

Bilan de puissance et d'énergie aux bornes d'un circuit RL ou RC

I COMPÉTENCES MOBILISÉES

S'approprier (S'app)

- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation expérimentale
- énoncer une problématique d'approche expérimentale
- définir les objectifs correspondants

Analyser (An)

- formuler et échanger des hypothèses
- proposer une stratégie pour répondre à la problématique
- proposer un modèle
- choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental
- évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations

Réaliser (R)

- mettre en œuvre un protocole
- utiliser (avec la notice) le matériel de manière adaptée, en autonomie
- mettre en œuvre des règles de sécurité adéquates
- effectuer des représentations graphiques à partir de données expérimentales

Valider (V)

- exploiter des observations, des mesures
- modéliser

Communiquer à l'écrit (rédiger un compte rendu) (C)

Présenter les étapes de son travail de manière synthétique, organisée, cohérente et compréhensible

II BUT DE LA SEANCE (S'app)

On étudie dans ce T.P. différents montages avec charges résistive (R) ou inductive ($R \oplus L$) sur lesquels on réalise un bilan de puissance et d'énergie. Ce bilan sera réalisée de façon expérimentale en branchant différents appareils de mesures électriques.

III DÉFINITIONS

1 1. Puissance électrique

Principe général (rappel) :
$$p(t) = \frac{dE(t)}{dt}$$

La puissance est une grandeur instantanée. Elle peu correspondre à un flux d'énergie ou une variation de niveau d'énergie. L'énergie peut se mettre en réserve, pas la puissance.

À l'instant t, on mesure la tension instantanée $u(t)$ aux bornes d'un récepteur et l'intensité instantanée du courant $i(t)$ qui le traverse.

La puissance électrique consommée par ce récepteur est à chaque instant :

$$p(t) = u(t) \times i(t)$$

C'est la puissance instantanée, c'est à dire la puissance électrique absorbée à chaque instant par le récepteur.

2. Puissance instantanée en régime sinusoïdal

Si $u(t) = U_m \cos(\omega.t + \phi_u)$ et $i(t) = I_m \cos(\omega.t + \phi_i)$ la puissance instantanée est :

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \cdot \cos(\omega.t + \phi_u) \times I_m \cdot \cos(\omega.t + \phi_i)$$

On introduit dans cette expression les valeurs efficaces U et I en régime sinusoïdal :

$$U_m = U \times \sqrt{2} \quad \text{et} \quad I_m = I \times \sqrt{2} \quad \text{donc} \quad U_m \cdot I_m = U \cdot I \cdot 2 \quad 1$$

et on rappelle la relation trigonométrique :

$$\cos(a)\cos(b) = \frac{\cos(a+b) + \cos(a-b)}{2}$$

donc :

$$p(t) = U \cdot I [\cos(2\omega.t + \phi_u + \phi_i) + \cos(\phi_u - \phi_i)]$$

Remarque 1 :

$\phi = (\phi_u - \phi_i)$ est le déphasage de la tension par rapport au courant.

Si $\phi = \phi_u - \phi_i > 0$ rad alors la tension est en avance par rapport au courant (circuit inductif²).

Remarque 2 :

On observe que l'expression de p(t) comporte une partie variable, alternative³, donc de valeur moyenne nulle, et une partie constante dont la valeur dépend du déphasage.

$$p(t) = U \cdot I \cos(2\omega.t + \phi_u + \phi_i) + U \cdot I \cos(\phi) \quad (1)$$

3. Puissance moyenne

La puissance électrique moyenne consommée par un dipôle, soumis à un signal périodique quelconque, peut se calculer sur une seule période T, et s'exprime par :

$$P = \langle p(t) \rangle_T = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t') \cdot dt' \quad (2)$$

4. Puissance moyenne en régime sinusoïdal

En appliquant (2) à (1), on obtient :

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [U \cdot I \cos(2\omega.t' + \phi_u + \phi_i) + U \cdot I \cos(\phi)] \cdot dt'$$

$$P = \frac{1}{T} U \cdot I \int_{t_0}^{t_0+T} \cos(2\omega.t' + \phi_u + \phi_i) \cdot dt' + \frac{1}{T} U \cdot I \int_{t_0}^{t_0+T} \cos(\phi) \cdot dt'$$

1 Parfois on note $U = U_{\text{eff}}$, $I = I_{\text{eff}}$ et $U_m = \hat{U}$ ou $I_m = \hat{I}$. Il faut donc être vigilant quand à la notation et son sens.

2 Par exemple une bobine ou ce qui contient une bobine, tel un moteur asynchrone, un transformateur, etc...

3 Grandeur alternative = périodique et de valeur moyenne nulle.

Par la définition de la période :

$$\int_{t_0}^{t_0+T} \cos(2\omega \cdot t' + \phi_u + \phi_i) \cdot dt' = [\sin(2\omega(t_0+T) + \phi_u + \phi_i) - \sin(2\omega t_0 + \phi_u + \phi_i)] = 0$$

et on a :

$$\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \cos(\phi) \cdot dt' = \cos(\phi)$$

On trouve finalement que en régime sinusoïdal la valeur moyenne de la puissance est :

$$P = U \cdot I \cos(\phi) = \frac{U_m \cdot I_m \cos(\phi)}{2}$$

Cette puissance est également appelée **puissance active**.

$P_a = U \cdot I$ ⁴ s'appelle puissance apparente et $\cos(\phi)$ le facteur de puissance.

5 5. Puissance complexe

On définit la puissance complexe :

$$p = \frac{1}{2} u(t) \cdot i^*(t)$$

Ici u et i sont complexes. $i^*(t)$ est le conjugué de $i(t)$.

La décomposition en parties réelle et imaginaire s'écrit :

$$p = P + j \cdot P_Q$$
 ⁵⁶

$P_Q = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \sin(\phi)$ est la puissance réactive⁷ (positive ou négative).

Dans le système SI [NF X 02-205], P s'exprime en watts (W), Pa (ou S) s'exprime en voltampères (VA) et Pq (ou Q) en vars (var).

Tableau récapitulatif pour le régime sinusoïdal.

$v(t) = V_m \cos(\omega t)$ <i>valeur instantanée</i>	$i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi)$ <i>valeur instantanée</i>	$p(t) = v(t) \cdot i(t) =$ $VI[\cos(\phi) + \cos(2\omega t + \phi)]$ <i>puissance instantanée</i>	$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ <i>Valeurs efficaces</i>
$P = VI \cos(\phi)$ <i>puissance active</i> <i>(ou moyenne) (W)</i>	$Q = P_q = VI \sin(\phi)$ <i>puissance réactive (var)</i>	$S = P_a = VI$ <i>puissance apparente (VA)</i>	$k = \frac{P}{P_a} = \cos(\phi)$ <i>facteur de puissance</i> ⁸

⁴ La puissance active est souvent notée $S = U \cdot I$ ou $S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$

⁵ Autre écriture fréquente : $p = P + j \cdot Q$

⁶ Ici j est la racine carrée de -1 écrit i en mathématiques. Donc $j^2 = -1$.

⁷ La puissance réactive peut être vue comme un simple outil pour rendre les calculs commodes. Elle est souvent écrite Q.

⁸ le facteur de puissance k est toujours égale à P/P_a , mais si le courant est alternatif et non sinusoïdal, cas industriel fréquent, $\cos(\phi)$ n'a plus de sens

6. Appareils de mesure :

Tous les appareils de mesure de puissance électrique doivent accéder simultanément à la tension et au courant. Si on veut qu'ils mesurent aussi l'énergie, il leur faut une base de temps.

N.B : l'expérience montre tant dans l'industrie que dans la gestion des bâtiments, que la pose de compteurs d'énergie par section, par atelier, par pièce, permet de réaliser une meilleure gestion de cette énergie. Leur pose est couramment amortie en quelques mois d'une saison de chauffe.

Les wattmètres électrodynamiques permettent de mesurer la puissance moyenne.

Les wattmètres électroniques mesurent les puissances moyenne, active et/ou réactive, le déphasage selon les performances de l'appareil.

Dans une installation industrielle, on doit avoir φ tel que $\tan(\varphi) < 0,4$; soit $\cos(\varphi) > 0,93$. Sinon cela pénalise le distributeur d'énergie électrique.

L'oscilloscope numérique permet de visualiser la puissance instantanée.

Lorsque cette puissance moyenne ou instantanée est intégrée par rapport au temps, sur une durée t , on obtient un compteur d'énergie ou joulemètre permettant de déterminer : $W = P.t$

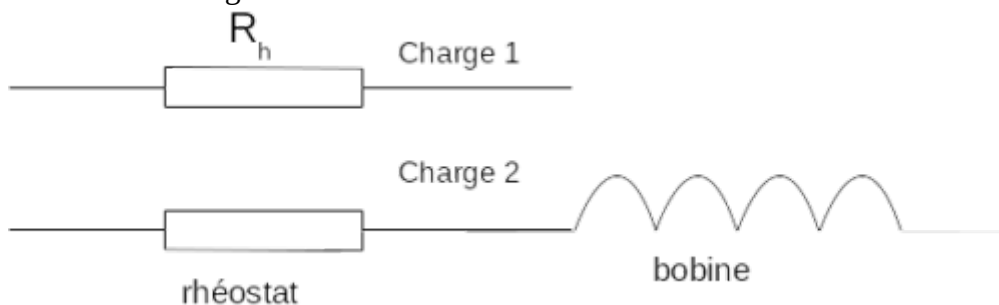
IV MESURE AVEC LE JOULEMÈTRE

1 Matériel.

On utilise le joulemètre pédagogique « Initio ».

Pour le connecter, il faut tout d'abord réaliser le circuit du courant, qui est aussi le circuit principal. Ensuite, on connecte la mesure de la tension

On utilise un résistor (rhéostat 10Ω en résistance maximale fixe), puis le rhéostat en série avec une bobine sans noyaux ferromagnétique comme charge. Vous mettez en évidence les différences de mesures entre ces deux charges.



Préalablement, vous mesurerez et noterez leurs résistances respectives avec un multimètre de table MX 547.

Pendant toute la séance de travaux pratiques, le **rhéostat** sera utilisé en résistance fixe, à sa valeur maximale, donc **branché uniquement par ses deux bornes noires**.

2 Mesures de puissance

Mesurer pour chacune des deux charges successivement :

- La tension efficace $U(V)$
- L'intensité efficace du courant $I(A)$
- La puissance moyenne ou puissance active $P(W)$
- Par le calcul en déduire :

- La puissance apparente $P_a = S = U.I$ (VA)
- Le facteur de puissance $k = P/S$
- Le déphasage $\varphi = \arccos(k)$, puisque en sinusoïdal $k = \cos(\varphi)$
- La puissance réactive $P_Q = Q = U.I.\sin(\varphi)$ (var). Vérifier que $S^2 = P^2 + Q^2$ ou $P_a^2 = P^2 + P_Q^2$

Les calculs peuvent être fait et présentés dans une feuille de calcul d'un tableur, avec un tableau pour la charge résistive et un tableau pour la charge inductive.

3 Mesure d'énergie

Puis on utilisera le chronomètre pour mesurer un temps et mesurer simultanément une énergie électrique consommée.

Peut on vérifier la formule enseignée au collège $E = P.t$?

$E(J)$, $P(W)$, $t(s)$.

N.B. : en fait cette formule n'est valable que si P est constante. Maintenant que vous êtes des grandes filles et des grands garçon, vous savez que en général :

$$p(t) = \frac{dE(t)}{dt} \quad \text{et} \quad E = \int_{t_1}^{t_2} p(t') . dt'$$

V MESURE AVEC UN OSCILLOSCOPE

1 Principe de la mesure

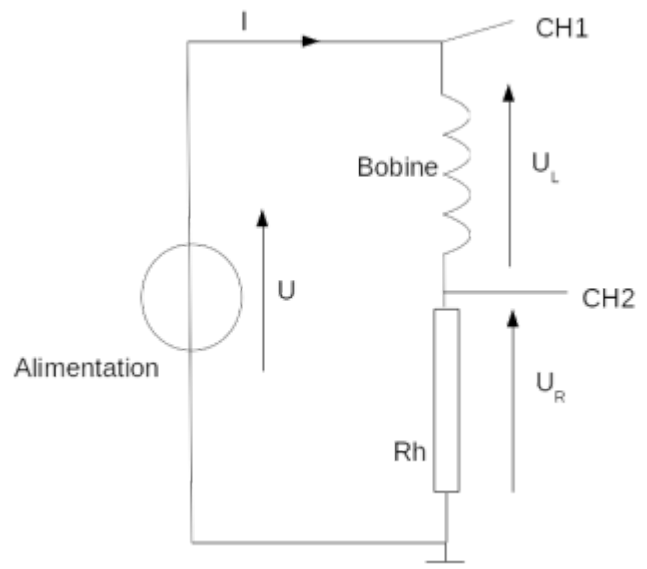
On a une charge composée d'un rhéostat en série avec une bobine, sans noyaux⁹.

L'idée consiste à réaliser le montage ci-contre et de procéder à l'acquisition des tensions

$u_R(t) = R_h.i(t)$ et $u(t)$ puis de traiter sous tableur les données pour en déterminer le bilan de puissance dans le montage.

2 Montage.

L'alimentation fourni une tension sinusoïdale. La résistance est le rhéostat de valeur nominale 10Ω ¹⁰ noté R_h . Mesurez, notez et utilisez les valeurs précise de R_h , de la résistance interne de la bobine r , et de son inductance L .



3 Mesure.

1. Brancher les entrées CH1 et CH2 de l'oscilloscope respectivement sur l'alimentation configuré et sur la résistance R_h . **Attention au branchement de la masse !**
2. Visualiser $u(t)$ et $u_R(t)$ à l'oscilloscope. On rappelle que $u_R(t) = R_h.i(t)$. Par conséquent, la tension $u_R(t)$ est l'image du courant circulant dans le montage.
3. Connecter l'oscilloscope numérique à l'ordinateur. Démarrer Openchoice et exporter les

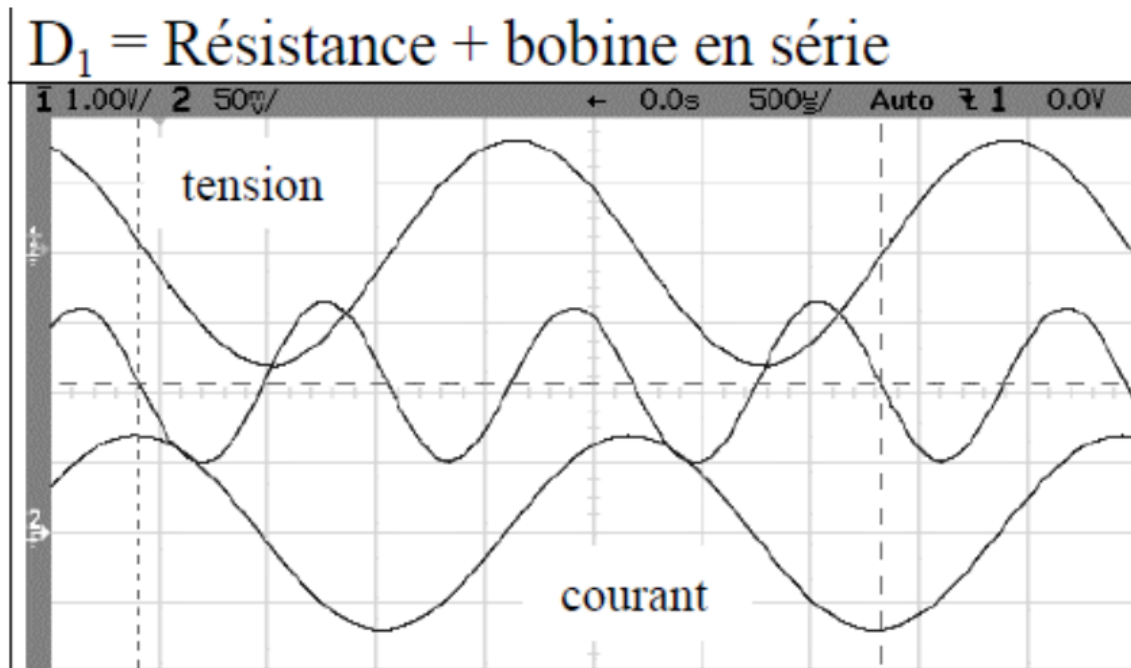
⁹ Théoriquement, on pourrait garder le noyaux de la bobine, mais alors l'inductance L , et donc le module de son impédance $Z_L = L . \omega$ serait très élevée, le courant et la puissance très faibles.

¹⁰ Encore une fois, on utilisera ce composant en résistance fixe, à sa valeur maximale, branché entre les bornes noires.

données.

4. Exporter les données (fichier .csv) sous régressi.
5. Calculer le produit $p(t) = u(t) \cdot i(t)$. Il s'agit de la puissance instantanée.
6. La fonction « valeur moyenne » de ce signal permet d'atteindre la puissance moyenne ou puissance active. La fonction « RMS » permet d'atteindre la puissance apparente :
7. $RMS(u_R) \cdot RMS(u) = R U_{eff} I_{eff}$.
8. Calculez ces deux puissances.
9. Mesurer le déphasage φ entre la tension $u(t)$ et le courant $i(t)$ à l'oscilloscope. En déduire le facteur de puissance ou $\cos(\varphi)$ du montage.

Exemple d'acquisition :

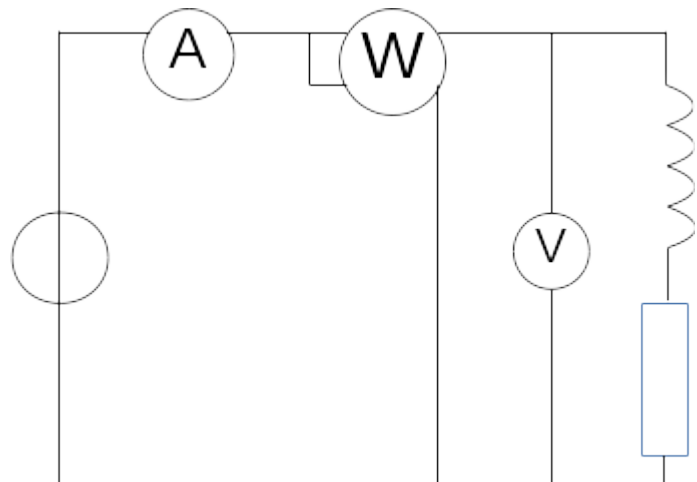


VI MESURE AVEC UN WATTMETRE ELECTRODYNAMIQUE

1 Précaution.

Ce type d'appareil doit toujours être accompagné par un voltmètre et un ampèremètre par sécurité, mais aussi pour avoir accès aux autres grandeurs. Le wattmètre lui même doit pouvoir accéder simultanément aux valeurs de tension et de courant.

On peut relever U, I, P et en déduire le reste par calcul.



VII MATERIEL

- Fils de connexion
- Wattmètre numérique ou joulemètre
- Wattmètre électrodynamique
- 1 GBF numérique
- Alimentation 6V/12V
- Oscilloscope numérique pour acquisition+ ordinateur
- Ordinateur avec openchoice et regressi
- Résistor 10 ohms
- Bobine de 0,1 H à 1H
- 2 multimètres