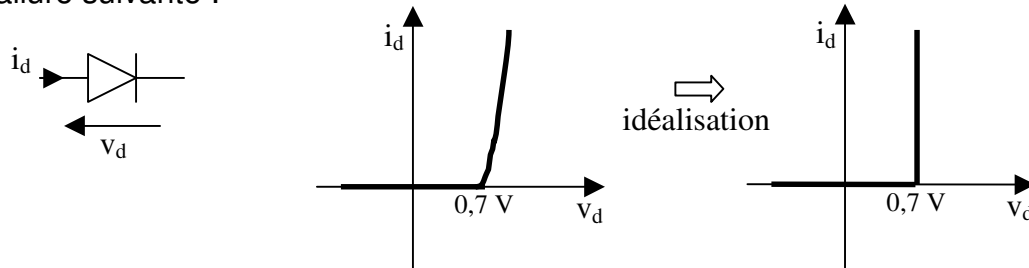
Mesurer U_2 obtenu.

Vérifier que la chute de tension $\Delta U_2 = U_{2v} - U_2$ expérimentale correspond à celle que l'on peut calculer à partir du schéma équivalent du transformateur

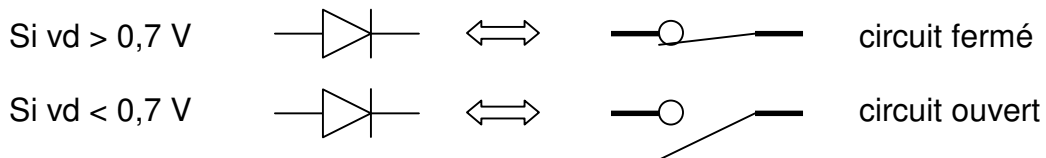
II – REDRESSEMENT SUR CHARGE RESISTIVE

1° Rappels

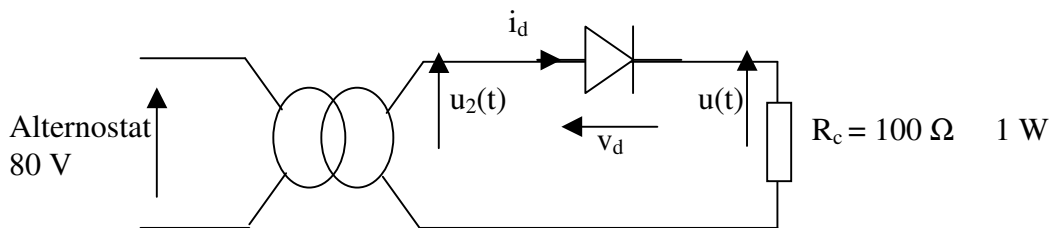
Une diode est un dipôle non linéaire dont la caractéristique courant-tension a l'allure suivante :



Cette idéalisation conduit à considérer que la diode se comporte de la manière suivante :



2° Redressement simple alternance.



a) Oscillogrammes

Relever les oscillogrammes de $u_2(t)$ et de $u(t)$ en concordance de temps.

Permuter la place de la diode et de R_c puis relever $u_d(t)$ en concordance de temps avec les deux autres chronogrammes

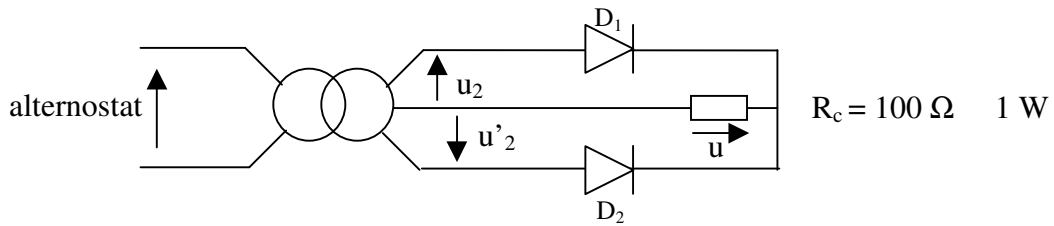
b) Interprétation

Préciser sur le graphique les phases de conduction et de blocage de la diode.

c) Valeur moyenne

Mesurer la valeur moyenne de la sinusoïde redressée, comparer à la valeur théorique $U_{\text{moy}} = U_{\text{max}} / \pi$.

2° Redressement double alternance.



a) Oscillogrammes

Relever les oscillogrammes de $u_2(t)$, $u'_2(t)$ et de $u(t)$ en concordance de temps.

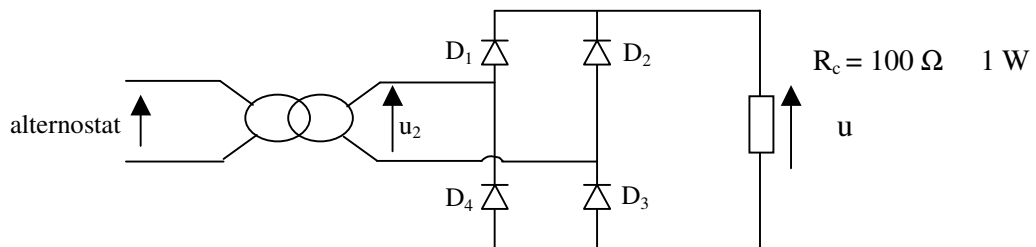
b) Interprétation

Préciser sur le graphique les phases de conduction et de blocage de chaque diode.

c) Valeur moyenne

Mesurer la valeur moyenne de la sinusoïde redressée, comparer à la valeur théorique $U_{\text{moy}} = 2U_{\text{max}} / \pi$.

3° Redressement double alternance avec pont de diodes.



a) Oscillogrammes

Relever les oscillogrammes de $u_2(t)$ et de $u(t)$ en concordance de temps (**attention, on ne peut pas les observer simultanément à l'oscilloscope**).

b) Interprétation

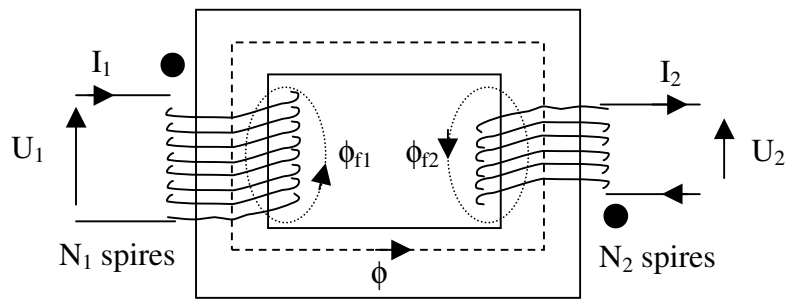
Préciser sur le graphique les phases de conduction et de blocage de chaque diode.

c) Valeur moyenne

Mesurer la valeur moyenne de la sinusoïde redressée, comparer à la valeur théorique $U_{\text{moy}} = 2U_{\text{max}} / \pi$.

ANNEXE : RAPPELS SUR LE TRANSFORMATEUR

Schéma de principe :



Bornes homologues : elles sont repérées par un point.

« Tout courant entrant par une borne homologe à une autre tend à produire un flux magnétique de même sens positif. »

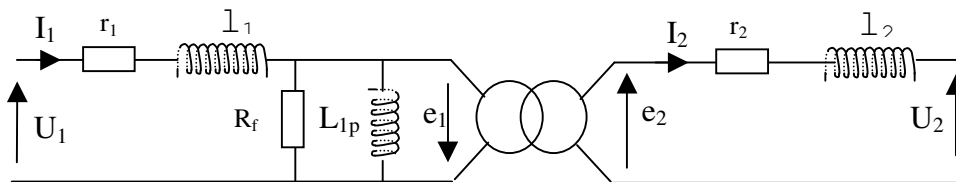
Inductances de fuites : $\underline{l}_1 = N_1 \phi_{f1} / I_1$ et $\underline{l}_2 = N_2 \phi_{f2} / I_2$

Inductance principale : $L_{1p} = N_1 \phi / I_1$

Inductance propre du primaire : $L_1 = \underline{l}_1 + L_{1p}$

Première modélisation :

Rapport de transformation : $m = E_2 / E_1 = N_2 / N_1 \approx U_{2v} / U_1$

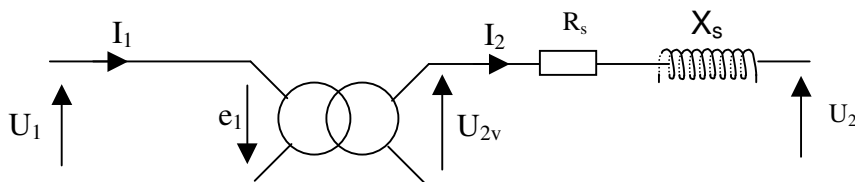


Puissance absorbée à vide :

$$\begin{aligned} P_{1v} &= U_1 I_{1v} \cos \phi_{1v} \\ &= r_1 I_{1v}^2 + R_f I_{1v}^2 \\ &\approx R_f I_{1v}^2 \text{ (pertes fer)} \end{aligned}$$

Hypothèse de Kapp :

$I_{1v} \ll I_1$. Le schéma équivalent ramené au secondaire devient :



On a alors :

$$\begin{aligned} m &= N_2 / N_1 \\ &\approx U_{2v} / U_1 = I_1 / I_2 \end{aligned}$$

Equation électrique : $\underline{U}_2 = \underline{U}_{2v} - R_s \underline{I}_2 - j X_s \underline{I}_2$

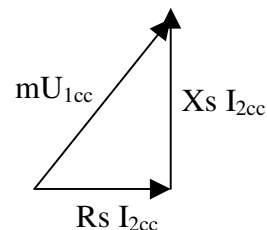
$$\text{Avec : } R_s = r_2 + m^2 r_1 \text{ et } X_s = (\underline{l}_2 + m^2 \underline{l}_1) \omega$$

Chute de tension en charge :

$$\Delta U_2 = U_{2v} - U_2 \approx R_s I_2 \cos \phi_2 + X_s I_2 \sin \phi_2$$

Détermination de R_s par essai en court circuit :

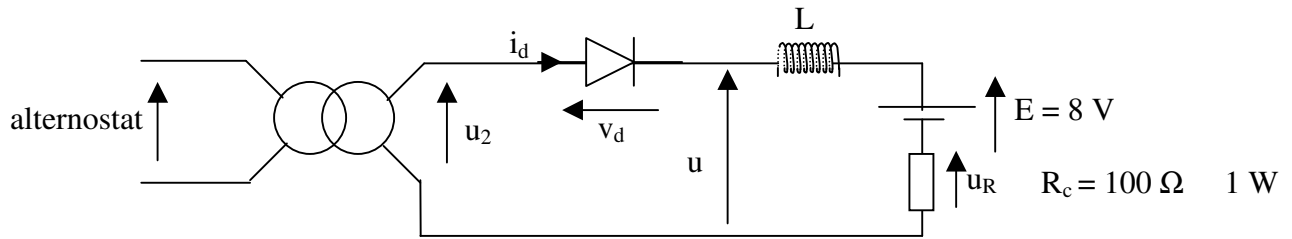
$$R_s = P_{1cc} / I_{2cc}^2 \quad X_s = \sqrt{[(m U_{1cc})^2 / I_{2cc}^2 - R_s^2]}$$



Rendement :

$$\eta = U_2 I_2 \cos \phi_2 / (U_2 I_2 \cos \phi_2 + \text{pertes fer} + R_s I_2^2)$$

II – REDRESSEMENT SUR CHARGE ACTIVE ET INDUCTIVE



1° Pour $L = 0,1 \text{ H}$

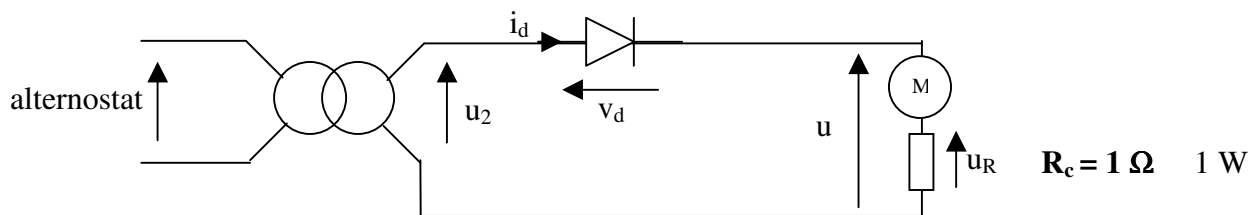
- Relever en concordance de temps $u_2(t)$, $u(t)$ et $u_R(t)$. Préciser les phases de conduction de la diode.
- Déterminer U_{moy} et $U_{R\text{moy}}$. En déduire I_{moy} .
- Mesurer U_{eff} et $U_{R\text{eff}}$. En déduire I_{eff} .

2° Pour $L = 1 \text{ H}$

- Relever en concordance de temps $u_2(t)$, $u(t)$ et $u_R(t)$. Préciser les phases de conduction de la diode.
- Déterminer U_{moy} et $U_{R\text{moy}}$. En déduire I_{moy} .
- Mesurer U_{eff} et $U_{R\text{eff}}$. En déduire I_{eff} .

3° Commenter et expliquer le rôle de la bobine.

4° Remplacer la charge R, L, E par un moteur à courant continu.



- Relever en concordance de temps $u_2(t)$, $u(t)$ et $u_R(t)$. Préciser les phases de conduction de la diode.
- Déterminer U_{moy} et $U_{R\text{moy}}$. En déduire I_{moy} .
- Mesurer U_{eff} et $U_{R\text{eff}}$. En déduire I_{eff} .