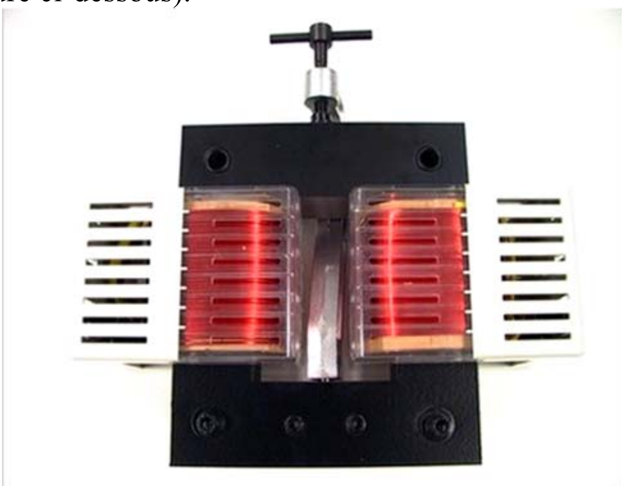
ETUDE DU TRANSFORMATEUR

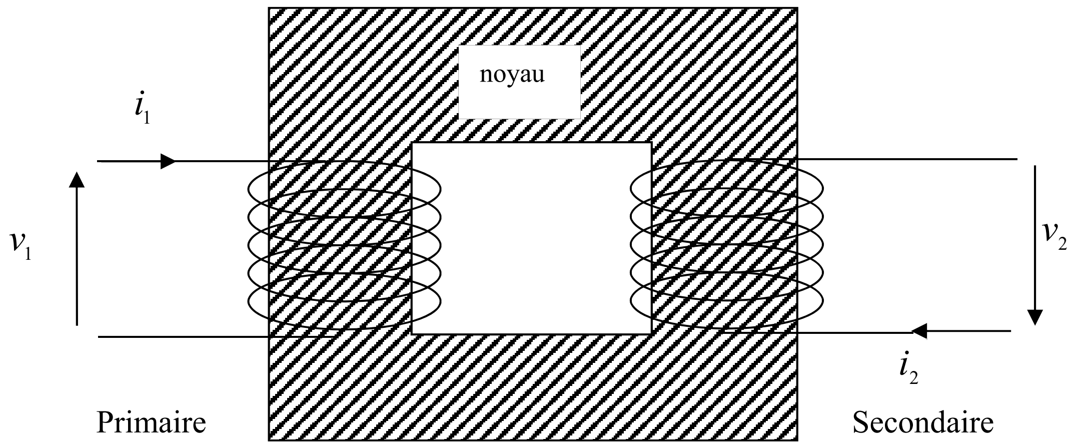
I/ Matériel utilisé

- Un transformateur avec le rapport de la transformation variable 1:1, 1:2, 2:1,
- Deux multimètres avec la fréquence d'opération jusqu'à 1 kHz,
- Un oscilloscope numérique,
- Une résistance fixée, 100 Ω.
- Une résistance variable.

II/ Principe

Le transformateur est un appareil destiné à modifier l'amplitude de la tension variable délivrée par un générateur. Par exemple, le transport du courant est effectué à haute tension, pour des raisons de moindre coût.
Il est constitué de deux circuits électriquement isolés, bobiné sur un même noyau, de telle sorte que le flux d'induction magnétique de l'un pénètre l'autre. Le noyau de fer doux permet de canaliser les lignes de champ (voir figure ci-dessous).





Le primaire est un récepteur d'énergie, le secondaire se comporte comme un générateur.

On définit :

- v_1 : tension aux bornes du primaire
- v_2 : tension aux bornes du secondaire

- i_1 : courant dans le circuit primaire
- i_2 : courant dans le circuit secondaire
- R_1 : résistance de l'enroulement primaire
- R_2 : résistance de l'enroulement secondaire
- ϕ_1 : flux d'induction magnétique à travers une spire du primaire
- ϕ_2 : flux d'induction magnétique à travers une spire du secondaire
- n_1 : nombre de spires de l'enroulement du primaire
- n_2 : nombre de spires de l'enroulement du secondaire

Il est donc possible d'écrire, d'après la loi d'Ohm généralisée, les relations suivantes :

$$v_1 = n_1 \frac{d\phi_1}{dt} + R_1 i_1 \qquad \text{et} \qquad v_2 = n_2 \frac{d\phi_2}{dt} + R_2 i_2$$

Dans le cas idéal du ***transformateur parfait***, les pertes magnétiques entre les deux circuits sont nulles, et les résistances ohmiques des enroulements négligeables : $\phi_1 = \phi_2 = \phi$ et $R_1 \cong R_2 \cong 0$.

Les relations deviennent alors : $v_1 = n_1 \dfrac{d\phi}{dt}$ et $v_2 = n_2 \dfrac{d\phi}{dt}$.

On en déduit le rapport des tensions efficaces :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1}, \tag{1}$$

aussi appelé **rapport de transformation**.

Appliquons le théorème d'Ampère le long d'une ligne de champ, afin de déterminer la circulation du champ magnétique :

$$\oint \overrightarrow{H}.\overrightarrow{dl} = n_1 i_1 + n_2 i_2 = \frac{1}{\mu} \oint \overrightarrow{B}.\overrightarrow{dl}$$

où μ est la perméabilité magnétique du milieu (ici du fer doux).

$\vec{B}$ et $\overrightarrow{dl}$ sont colinéaires. De plus, le flux ϕ de B est le même à travers toute section S de circuit, puisque celle-ci est constante, et vaut B.S. On obtient donc la relation suivante :

$$\phi . \oint_{contour} \frac{dl}{S\mu} = n_1 i_1 + n_2 i_2 .$$

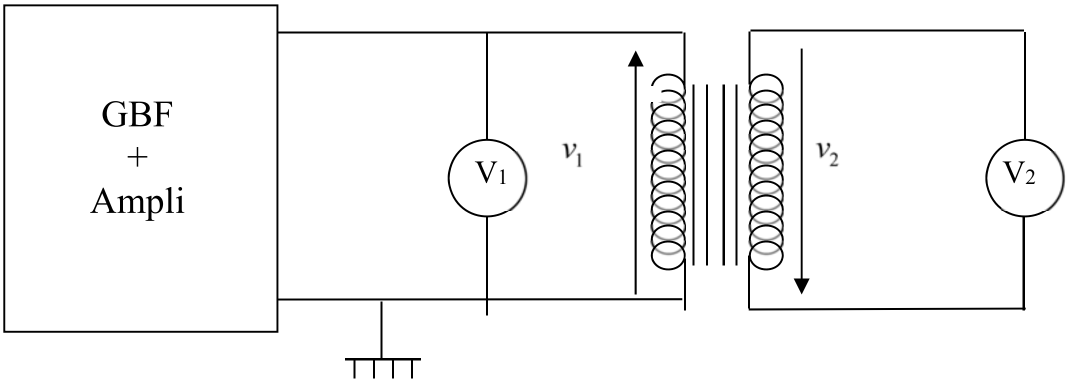
Le coefficient $R_m = \oint_{contour} \dfrac{dl}{S\mu}$ appelé ***réluctance*** caractérise le circuit magnétique.

Si le transformateur est parfait, alors la perméabilité μ est très grande, et donc la réluctance est négligeable. On obtient alors la relation : $n_1 i_1 + n_2 i_2 = 0$

On en déduit le rapport des intensités efficaces : $\dfrac{I_2}{I_1} = \dfrac{n_1}{n_2}$.

III/ Étude du transformateur à vide

Dans cette partie, nous étudions comment la tension sur les bornes du transformateur dépend du rapport de transformation et de la fréquence de courant.



1. Brancher le voltmètre ainsi que l'oscilloscope à la GBF et vérifier par les mesures la relation entre les valeurs de tension efficace et crête à crête (voir Annexe « Oscilloscope et applications »). Le multimètre peut être utilisé jusqu'à une certaine fréquence f_{cr}, puis les mesures ne sont pas fiables. Proposer un méthode et faire les manipulations afin que estimer f_{cr}.
2. V_1 et V_2 peuvent être mesure soit par l'oscilloscope (tension crête à crête) soit par le voltmètre (tension efficace). Régler la fréquence à $f \sim 50$ Hz. Fixer le rapport de transformation $n_2/n_1 = 2$. Faire varier la tension V_1 (une dizaine de mesures) en vérifiant à l'oscilloscope que l'alimentation ne sature pas. Tracer la courbe $V_2 = f(V_1)$. Que peut-on en conclure ?
3. Changer le rapport de transformation $n_2/n_1 = 1$, puis $n_2/n_1 = 1/2$. Que peut-on dire de V_2/V_1 ? D'où vient l'imprécision par rapport au (1)?
4. Pour un rapport n_2/n_1 fixé, mesurer le rapport V_2/V_1 pour différentes fréquences (4 ou 5 mesures entre 50 et 1000 Hz). Conclusion ?

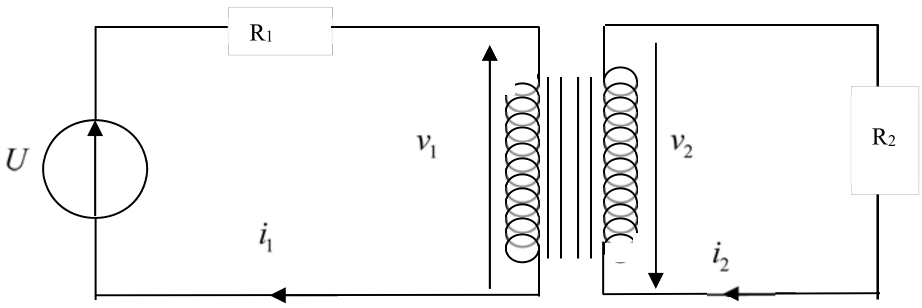
IV/ Étude du transformateur en charge

REMARQUE : FAITES VERIFIER VOTRE MONTAGE AVANT DE METTRE EN MARCHE LES APPAREILS (RISQUE DE COURT-CIRCUIT).

Nous considérerons seulement le cas des circuits primaires et secondaires ne comportant que des résistances ohmiques.

A°- Adaptation d'impédance.

L'**adaptation d'impédances** est une technique en électricité permettant d'optimiser (maximiser) le transfert d'une puissance électrique entre un émetteur (source) et un récepteur électrique (charge). Pour réaliser les expériences, nous utiliserons le circuit représenté ci-dessous :



Pour une valeur fixée U de la tension alternative d'alimentation du circuit primaire, déterminez la valeur de la résistance de charge R_2 du circuit secondaire afin que la puissance débitée dans le secondaire soit maximale. Cette détermination sera réalisée par deux voies.

Une voie théorique en rappelant que la puissance débitée par le secondaire s'écrit : $P_2 = R_2 I_2^2$, et en appliquant la loi d'ohm dans les deux circuits primaire et secondaire :

- dans le primaire : $U = V_1 + R_1 I_1 \Rightarrow V_1 = U - R_1 I_1$.
- et dans le secondaire : $V_2 = R_2 I_2$.

De plus, si le transformateur est parfait, on a : $\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{I_1}{I_2}$. On en déduit l'expression de U :

$U = I_2 \left(\frac{n_2}{n_1} R_1 + \frac{n_1}{n_2} R_2 \right)$, puis finalement l'expression de la puissance débitée dans le secondaire

$$P_2 = R_2 I_2^2 = \frac{R_2 U^2}{\left(\frac{n_2}{n_1} R_1 + \frac{n_1}{n_2} R_2 \right)^2}.$$

5. Vérifier théoriquement que cette puissance est maximale pour une résistance de charge R_2 soit $R_2 = R_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$. (n.b. La condition nécessaire d'extremum c'est que $\frac{dP_2}{dR_2} = 0$, voir l'Annexe "Extremum local")

6. Déterminer graphiquement la valeur optimale de R_2 par ***une voie expérimentale*** en traçant la courbe $P_2=f(R_2)$. Pour différentes valeurs (judicieusement choisies) de R_2, mesurer la puissance P_2 débitée au secondaire. Tracer $P_2 = f(R_2)$. Evaluer et tracer les incertitudes ΔP. Vérifier que la valeur théorique et la valeur expérimentale s'accordent.

Attention! Il ne faut pas dépasser le valeur maximale de courant indiqué sur la boîte des résistances!

<u>**Conditions expérimentales**</u> : utilisez un rapport de transformation $n2 / n1 = 2$, une tension d'alimentation du primaire de fréquence 50Hz et d'amplitude maintenue constante, une résistance $R_1 = 100\Omega$. Vous vérifierez au préalable à l'aide de l'oscilloscope que l'alimentation ne sature pas (le signal à la sortie de l'amplificateur doit être bien sinusoïdal), et prendrez garde à toujours rester en dessous du seuil de saturation.

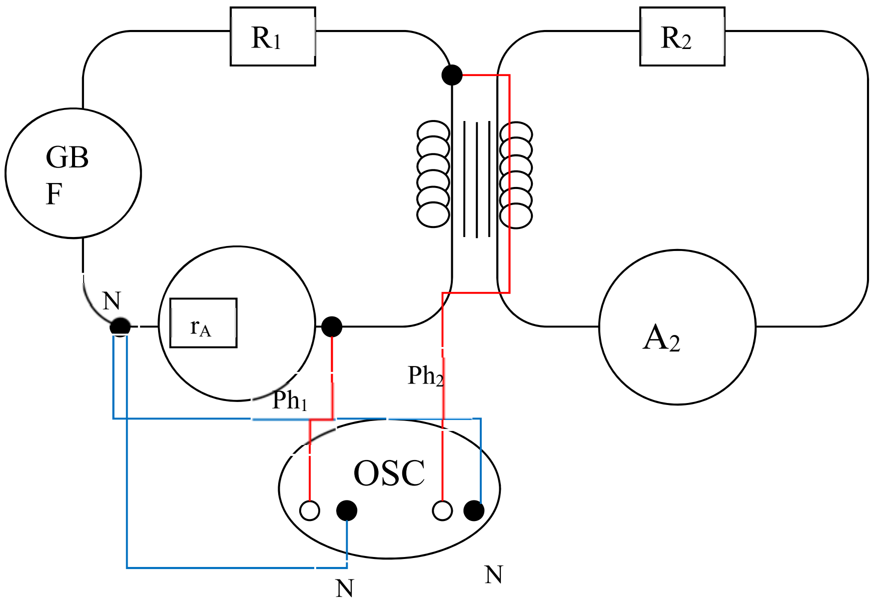
***B°- Rendement du transformateur*.**
Le but de cette partie est de déterminer le rendement du transformateur.

7. Fixer R_2 pour avoir la puissance P_2 maximale. Calculer dans ce cas le rendement du transformateur :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

P_1 est la puissance fournie au primaire.
8. Estimer aussi l'incertitude $\Delta\eta$.

Attention : P_1 n'est pas la puissance fournie par l'alimentation; c'est le produit $V_1 I_1 \cos\varphi$, où V_1 est la valeur efficace de la tension aux bornes de l'enroulement du primaire, I_1 la valeur efficace de l'intensité du courant dans le circuit primaire, et φ le déphasage entre V_1 et I_1 (voir Annexe « Oscilloscope et applications »). Afin de déterminer P_1, il suffit donc de mesurer ces trois derniers paramètres. V_1 et I_1 peuvent se mesurer à l'aide d'un multimètre. Proposez une méthode mettant en œuvre un montage électrique permettant de déterminer le déphasage φ. Après avoir fait vérifier ce montage, déterminez la valeur du rendement.
N.B. Nous proposons le montage ci-dessous. Expliquer pourquoi ce montage peut être utilisé pour les mesures de déphasage.



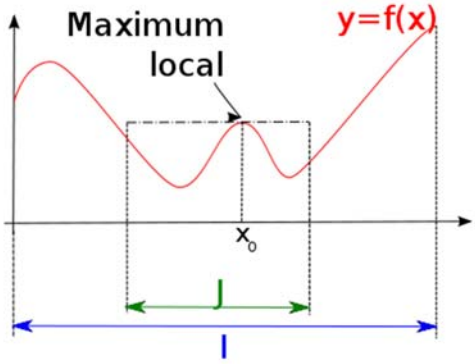
Vous pourrez constater que le transformateur n'est pas parfait, puisque son rendement est plus faible que 1.

9. Dressez un bilan qualitatif des pertes d'énergie dans le transformateur, et évaluez la part de ces pertes dues à l'effet Joule dans les enroulements.

V/ Annexe. Extremum local

Soit f une fonction définie sur un intervalle I et x_0 un réel de I.

- $f(x_0)$ est un maximum local de f signifie que l'on peut trouver un intervalle ouvert J contenant x_0 tel que pour tout $x \in J \cap I: f(x) \leq f(x_0)$.



Voilà une définition similaire pour un minimum local :

- $f(x_0)$ est un minimum local de f signifie que l'on peut trouver un intervalle ouvert J contenant x0 tel que pour tout $x \in J \cap I: f(x) \leq f(x_0)$.

- on rassemble maximum et minimum sous le qualificatif extremum.

Théorème 1.
Soient f une fonction dérivable sur un intervalle I et x_0 un réel intérieur à I. Si $f(x_0)$ est un extremum local de f, alors $f'(x_0) = 0$.

Attention! La réciproque de ce théorème est fausse, voir l'exemple de la fonction cube!

Si la fonction *f* atteint un extremum local en un point x_0 où elle est différentiable, alors toutes ses dérivées partielles s'annulent en x_0.

Pour cette raison, l'étude des extrema passe souvent par la recherche des points d'annulation de la dérivée, appelés points critiques de *f*. Un point critique n'est pas nécessairement un point d'extremum.

Théorème 2.
Soient f une fonction dérivable sur un intervalle I et x_0 un réel intérieur à I. Si la dérivé *f'* s'annule en x_0 en changeant de signe, alors $f(x_0)$ est un extremum local de *f*.

Exemple
Soit la fonction polynomiale $f(x) = 2x^3 - 3x^3 - 12x + 10$. Utilisons le test de la dérivée première pour obtenir les extremums de *f*.

Calcul de la dérivée et recherche des zéros : $f'(x) = 6x^2 - 6x - 12 = 6(x-2)(x+1)$ ⇔ $x = -1$ ou $x = 2$. Donc, la tangente est horizontale en $x = 2$ ou en $x = -1$.

La fonction dérivée est ici un polynôme du second degré. Son signe est donc caractérisé par ses racines et son coefficient dominant (ici : 6, positif). Ainsi, la dérivée est négative entre les zéros et positive ailleurs.

Tableau de valeurs :

x	-∞		-1		2		+∞
***f'*(*x*)**		+	0	-	0	+	
***f*(*x*)**	-∞	↗	17	↘	-10	↗	+∞

Donc, comme 17 se trouve dans un « pic » de la fonction, c'est un maximum local. Et comme -10 se trouve dans un « creux » de la fonction, c'est un minimum local.