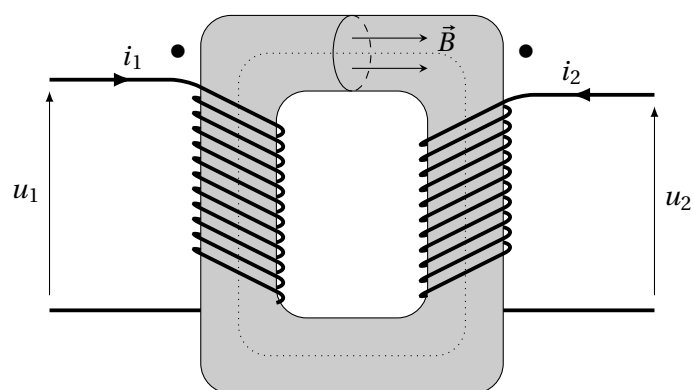


TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE - CHIMIE

PSI - PSI*




Seconde période



Lycée Kléber

Nom, prénom, classe :

Sommaire

TP 14	Analyse d'un filtre	3
TP 15	Ferromagnétisme	5
TP 16	Le transformateur	9
TP 17	 Mise en œuvre d'une pile	14
TP 18	 Courbes Intensité-potentiel	17
TP 19	La machine à courant continu	20
TP 20	Le hacheur	24
TP 21	 Corrosion	27
TP 22	Redressement double alternance	28
TP 23	Le câble coaxial	31



TP de chimie



La compétence est attendue dans le compte rendu.



La compétence doit être mise en œuvre pendant la séance.



La compétence fait partie du cours.

ANALYSE D'UN FILTRE

Il s'agit de déterminer les caractéristiques d'un filtre inconnu. Celles-ci seront établies avec le maximum de précision à partir de la réponse harmonique. L'observation de la réponse indicielle permettra de confirmer l'étude fréquentielle (ou harmonique).

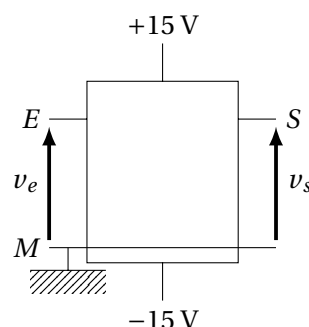


Analyser Que sont la réponse indicielle et la réponse fréquentielle d'un filtre? Comment déterminer rapidement le caractère linéaire d'un filtre?

I. Le filtre

Il se présente sous la forme d'un quadripôle, une des bornes d'entrée et une des bornes de sortie étant reliées à la masse M .

⚠ Comme il s'agit d'un filtre actif, il importe, avant toute opération, d'alimenter le circuit : alimentation continue (+15 V, -15 V), sans oublier de relier la référence des potentiels (0 V) à la masse du montage!



II. Réponse harmonique

1. Linéarité

La tension appliquée à l'entrée du filtre est une tension sinusoïdale (sans composante continue) fournie par un GBF. Le filtre n'est pas chargé. La tension d'entrée et la tension de sortie sont observées à l'oscilloscope.



Analyser En faisant varier la fréquence dans une très large gamme, s'assurer de la linéarité du filtre en toute circonstance.



Valider Préciser la méthode utilisée.



Réaliser Ajuster l'amplitude de la tension d'entrée à une valeur assez élevée, le filtre devant cependant rester linéaire dans tout le domaine de fréquence étudié. Préciser cette valeur et la garder pour toute la suite de l'étude.

2. Première Analyse



Réaliser L'amplitude de la tension d'entrée étant fixée, augmenter progressivement sa fréquence à partir d'une valeur faible et observer l'évolution de l'amplitude de la tension de sortie.



Valider Noter vos observations et conclure quant à la nature du filtre.

3. Caractéristiques du filtre

a. Mesures



Réaliser Pour une vingtaine de fréquences bien choisies, mesurer :
 – la tension efficace d'entrée; – la tension efficace de sortie; (les mesures peuvent être effectuées directement à l'oscilloscope ou avec des voltmètres numériques)
 – le déphasage (exprimé en $^\circ$) de la tension v_s par rapport à la tension v_e .

Rappel de la méthode pour mesurer le déphasage φ : centrer avec précision chaque courbe sur l'axe horizontal; déterminer le signe de φ en repérant la courbe qui est en avance sur l'autre (attention, celle qui est en avance apparaît « derrière » l'autre) et mesurer $|\varphi|$ à l'oscilloscope dans l'intervalle $[0, \pi]$. Il est aussi possible de mesurer le décalage temporel Δt entre les deux tensions (intervalle de temps séparant deux points analogues, par exemple intersection de chaque courbe, dans sa partie ascendante, avec l'axe horizontal) et d'en déduire $|\varphi| = 360 \frac{\Delta t}{T}$.



Valider Consigner les résultats dans un tableau :

fréquence f	tension efficace $v_{e\text{eff}}$	tension efficace $v_{s\text{eff}}$	Gain G	Gain en dB G_{dB}	φ
...

b. Diagramme de Bode



Réaliser Sur un tableur, construire le diagramme de Bode en gain et en phase.



Valider Tracer les asymptotes et déterminer leurs pentes, puis conclure quant à l'ordre du filtre.

c. Résonance



Valider Déterminer, à partir du diagramme de Bode, la fréquence de résonance f_r et le gain $G_{dB\text{max}}$ correspondant.

Déterminer les valeurs de f_r et $G_{dB\text{max}}$ directement à l'oscilloscope et comparer.

Déterminer les fréquences de coupure f_1 et f_2 à -3 dB.



Analyser Détailler la méthode utilisée (à partir de l'oscilloscope, à partir du diagramme, ou les deux...).

Calculer $\frac{f_r}{|f_2 - f_1|}$. De quoi s'agit-il?

d. Conclusion



Valider Écrire la fonction de transfert du filtre étudié sous forme canonique et préciser les valeurs numériques des différentes constantes introduites.

III. Réponse indicielle

La tension fournie par le GBF est maintenant un créneau de fréquence faible.



Réaliser Adapter la fréquence du signal de commande et la base de temps de l'oscilloscope de manière à observer sur l'écran de l'oscilloscope la réponse à un échelon de tension.




Valider L'allure de cette réponse confirme-t-elle les conclusions déduites de l'étude en régime harmonique?

Indiquer comment retrouver les caractéristiques du filtre à partir de la réponse indicielle.

Faire quelques mesures à l'oscilloscope permettant de retrouver ces caractéristiques.

FERROMAGNÉTISME

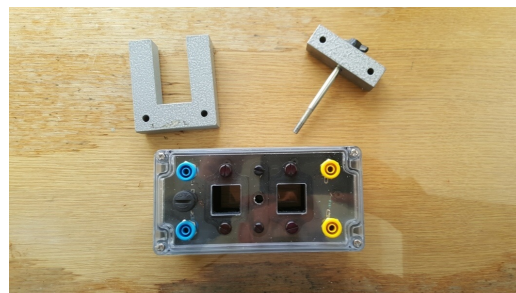
 **S'approprier** Il s'agit de tracer le cycle d'hystérésis d'un noyau magnétique de transformateur et d'en déterminer l'aire afin de calculer la puissance perdue par hystérésis dans ce noyau.

Description du montage

Le noyau étudié est un noyau torique de section carrée en acier doux. Le côté d'une section est $a = 2,0\text{ cm}$ et la longueur moyenne du noyau est $\ell = 25,8\text{ cm}$.

Avant toute utilisation, il importe de bien fermer le circuit magnétique en ajustant et en serrant bien les deux pièces qui le composent.

Pour aimanter le matériau et effectuer observations et mesures, deux bobines sont enroulées autour du tore ; l'ensemble constitue un transformateur.



Il faut bien distinguer l'enroulement primaire (bornes bleues) et l'enroulement secondaire (bornes jaunes) : le primaire, qui sert à aimanter le matériau, est parcouru par un courant d'intensité supérieure à 1 A ; *il ne doit être alimenté que pendant la durée (courte) des mesures et être débranché aussitôt les mesures effectuées.*



Analyser Revoir le cours rappelé ci-dessous.

1. Rappels

1.a. Théorème d'Ampère

L'équation de Maxwell-Ampère, $\text{rot } \vec{H} = \vec{j}_{\text{libre}}$, donne le vecteur excitation magnétique \vec{H} engendré par une distribution de courants : en appliquant le théorème de Stokes, il vient $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \iint_{(S)} \text{rot } \vec{H} \cdot d\vec{S} = \iint_{(S)} \vec{j}_{\text{libre}} = I_{\text{libre}}$, soit $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = I_{\text{libre}}$; I_{libre} désignant l'intensité des courants de conduction. La circulation de sur un contour fermé orienté est égale à l'intensité du courant traversant une surface s'appuyant sur ce contour et orientée par lui.

1.b. Aimantation

Sous l'effet des courants de conduction, le matériau acquiert une aimantation caractérisée par le vecteur aimantation \vec{M} . Le champ magnétique dans le matériau est alors $\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$ ou $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$ (relation constitutive).

Le matériau est isotrope : les vecteurs \vec{H} , \vec{B} et \vec{M} sont colinéaires.

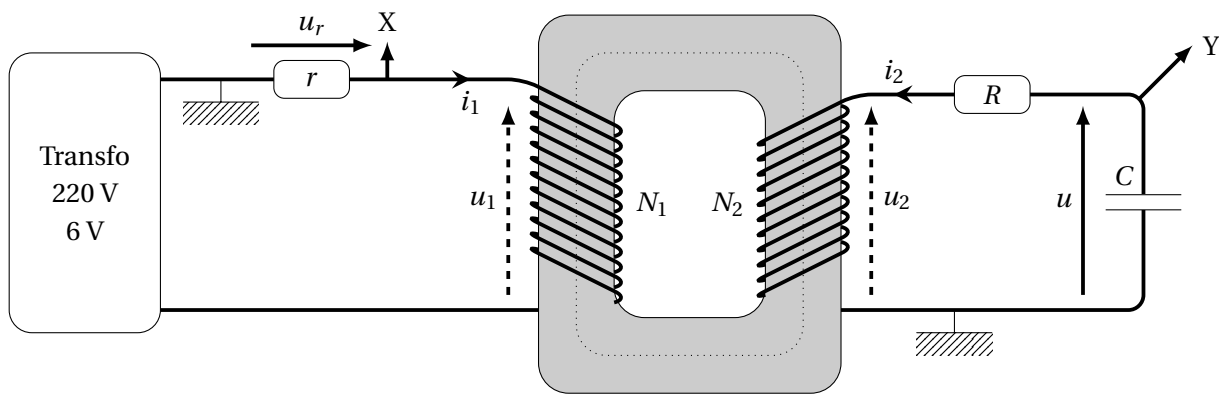
L'étude de l'aimantation consiste à étudier la valeur du champ magnétique B en fonction de la valeur de l'excitation magnétique H : courbe $B(H)$.

2. Montage utilisé

- L'enroulement primaire est une bobine de $N_1 = 100$ spires. Un transformateur branché sur le secteur délivre une tension sinusoïdale de fréquence 50 Hz et de valeur efficace 6 V ; il alimente le primaire en série avec la résistance $r = 1\ \Omega$ spécialement prévue à cet effet. Un ampèremètre permet de relever la valeur efficace (rms) du courant dans le primaire. Son intensité est supérieure à 1 A alors que la résistance utilisée dissipe une puissance maximale de 1 W : *il convient donc de ne pas laisser ce circuit fermé pendant une durée trop longue.*

- L'enroulement secondaire est une bobine de $N_2 = 200$ spires. Il est relié à un dipôle RC de grande impédance ($R = 10\text{ k}\Omega$, $C = 10\ \mu\text{F}$) de sorte que le courant qui le parcourt est très faible, $i_2 \ll i_1$: le secondaire

peut être considéré comme ouvert.



Les tensions observées (oscilloscope et carte Sysam) sont la tension u_r aux bornes de la résistance (voie 1 ou X) et la tension u aux bornes du condensateur (voie 2 ou Y).

⚠ Il n'est pas possible d'observer les tensions u_1 et u_2 aux bornes des enroulements, ni à l'oscilloscope ni avec la carte d'acquisition, car leurs amplitudes sont trop grandes.

II. Observations et mesures

1. Observation et mesure de H



Analyser En prenant comme contour fermé la ligne de champ médiane faisant le tour du noyau, le théorème d'Ampère s'écrit : $H\ell = N_1 i_1$, puisque le courant i_2 est négligé.

Avec les orientations choisies, $i_1 = -\frac{u_r}{r}$, d'où $H = -\frac{N_1}{r\ell} u_r$.



Valider Observer la forme du signal $u_r(t)$. Est-il sinusoïdal? Que peut-on en déduire? Mesurer son amplitude et en déduire la valeur maximale H_{\max} de l'excitation obtenue avec ce montage.

2. Observation et mesure de B



Valider Le champ magnétique variable dans le noyau ferromagnétique engendre dans l'enroulement une f.é.m. induite $e_2 = -N_2 \frac{d\varphi}{dt}$ (loi de Faraday), où φ est le flux de B à travers chaque spire de l'enroulement. Ainsi, en supposant que le champ B est quasi uniforme dans une section S du noyau magnétique, $\varphi = BS$.

En négligeant la résistance de l'enroulement, la tension à ses bornes est alors $u_2 = -e_2 = N_2 \frac{d\varphi}{dt}$.

Le circuit RC est un intégrateur ($C = 10 \mu\text{F}$ donc $\frac{1}{C\omega} = 318 \Omega = \frac{R}{31} \ll R$) d'où l'expression de la tension aux bornes du condensateur : $u = \frac{1}{RC} \int u_2(t) dt$. Alors $u(t) = \frac{N_2 S}{RC} \int \frac{dB}{dt} dt$, soit $B(t) = \frac{RC}{N_2 S} u(t)$.



Valider Observer la forme du signal $u(t)$, peut-on la justifier? Mesurer son amplitude et en déduire la valeur maximale B_{\max} du champ magnétique obtenu avec ce montage.

Donnée : pour un transformateur idéal, $\frac{u_2}{u_1} = \frac{N_2}{N_1}$.

3. Cycle d'hystérésis

C'est la courbe donnant les variations du champ magnétique B en fonction de celles de l'excitation magnétique H .



Réaliser Observer directement le cycle à l'oscilloscope en utilisant le mode XY.

À l'aide de la carte d'acquisition et de la feuille de calcul de LatisPro, tracer les courbes $H(t)$, $B(t)$ puis $H(B)$.

Remarque : choisir une durée d'acquisition de quelques périodes.

Facultatif : représenter l'aimantation $M(t)$ et $M(H)$ ainsi que la perméabilité relative $\mu_r(t)$.

4. Caractéristiques du matériau



Valider Déterminer le champ rémanent B_r et l'excitation coercitive H_c .

Déterminer le champ magnétique à saturation B_{sat} . La saturation est-elle vraiment atteinte ?

III. Pertes par hystérésis

1. Modèle



Analyser La tension aux bornes d'une bobine de N spires parcourues par un courant d'inten-

sité i est $u = L \frac{di}{dt} = \frac{d\Phi_p}{dt} = NS \frac{dB}{dt}$ si l'on néglige sa résistance; alors la puissance électrique qu'elle reçoit

est $p = ui = NS \frac{dB}{dt} \frac{\ell}{N} H$ car $i = \frac{\ell}{N} H$, soit $p = S \ell H \frac{dB}{dt} = V H \frac{dB}{dt}$ ($V = \ell S$ est le volume du noyau).

La puissance moyenne sur une période est $P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = V \int_0^T H dB$.

Un cycle est parcouru pendant une période et $A = \int_0^T H dB$ représente l'aire de ce cycle dans le diagramme (H, B) : $P = V \frac{A}{T}$. Ainsi, l'aire $A = \frac{PT}{V}$ du cycle représente l'énergie volumique dissipée pendant une période.

Cette énergie est absorbée pour assurer l'aimantation et la désaimantation du noyau. On l'appelle « perte par hystérésis ». Comme elle est dissipée dans le noyau, elle est classée dans les « pertes fer ».

2. Mesures



Réaliser En exportant dans un fichier texte les valeurs de B et H du fichier Latispro et en utilisant un programme Python, déterminer l'aire du cycle d'hystérésis.



Valider En déduire la puissance moyenne volumique perdue par hystérésis dans ce matériau.

Mode d'emploi du script :

- Exporter les données LatisPro sous forme de fichier texte (extension .txt).
- Il faut trois colonnes : temps, H et B, dans cet ordre, sans ligne de titres.
- Convertir les virgules « , » en point « . » s'il le faut : 3,45 devient 3.45 par exemple.

Script :

```
import numpy as np
import scipy as sp
import matplotlib.pyplot as plt
import os

## Script de lecture de fichiers txt :
source = open('Nom_du_fichier.txt','r')
t,h,b=[],[],[]
for ligne in source:
    donnees = ligne.rstrip('\n').split("\t") # « \t » ôte les saut de colonne.
    # Remplacer par « ; » si les données sont séparées par un point-virgule.
    t.append(float(donnees[0]))
    h.append(float(donnees[1]))
    b.append(float(donnees[2]))
source.close()

## Tracés

plt.clf()
plt.subplot(131)
plt.title('$H(t)$')
plt.xlabel(r'$t$ (s)')
plt.ylabel(r'$H$ (A.m-1)')
plt.grid(True)
plt.plot(t,h)

plt.subplot(132)
plt.title('$B(t)$')
plt.xlabel(r'$t$ (s)')
plt.ylabel(r'$B$ (T)')
plt.grid(True)
plt.plot(t,b)

plt.subplot(133)
plt.title('Hystérésis H-B')
plt.xlabel(r'$H$ (A.m-1)')
plt.ylabel(r'$B$ (T)')
plt.grid(True)
plt.plot(h,b)

plt.show()

## Aire du cycle : S est l'aire du cycle d'hystérésis H-B
S=0
for i in range(1,len(h)):
    S+=b[i]*(h[i]-h[i-1])
print('L\'aire de la courbe d\'hystérésis est ',abs(S),' J/m3/cycle.')
```


LE TRANSFORMATEUR



S'approprier

L'objectif est de comparer les propriétés d'un transformateur réel à celles d'un transformateur idéal. Le transformateur est fermé sur une charge résistive.

Il s'agit d'étudier, d'une part l'influence de cette charge sur les lois de transformation, pour les tensions et pour les courants, et d'autre part de mesurer les pertes pour en déduire le rendement du transformateur.

I. Principe

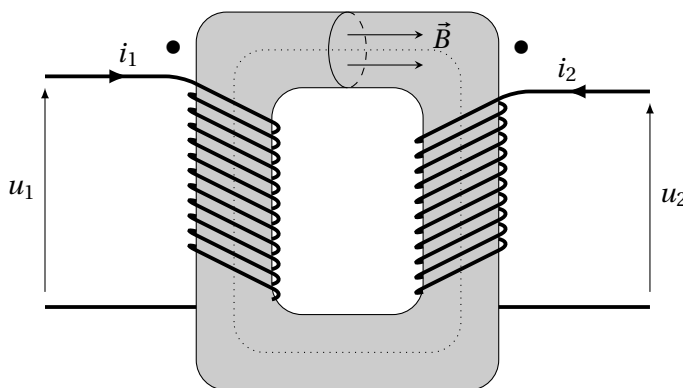
Le transformateur est un convertisseur de puissance électrique.

Il ne possède aucune pièce mobile : c'est un **convertisseur statique**.

Il transforme un signal électrique **alternatif** en un signal alternatif de même fréquence mais de valeur efficace différente (plus basse ou plus élevée), avec un rendement élevé.

1. Constitution

Le transformateur est constitué d'un circuit ferromagnétique torique, de grande perméabilité magnétique, autour duquel sont régulièrement enroulées deux bobines : l'enroulement primaire relié à la source et l'enroulement secondaire relié à l'utilisation.



Le circuit magnétique assure un couplage des deux bobines par induction mutuelle, avec un coefficient de couplage $k = \frac{|M|}{\sqrt{L_1 L_2}}$ très élevé (proche de 1).

L'orientation, commune à toutes les spires des deux enroulements, est définie par le choix de l'orientation d'une section quelconque du circuit magnétique, fixée par le sens du vecteur unitaire normal $d\vec{S} = dS \vec{n}$. L'orientation étant fixée, l'entrée de chaque bobinage est repérée par un point •.

2. Le transformateur idéal

a. Définition et hypothèses

Un transformateur parfait est tel que le couplage entre les bobines soit parfait, $k = 1$, et qu'il n'y ait aucune perte :

- le matériau magnétique est supposé linéaire : l'aire du cycle est nulle, il n'y a pas de pertes par hystérésis;

- sa perméabilité magnétique μ_r est infinie : il n'y a pas de fuite magnétique; toutes les lignes de champ magnétique restant confinées dans le circuit magnétique, le flux ϕ de \vec{B} est le même à travers chaque spire de chaque enroulement (flux commun); ainsi le couplage entre les deux bobines est parfait ($k = 1$);

- le noyau ferromagnétique et les bobines ont des résistances nulles : il n'y a pas d'énergie dissipée par effet Joule.

b. Loi de transformation des tensions

S'approprier La loi de Faraday permet d'exprimer la f.é.m. induite dans chaque bobine et, les bobines étant supposées sans résistance, nous obtenons : $u_1 = -e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt}$ et $u_2 = -e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$, soit :

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{N_2}{N_1} = m.$$

$m = \frac{N_2}{N_1}$ est le rapport de transformation; s'il est supérieur à 1, le transformateur est survolteur; s'il est inférieur à 1, le transformateur est dévolteur; s'il est égal à 1, c'est un transformateur écran ou d'isolement.

c. Loi de transformation des courants

S'approprier Le théorème d'Ampère appliquée à \vec{H} le long d'une ligne de champ de longueur ℓ se refermant dans le circuit magnétique s'écrit : $\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = N_1 i_1 + N_2 i_2$, soit $H\ell = N_1 i_1 + N_2 i_2$.

Comme $B = \mu_0 \mu_r H$, $N_1 i_1 + N_2 i_2 = H\ell = \frac{B\ell}{\mu_0 \mu_r}$. À la limite $\mu_r \rightarrow +\infty$, les autres grandeurs restant finies,

$N_1 i_1 + N_2 i_2 = 0$. Alors $\frac{i_2}{i_1} = -\frac{N_1}{N_2} = -\frac{1}{m}$.

d. Transfert de puissance

S'approprier La puissance instantanée reçue par le primaire (convention récepteur) est $p_1 = u_1 i_1$.

La puissance instantanée fournie par le secondaire (convention récepteur) est $p_2 = -u_2 i_2$.

Nous obtenons $\frac{p_2}{p_1} = 1$, ce qui est bien conforme aux hypothèses : il n'y a aucune perte et l'énergie magnétique stockée en moyenne dans les bobines et le circuit magnétique est nulle. Par hypothèse, le rendement du transformateur idéal est égal à 1.

II. Influence de la charge résistive**1. Montage****a. Le transformateur**

C'est un transformateur d'étude, démontable, dont le circuit magnétique est un tore à section carrée de côté 2 cm. Le primaire est une bobine de deux fois 300 spires et le secondaire est une bobine de 2 fois 600 spires.



Réaliser Vérifier la vis de serrage et l'ajustement de la barre mobile du circuit magnétique pour que le circuit magnétique soit bien fermé. Pourquoi?

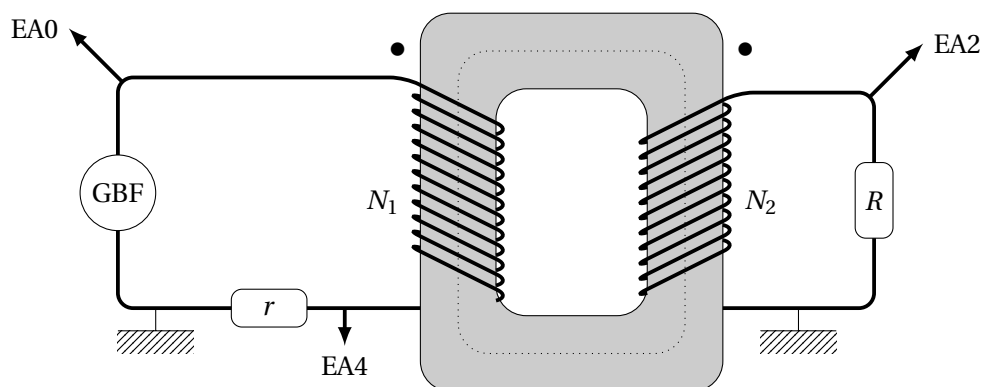
Choisir, par exemple, $N_1 = 300$ et $N_2 = 600$. Quelle est la valeur du rapport de transformation m ?

Le transformateur est alimenté par une tension sinusoïdale de fréquence 50 Hz délivrée par un GBE. Régler son amplitude à 5 V, de sorte à ne pas saturer la carte d'acquisition (10 V max) en sortie.

Le secondaire est initialement ouvert, puis fermé sur une résistance variable R (« boîte de résistances »).

b. L'acquisition

Réaliser À l'aide de la carte Sysam, on prélève les tensions EA0, EA2 et EA4. La tension EA4, aux bornes d'une résistance $r = 10 \Omega$ (boîte AOIP $\times 1 \Omega$), permet d'obtenir le courant primaire i_1 ; la tension différentielle EA0-EA4 est la tension primaire u_1 ; la tension EA2 est la tension secondaire u_2 ; le courant secondaire est alors donné par $i_2 = \frac{u_2}{R}$.



On pourra choisir une durée d'acquisition de 5 périodes, avec des échantillons toutes les $100 \mu s$.

c. La feuille de calcul

Elle doit permettre d'obtenir :

- la tension u_1 et le courant i_1 au primaire, la tension u_2 et le courant i_2 au secondaire, ainsi que leurs valeurs efficaces U_{1e} , U_{2e} , I_{1e} et I_{2e} puis les rapports $m_u = \frac{U_{2e}}{U_{1e}}$ et $m_i = \frac{I_{1e}}{I_{2e}}$;
- la puissance moyenne reçue au primaire P_{1m} , la puissance moyenne disponible au secondaire P_{2m} et le rendement du transformateur $r_e = \frac{P_{2m}}{P_{1m}}$.

Feuille de calcul :

$R = [\text{valeur choisie}]$

$\log R = \log(R)$

$u_1 = \text{EA04_D}$ ou $u_1 = \text{EA0-EA4}$

$i_1 = \text{EA4}/10$

$u_2 = \text{EA2}$

$i_2 = \text{EA2} / R$

$u_{12} = u_1 * u_1 \quad U_{1e} = \text{sqr}t(\text{moy}(u_{12}))$

$u_{22} = u_2 * u_2 \quad U_{2e} = \text{sqr}t(\text{moy}(u_{22}))$

$i_{12} = i_1 * i_1 \quad I_{1e} = \text{sqr}t(\text{moy}(i_{12}))$

$i_{22} = i_2 * i_2 \quad I_{2e} = \text{sqr}t(\text{moy}(i_{22}))$

$m_u = U_{2e}/U_{1e}$

$m_i = I_{1e}/I_{2e}$

$p_1 = u_1 * i_1 \quad P_{1m} = \text{moy}(p_1)$

$p_2 = u_2 * i_2 \quad P_{2m} = \text{moy}(p_2)$

$\text{rend} = \text{abs}(P_{2m}/P_{1m})$

2. Mesures



Réaliser

Faire entre 12 et 15 mesures pour R décroissant de $10\,000 \Omega$ à 10Ω (par exemple $10\,000; 5\,000; 2\,000; 1\,000; 800; 500; 300; 200; 150; 100; 50; 10 \Omega$).

⚠ Ne pas oublier de modifier la valeur de R dans la feuille de calcul avant chaque nouvelle acquisition !

3. Résultats

Consigner dans un tableau les valeurs de R et les valeurs correspondantes des rapports m_u , m_i des puissances moyennes P_1 et P_2 ainsi que le rendement $\eta = P_2/P_1$.

a. Lois de transformation**Valider**

Sur le même graphe représenter $m_u = U_{2e}/U_{1e}$ et $m_i = I_{1e}/I_{2e}$ en fonction de $\log(R)$. Commenter.

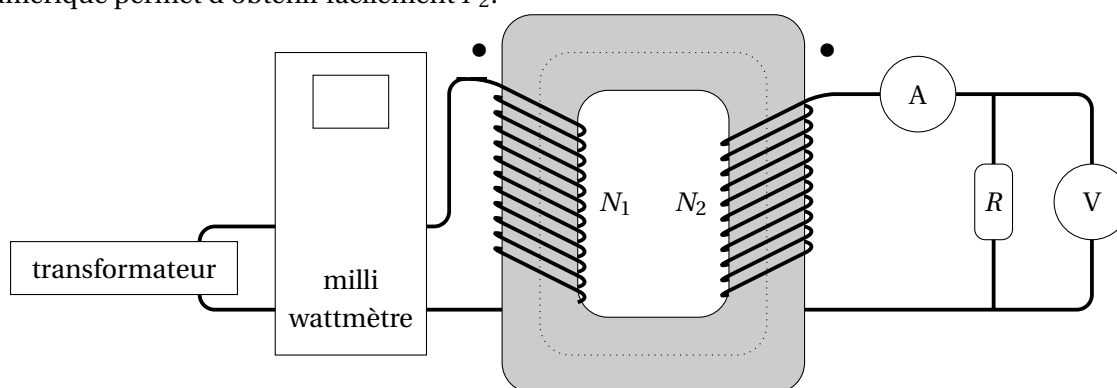
b. Transfert de puissance**Valider**

Représenter le rendement η en fonction de $\log(R)$. Commenter.

Pour $R = 200\Omega$, imprimer les trois graphes donnant les couples de courbes $((u_1(t), u_2(t)), (i_1(t), i_2(t))$ et $(p_1(t), p_2(t))$. Noter, en particulier, la période et les valeurs moyennes des puissances $p_1(t)$ et $p_2(t)$.

III. Mesure des pertes**1. Montage**

La mesure de la puissance moyenne P_1 consommée à l'entrée du transformateur est effectuée à l'aide d'un wattmètre numérique. La charge étant résistive, la mesure de la tension efficace U_{2e} avec un voltmètre numérique permet d'obtenir facilement P_2 .



La source est un transformateur abaissant la tension du secteur à une valeur efficace d'environ 6 V.

Le primaire est la bobine de 300 spires de résistance R_1 et le secondaire est la bobine de 600 spires de résistance R_2 . On choisit une résistance de charge $R = 200\Omega$.

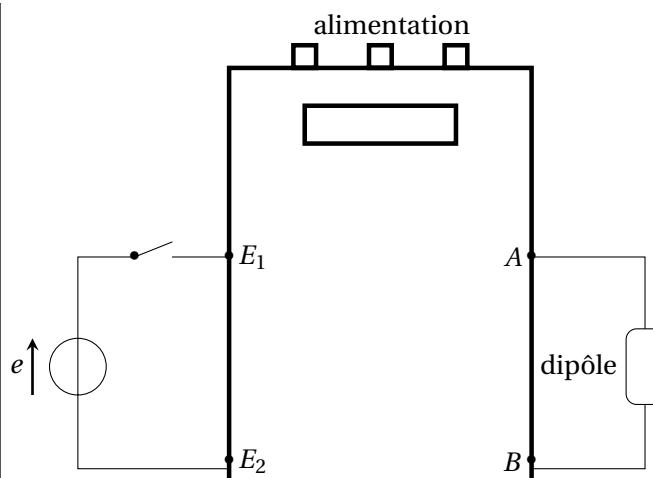
2. Le milliwattmètre numérique

C'est un appareil fragile et cher! Avant de le relier au circuit, l'alimenter (trois bornes : +15 V, 0 V, -15 V) et placer les commutateurs des calibres sur les valeurs maximales : 50 V et 4 A. Consulter la notice.

**Réaliser**

L'appareil s'insère entre le dipôle à étudier et sa source d'alimentation comme indiqué sur le schéma ci-contre. Après fermeture du circuit, adapter les calibres de la tension et du courant. Si l'un des voyants de dépassement de calibre s'allume, revenir immédiatement au calibre supérieur.

La lecture de la puissance moyenne affichée à l'écran doit prendre en compte un facteur multiplicatif, lié aux calibres choisis, correspondant au voyant jaune allumé.



Des sorties analogiques sur la face de l'appareil permettent de visualiser les grandeurs instantanées : tension, intensité et puissance (bornes I , P et U) ; la borne I délivre une tension proportionnelle à l'intensité, le coefficient étant indiqué à gauche du curseur de calibre de l'intensité.

⚠ Attention : les deux bornes d'entrée E_1 et E_2 ne sont pas équivalentes, les permuter si l'indication de l'appareil est trop faible!

3. Mesures



Réaliser

Mesurer au préalable les résistances R , R_1 (résistance du primaire) et R_2 (résistance du secondaire).

a. Rendement



Valider

Noter l'indication P_1 du milliwattmètre et la valeur de U_{2e} , en déduire le rendement $\eta = P_2/P_1$ du transformateur dans ces conditions d'utilisation.

Observer, grâce aux sorties analogiques U et I du milliwattmètre, la tension $u_1(t)$ et le courant $i_1(t)$.

Mesurer leurs valeurs efficaces U_{1e} , I_{1e} ainsi que leur déphasage φ_1 . Comparer $U_{1e}I_{1e}\cos\varphi_1$ à P_1 .

b. Pertes fer

Le noyau étant feuilleté, on néglige les pertes par courants de Foucault devant les pertes par hystérésis. Celles-ci se mesurent en sortie ouverte.

La puissance absorbée par le primaire est alors $P_{10} = P_{\text{fer}} + R_1 I_{1e0}^2$, l'indice 0 indique que la sortie est ouverte.



Valider

Mesurer U_{1e0} à l'oscilloscope (borne U du milliwattmètre) et P_{10} . En déduire fer P_{fer} .

c. Pertes cuivre

Le secondaire est maintenant fermé sur la résistance de charge R .



Valider

Mesurer I_{1e} et I_{2e} ; en déduire $P_{\text{cuivre}} = R_1 I_{1e}^2 + R_2 I_{2e}^2$.

d. Rendement



Valider

Calculer les pertes totales $P_{\text{pertes}} = P_{\text{fer}} + P_{\text{cuivre}}$ puis le rendement $\eta' = \frac{P_1 - P_{\text{pertes}}}{P_1}$. Comparer au rendement η trouvé en III.3.a.

4. Cycle d'hystérésis

Le transformateur est fermé sur un dipôle RC série, tel que $RC\omega \gg 1$ (par exemple $R = 100\text{ k}\Omega$). La tension $u(t)$ aux bornes du condensateur est observée sur la voie 2 de l'oscilloscope.

La borne I du milliwattmètre permet d'observer, sur la voie 1 de l'oscilloscope, le courant $i_1(t)$ du primaire.



Valider


Observer le cycle d'hystérésis du matériau ferromagnétique (cf. cours sur le ferromagnétisme). Évaluer, en comptant les carreaux, l'aire de ce cycle en $\text{V} \cdot \text{A}$.

De $B(t) = \frac{RC}{N_2 S} u(t)$ et $H(t) = \frac{N_1 i_1(t)}{\ell}$, déduire l'aire du cycle en $\text{T} \cdot \text{A} \cdot \text{m}^{-1}$.

On donne le volume du circuit magnétique $V = S \cdot \ell = 4 \times 10^{-4} \times 0,258 = 1,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$.

Déterminer l'énergie perdue par hystérésis pendant une période et confronter le résultat trouvé à celui du § III.3.b. ci-dessus.


MISE EN ŒUVRE D'UNE PILE

 **S'approprier** Le but est d'utiliser une pile à l'équilibre pour mesurer différentes constantes thermodynamiques et de mettre en œuvre une méthode de dosage des ions chlorure d'une solution (mesure de la salinité de l'eau de mer).

I. Principe

1. La pile utilisée


Il s'agit de la pile $\text{Pt}|\text{Fe}^{3+} \text{Fe}^{2+}||\text{Ag}^+|\text{Ag}$. La pile est en « circuit ouvert », elle ne débite aucun courant.

 **S'approprier** Dans ces conditions, le système électrochimique est à l'équilibre thermodynamique, la relation de Nernst donnant le potentiel d'une demi-pile (ou électrode) est applicable.

Pour la réaction d'équation : $\alpha \text{Ox} + n e^- = \beta \text{Red}$: $E = E^0 + \frac{0,06}{n} \log \frac{a_{\text{Ox}}^\alpha}{a_{\text{Red}}^\beta}$.


2. Les constantes à déterminer

2.a. Potentiels standard

 **Analyser** Il s'agit de déterminer le potentiel standard E_1^0 du couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ en mesurant la différence de potentiel entre l'électrode (1) $\text{Pt}|\text{Fe}^{3+} \text{Fe}^{2+}$ et l'électrode de référence au calomel saturé dont le potentiel est $E_{\text{ref}} = 0,245 \text{ V}$.

La mesure de la force électromotrice (tension à vide) U_{01} de la pile permet de déterminer le potentiel standard E_2^0 du couple Ag^+/Ag .

2.b. Produit de solubilité de AgCl

 **Analyser** L'addition d'une solution d'ions chlorure Cl^- provoque la précipitation du chlorure d'argent peu soluble. La mesure de la nouvelle valeur U_{02} de la force électromotrice de la pile permet de déterminer le produit de solubilité de AgCl .


2.c. Dosage des ions chlorure

Il s'agit d'un dosage potentiométrique : mesure de du potentiel du couple Ag^+/Ag en fonction du volume d'une solution titrée de nitrate d'argent ajouté à la solution de chlorure à doser.

II. Détermination des potentiels standard

1. Protocole expérimental

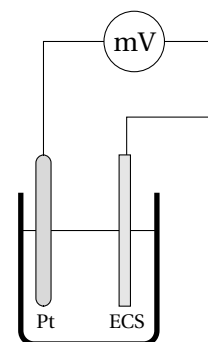
1.a. Potentiel standard E_1^0 du couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$

 **Réaliser** Verser dans un bécher (bécher 1) 50 mL une solution de sel de Mohr $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH}_4)_2$ à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de Fe^{2+} et 50 mL d'une solution de nitrate ferrique $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de Fe^{3+} .

Ajouter environ 1 mL d'acide sulfurique concentré.

Placer dans le bécher l'électrode de platine et l'électrode de référence.

Mesurer la tension U_0 .



⚠ L'électrode de référence est fragile : observer le mercure, le chlorure de mercure I (ou calomel), solide blanc et la solution saturée de chlorure de potassium. Retirer le capuchon protecteur contenant une solution de chlorure de potassium et rincer l'électrode à l'eau distillée avant de la plonger dans la solution.

⚠ Il est souvent nécessaire de munir l'électrode de référence d'un manchon conducteur en verre rempli d'une solution de **nitrate de potassium** KNO_3 : libérer la petite ouverture permettant d'équilibrer la pression,

remplir le manchon de manière à ce que la solution ne déborde pas par la petite ouverture lorsque l'électrode est placée dans le manchon...



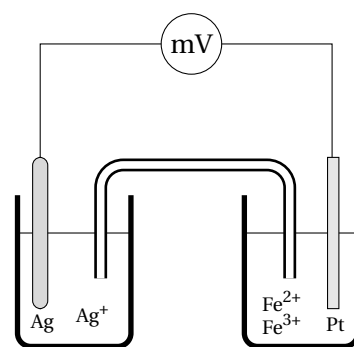
Réaliser Refaire la mesure précédente lorsque l'électrode est munie de son manchon. Noter la valeur de U'_0 .

⚠ **Ne plus retirer le manchon pour toutes les expériences suivantes.** L'utilisation de l'électrode de référence dans une solution contenant des ions l'endommagerait.

1.b. Potentiel standard E_2^0 du couple Ag^+/Ag



Réaliser Retirer l'électrode de référence du bécher 1. Verser dans un second bécher 50 mL d'une solution de nitrate d'argent AgNO_3 à $0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et y plonger l'électrode d'argent. Placer le pont salin entre les deux demi-piles et mesurer la force électromotrice U_{01} de la pile ainsi réalisée.



bécher 1

2. Résultats



Valider

- Écrire la relation de Nernst pour le couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ et déduire de la valeur du potentiel standard E_1^0 .
- Écrire la relation de Nernst pour le couple Ag^+/Ag et déduire de U_{01} et U_0 la valeur du potentiel standard E_2^0 .

III. Mesure du produit de solubilité de AgCl

1. Protocole expérimental



Réaliser Le dispositif reste le même. Ajouter lentement et sous agitation 1 mL d'une solution de chlorure de sodium NaCl à $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Un précipité blanc de chlorure d'argent apparaît. Attendre que l'indication du voltmètre soit bien stabilisée et noter la nouvelle valeur U_{02} de la force électromotrice de la pile.

2. Résultats



Valider

- Écrire la relation de Nernst donnant le potentiel du couple Ag^+/Ag en fonction du produit de solubilité K_s de AgCl .
- Calculer la concentration des ions chlorure dans la solution. Déduire la valeur de K_s de la valeur de U_{02} .

IV. Dosage potentiométrique

1. Protocole expérimental

⚠ **Ne pas gaspiller les solutions contenant de l'argent (442 € le kg).**

⚠ Travailler proprement : le nitrate d'argent laisse des traces noires sur la peau, très longues à faire disparaître.



Réaliser Dans un bécher de forme haute introduire 10 mL de solution de chlorure de sodium de concentration c à déterminer; ajouter 10 mL d'eau distillée et y plonger l'électrode de référence munie de son manchon, l'électrode d'argent et le barreau magnétique.
Verser dans la burette 15 mL une solution de nitrate d'argent de concentration $c_0 = 0,02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.



Réaliser Mettre en marche l'agitation magnétique et mesurer la force électromotrice de la pile en fonction du volume de nitrate d'argent versé.
À la fin de l'expérience, verser les contenus du bécher et de la burette dans le bidon prévu à cet effet.
Rincer soigneusement les électrodes et remplacer le capuchon de l'électrode de référence.

2. Résultats



Valider

- Construire la courbe représentant la force électromotrice de la pile en fonction du volume de nitrate d'argent versé.
- Justifier son allure.
- Déterminer le volume versé à l'équivalence et en déduire la valeur de la concentration c de la solution de chlorure de sodium.

COURBES INTENSITÉ-POTENTIELS



S'approprier

La mesure de l'intensité du courant traversant une électrode permet de connaître la vitesse de la réaction s'y produisant. Il s'agit d'étudier le comportement d'une électrode de platine, inerte, plongeant dans une solution aqueuse contenant des ions hexacyanoferrate II et hexacyanoferrate III. Le tracé de la courbe intensité – potentiel de cette électrode permet une analyse de la cinétique de la réaction $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + e^- = \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$. Le problème est, en particulier, de savoir si ce couple est lent ou rapide sur le platine. Le même montage permet enfin de déterminer le domaine d'électroactivité de l'eau.

I. Étude du système Fe(III)/Fe(II) sur électrode de platine

1. Principe

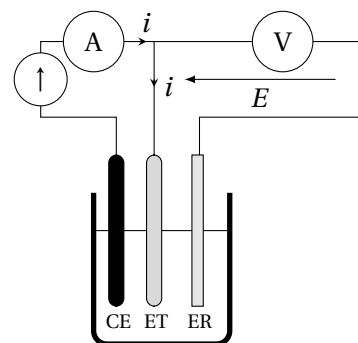
Le montage comporte trois électrodes :

- l'électrode de travail (ET) ;
- une contre-électrode (CE) ;
- une électrode de référence (ER).

L'électrode de travail est l'électrode à analyser. Les autres facteurs cinétiques étant fixés, nous étudions l'influence du potentiel d'électrode E sur l'intensité i du courant qui la traverse. Le circuit est fermé par une contre-électrode parcourue par la même intensité i . Le potentiel E est mesuré par rapport à une électrode de référence.

Pour éviter tout facteur cinétique limitant au niveau de la contre électrode, cette dernière doit avoir une surface de contact avec la solution très grande devant celle de l'électrode de travail.

Comme le montre le schéma ci-contre, il est possible de brancher une alimentation continue variable entre ET et CE. Cette méthode présente l'inconvénient de ne pas permettre de stabiliser la tension entre ET et ER. On utilise alors un dispositif électronique appelé potentiostat : il permet de choisir la tension entre ET et ER et de mesurer l'intensité du courant entre ET et CE, ces deux dernières étant reliées par une résistance constante. Pour mesurer i , on mesure donc une **tension** aux bornes d'une résistance fixée.



2. Manipulation

L'ion hexacyanoferrate (II) (ou ion ferrocyanure) est l'ion complexe $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ (couleur verte).

L'ion hexacyanoferrate (III) (ou ion ferricyanure) est l'ion complexe $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ (couleur jaune).



Réaliser

Dans un bécher de 250 mL, verser 50 mL d'une solution d'hexacyanoferrate (II) de potassium à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ réalisée dans une solution de KCl molaire et 50 mL d'une solution d'hexacyanoferrate (III) de potassium à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, réalisée dans une solution de KCl molaire.

Placer dans le bécher les trois électrodes :

- l'électrode de travail : électrode de platine recouverte de vernis à ongles (pour diminuer sa surface de contact avec la solution) sauf sur sa partie inférieure.
- la contre-électrode : électrode de graphite
- l'électrode de référence au calomel saturé (ECS) munie de son manchon contenant la solution saturée de chlorure de potassium.

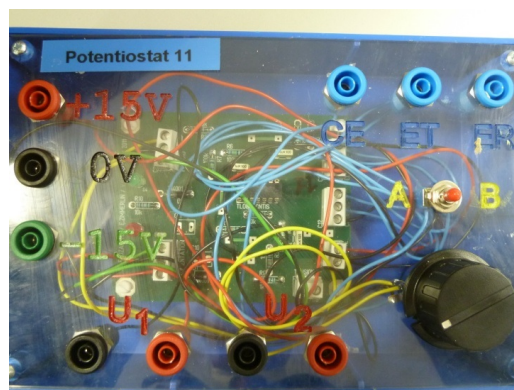
Vérifier que les électrodes ne sont pas en court-circuit avec les pinces-supports.

Mettre en marche l'agitation, modérée.

**Réaliser**

Réaliser le montage du potentiostat :

- Relier les trois électrodes aux bornes appropriées de l'appareil.
- Brancher ensuite l'alimentation : + 15V; 0V; - 15V; ces bornes sont reliées aux bornes + 12V; 0V; - 12V de la platine Sysam SP-5. Deux diodes électroluminescentes, une rouge et une verte, s'allument pour indiquer que le montage est bien alimenté.
- Relier la sortie U_1 à l'entrée EA1 de l'interface et la sortie U_2 à l'entrée EA2 de l'interface.



- La tension U_1 est proportionnelle au courant i : $i(\text{mA}) = U_1(\text{V})$ sur la position A et $i(\text{mA}) = 10U_1(\text{V})$ sur la position B. **Utiliser la position A.**

- La tension U_2 donne le potentiel d'électrode : $U_2 = E - E_{\text{ECS}} = E - 0,244\text{V}$.

**Réaliser**

- Avant de lancer l'acquisition, démarrer le logiciel LATIS PRO; activer les entrées EA1 et EA2; choisir la représentation XY avec EA2 en abscisse; régler le paramètre « variation », pour EA2, à une valeur assez faible (10 mV) pour obtenir beaucoup de points de mesure.
- Régler le potentiomètre de sorte à avoir la valeur minimale de U_1 (de l'ordre de -2V), lancer l'acquisition (F10) puis augmenter régulièrement et lentement la tension à l'aide du potentiomètre.
- Pour arrêter l'acquisition, utiliser la touche Echap. Pour exporter les mesures : Menus Fichier > Exporter > Toutes les courbes (choisir le format .csv qui s'ouvre avec Excel, Regressi, etc).

**Valider**

- À l'aide de la feuille de calcul, définir $i = EA1$ et $E = EA2 + 0,244\text{V}$ puis tracer la courbe $i(E)$. Les segments horizontaux apparaissant pour les valeurs de $|E|$ supérieures à 2 V correspondent à la saturation des AO du potentiostat et doivent être supprimés en utilisant la fonction loupe. Imprimer alors la courbe obtenue.

⚠ Attention : une fois les mesures démarrées il ne faut plus modifier la géométrie du dispositif, ni la vitesse d'agitation qui sont toutes deux des facteurs cinétiques susceptibles d'influer sur le courant qui circule.

**Réaliser**

Les mesures étant terminées, couper l'alimentation du potentiostat puis débrancher les électrodes, les rincer plusieurs fois à l'eau distillée et les laisser tremper quelques minutes dans cette eau afin que le fritté de l'électrode de référence soit bien nettoyé.

3. Questions

**Valider**

- Déterminer le potentiel d'équilibre du couple étudié.
- Le système Fe(III) / Fe(II) sur platine est-il rapide ou lent?
- Pourquoi observe-t-on un palier de diffusion? Quelle est la valeur du courant de diffusion i_d pour chaque courbe?
- Qu'est-ce que le « mur » du solvant et pourquoi observe-t-on ce phénomène?

II. Étude du domaine d'électro-activité de l'eau

1. Manipulation



Réaliser • Après avoir soigneusement rincé la verrerie et les électrodes, réaliser le même montage, les électrodes plongeant maintenant dans une solution de 50 mL d'acide sulfurique de concentration $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

• Par le même mode opératoire déterminer la courbe $i(E)$ de l'eau.

2. Questions



Valider - Rappeler ce qu'est le domaine d'électro-activité d'un solvant.

- Déterminer celui de l'eau.

- Comparer les données recueillies à celles de la thermodynamique : conclusion ?

LA MACHINE À COURANT CONTINU

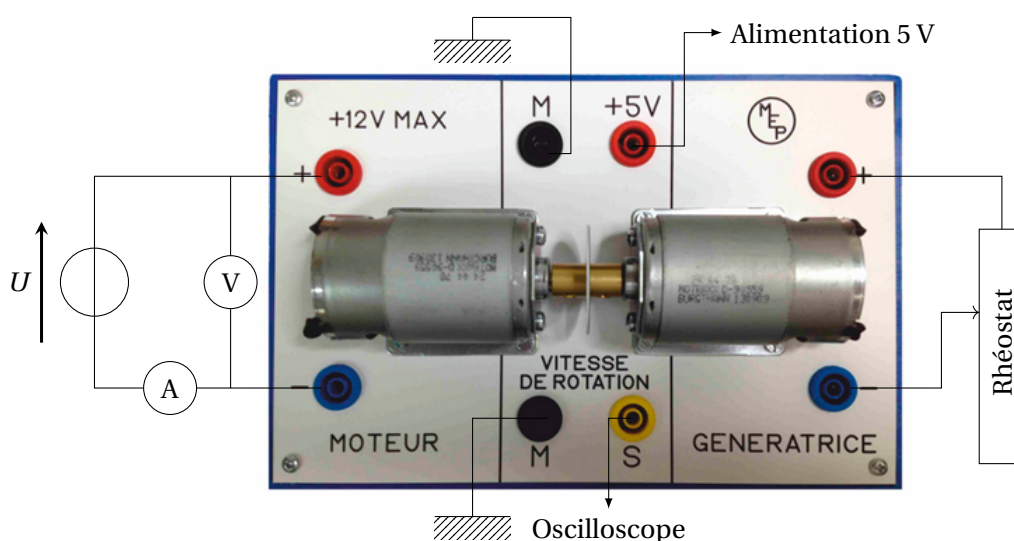


S'approprier

L'objectif est d'une part de déterminer expérimentalement les principales caractéristiques d'une machine à courant continu et d'autre part de mesurer le rendement du moteur par la méthode des pertes séparées.

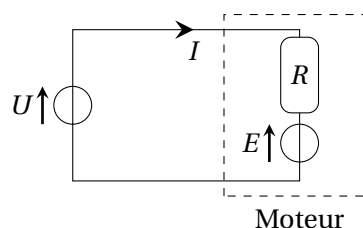
I. Principe

Le banc d'étude est constitué de deux machines identiques couplées mécaniquement : arbre commun. La machine fonctionnant en « moteur » convertit de l'énergie électrique en énergie mécanique ; la machine fonctionnant en « génératrice » convertit de l'énergie mécanique en énergie électrique.



1. Modèle de la machine à courant continu

Le bobinage du rotor d'une machine à courant continu, appelé « induit », est modélisé par une résistance R en série avec une source de tension E . La force contre-électromotrice E de l'induit est proportionnelle à sa vitesse de rotation Ω : $E = \Phi\Omega$. Le coefficient de proportionnalité, homogène à un flux magnétique et noté Φ , est une constante appelée *constante de couplage électromécanique*.



⚠ Le moteur (son induit) est alimenté par une alimentation stabilisée : **ne pas dépasser 12 V et 3 A!**

On montre que le couple moteur s'exerçant alors sur le rotor est $\Gamma = \Phi I$, I étant le courant dans l'induit.

2. Charge mécanique du moteur

La charge mécanique du moteur est, par définition, la machine tournante entraînée par l'arbre de son rotor.

Ici, il s'agit d'une machine à courant continu identique au moteur, fonctionnant en « génératrice ». Le couple résistant qu'elle exerce sur l'arbre du moteur est proportionnel au courant qu'elle débite : ce couple résistant est réglé en faisant débiter la génératrice dans un rhéostat : ce couple résistant augmente lorsque l'intensité débitée augmente, c'est-à-dire lorsque la résistance du rhéostat diminue.

3. Mesures



Réaliser

La tension d'alimentation U de l'induit et l'intensité I le traversant sont mesurées à l'aide de multimètres.

La fréquence de rotation f est mesurée à l'aide du bloc « vitesse de rotation » : régler l'alimentation variable (type « alimentation ALI » sur 5 V environ et mesurer la fréquence des impulsions à l'oscilloscope (cf. figure ci-dessus).

Donner la relation entre la vitesse de rotation et la fréquence mesurée f .

II. Détermination des caractéristiques du moteur

L'objectif de cette partie est de déterminer la résistance interne R de l'induit et la constante de couplage électromécanique Φ .

1. Essai en charge : résistance de l'induit

La mesure de la résistance de l'induit est faite pour une vitesse de rotation constante : $f = 70 \text{ Hz}$.



Réaliser

- Donner l'expression de la tension U aux bornes de l'induit en fonction du courant I le traversant. Il s'agit de tracer la caractéristique $U(I)$ pour différentes valeurs de la charge.
- Régler le rhéostat à sa valeur maximale et ajuster la tension d'alimentation de sorte à obtenir la vitesse imposée. Mesurer U et I .
- Augmenter la charge en diminuant la résistance du rhéostat de sorte à faire diminuer la fréquence d'environ 2 Hz; ajuster la tension d'alimentation de sorte à obtenir la fréquence fixée et mesurer U et I .
- Procéder ainsi de suite, jusqu'à atteindre le courant limite de 3 A.
- Tracer la caractéristique $U(I)$ et en déduire les valeurs de R et E pour $f = 70 \text{ Hz}$.
- Pourquoi la résistance peut-elle dépendre de la vitesse de rotation du moteur?

2. Essai à vide : constante électromécanique

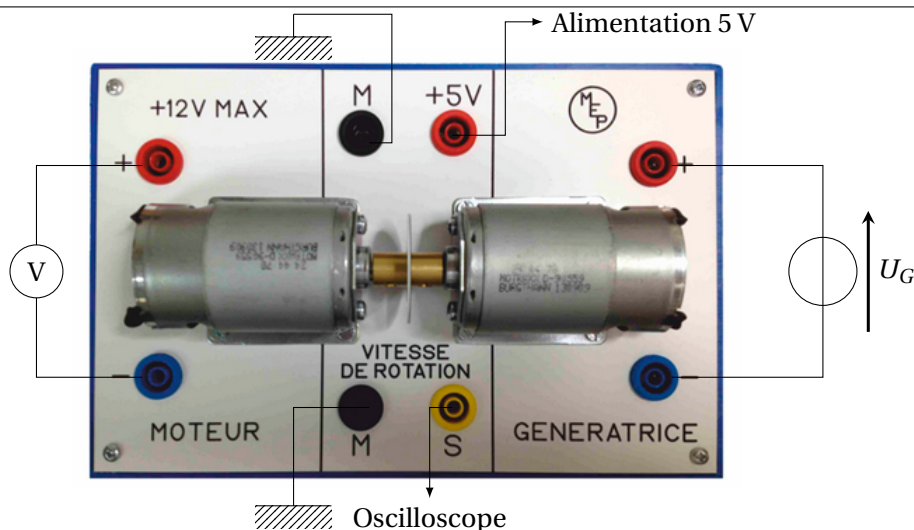


Analyser

L'objectif est ici de déterminer la constante électromécanique Φ du moteur.

Cette mesure est faite en utilisant la réversibilité du fonctionnement de la machine à courant continu.

La force électromotrice E étant la tension U aux bornes de l'induit du moteur en circuit ouvert ($I = 0$), celui-ci est branché sur un voltmètre d'impédance infinie. Le moteur (qui fonctionne en « génératrice ») est mis en rotation à l'aide de la génératrice qui fonctionne en « moteur » (cf. figure ci-dessous).



**Réaliser**

L'alimentation stabilisée est donc maintenant reliée à l'entrée de la « génératrice ». En augmentant progressivement la tension U_G (de 2 V en 2 V environ), relever les valeurs de E et f . Construire la courbe $E(\Omega)$ et en déduire la valeur de la constante électromécanique Φ du moteur.

3. Caractéristique mécanique de la machine**Analyser**

En régime permanent de rotation, les conditions de fonctionnement du système sont régies par :

— une équation électrique $U = RI + E = RI + \Phi\Omega$;

— une équation mécanique (théorème du moment cinétique) $J \frac{d\Omega}{dt} = \Gamma - |\Gamma_r| = 0$, avec $\Gamma = \Phi I$ couple moteur et Γ_r couple résistant exercé par la charge mécanique; alors $|\Gamma_r| = \Gamma = \Phi I$.

Il vient alors $\Gamma = \frac{\Phi}{R}U - \frac{\Phi^2}{R}\Omega$.

**Valider**

Il s'agit de tracer la caractéristique $\Gamma(\Omega)$, à U fixée. Revenir au montage de la partie II.1.

- Pour une tension d'induit constante $U = 12V$, faire varier la charge et relever la fréquence de rotation f et l'intensité I .
- Tracer la caractéristique $\Gamma(\Omega)$, avec $\Gamma = \Phi I$ (la valeur de Φ est celle déterminée en II.2.).
- Vérifier la pertinence du modèle en déterminant les valeurs de Φ et R_{moyen} à partir de cette caractéristique.

III. Mesure du rendement du moteur par la méthode des pertes séparées**1. Analyse des pertes****S'approprier**

Les pertes dans une machine à courant continu sont celles que l'on observe dans tout convertisseur électromécanique mettant en jeu des bobines et un circuit ferromagnétique :

- pertes cuivre dans les bobinages parcourus par des courants;
- pertes fer dans le circuit magnétique (pertes par hystérésis et pertes par courant de Foucault);
- pertes mécaniques par frottement.

Notations utilisées :

P_a : puissance fournie par l'alimentation;

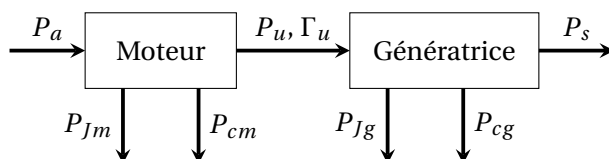
P_J : puissance dissipée par effet Joule dans les bobines (pertes cuivre);

$P_c = P_{fer} + P_{méca}$: pertes collectives;

P_u : puissance utile, en sortie du moteur.

Les deux machines étant mécaniquement couplées, il n'est pas possible de dissocier les pertes complémentaires P_{cm} du moteur et P_{cg} de la génératrice; les machines étant identiques, $P_{cm} = P_{cg}$.

Ces informations sont regroupées sur le schéma ci-dessous.



Le rendement du moteur est défini par : $\eta = \frac{P_u}{P_a}$.

2. Essai à vide : mesure de P_{cm}

La génératrice est en sortie ouverte : $P_{Jg} = 0$ et $P_s = 0$.

Alors $P_s = P_{Jm} + P_{cm} + P_{cg}$, puis $P_{cm} = P_{cg} = \frac{P_s - P_{Jm}}{2}$.

**Réaliser**

Pour des fréquences de rotation f variant de 10 Hz en 10 Hz, relever U et I ; calculer $P_a = UI$ et $P_{Jm} = RI^2$ (on utilisera la valeur de R_{moyen} déterminée en II.3.).

**Valider**

En déduire les pertes complémentaires P_{cm} dans la moteur. Ces dernières sont modélisées par un couple de pertes $\Gamma_{cm} = P_{cm}/\Omega$.

Laquelle des deux grandeurs, Γ_{cm} ou P_{cm} , semble indépendante de la vitesse?

Estimer une valeur moyenne qui servira dans les calculs suivants.

3. Essai en charge : détermination du rendement**Réaliser**

Le rendement est déterminé à vitesse constante. Nous choisissons $f = 70$ Hz. La génératrice est fermée sur le rhéostat dont on diminue progressivement la résistance. Il faut donc ajuster la tension d'alimentation à chaque mesure pour obtenir cette vitesse.

**Valider**

- Relever la tension U et l'intensité I . Faire environ 6 mesures.
- Calculer la puissance utile $P_u = P_s - P_{Jm} - P_{cm} = UI - RI^2 - \Omega\Gamma_{cm}$.
- Calculer le rendement $\eta = P_u/P_a$ et le couple utile $\Gamma_u = P_u/\Omega$.

LE HACHEUR

Un hacheur simple est constitué d'un interrupteur électronique commandé (transistor) associé à une diode (« de roue libre »).

L'objectif est d'une part de construire le circuit de commande de l'interrupteur électronique commandé et d'autre part d'alimenter un moteur à courant continu par l'intermédiaire du convertisseur ainsi réalisé.



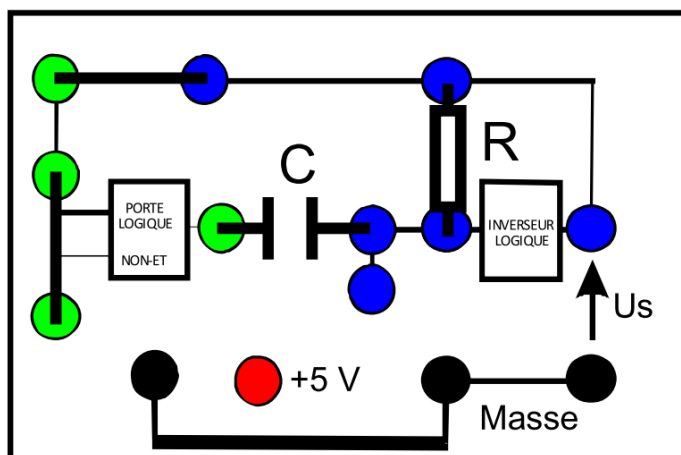
S'approprier

Expliquer le principe du hacheur dans l'alimentation et le contrôle d'un moteur. Comment une tension discontinue peut-elle alimenter un moteur à courant continu ?

I. Le circuit de commande de l'interrupteur électronique commandé

Un multivibrateur astable, réalisé à partir de portes logiques (cf. TP Oscillateur à portes logiques et figure ci-contre), permet d'obtenir une tension périodique en créneaux.

Le remplacement de la résistance R par un montage à diodes permet de faire varier le rapport cyclique de cette tension.



1. Le multivibrateur astable



Réaliser

Utiliser la maquette constituée de la porte logique NON - ET et de l'inverseur logique. Les deux entrées de la porte NON - ET sont reliées entre elles par un cavalier. Un autre cavalier relie cette entrée commune à la sortie de l'inverseur logique. Le circuit doit être alimenté : tension (0, +15 V) fournie par l'« alimentation ALI ».

Placer la résistance $R = 10\text{k}\Omega$ et le condensateur comme indiqué sur le schéma ci-dessus ; on dispose de trois condensateurs : $C = 47\text{nF}$, $C = 100\text{nF}$ et $C = 470\text{nF}$.



Valider

Observer la tension de sortie u_s à l'oscilloscope. Mesurer sa période T et sa fréquence f . Vérifier, dans les trois cas que la période est $T = 2RC \ln 3$ (cf. TP Oscillateur à portes logiques).

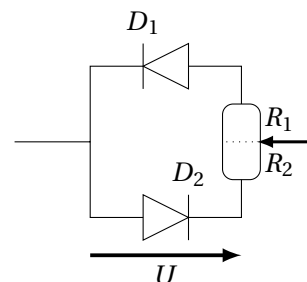
⚠ Attention, il peut être difficile de stabiliser le signal observé à cause de la présence de pics parasites lors des basculements des inverseurs logiques : régler le niveau de synchronisation (curseur « level » du bloc « trigger » de l'oscilloscope) au-dessus du niveau supérieur de la tension, de manière à synchroniser sur les pics parasites ! Sinon utiliser la fonction « stop » en veillant à la cohérence de la valeur de la période affichée.

2. Le rapport cyclique réglable

La résistance R est remplacée par le dipôle ci-contre. Le potentiomètre a une résistance totale $R = 5\text{k}\Omega$, alors $R_1 = xR$ et $R_2 = (1 - x)R$ où x , variant dans l'intervalle $]0; 1[$, est défini par la position du curseur. D_1 et D_2 sont des diodes (LED).

Pour $U > 0$, D_2 est bloquée, la résistance du dipôle est $R_1 = xR$.

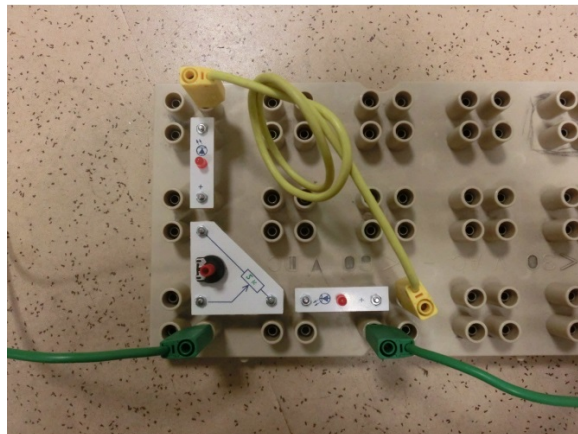
Pour $U < 0$, D_1 est bloquée, la résistance du dipôle est $R_2 = (1 - x)R$.



Ainsi, la première phase de la période dure $\alpha T = xRC \ln 3$ et la seconde phase $(1 - \alpha)T = (1 - x)RC \ln 3$.

Dans la pratique, une résistance de $1\text{ k}\Omega$ est placée en série avec chaque diode.

Le montage est réalisé en plaçant le potentiomètre dans un coin de la plaque de connexion (cf. photo ci-contre). Noter, au bas de la photo, les deux fils qui doivent être reliés aux bornes de la maquette où était branchée la résistance R .



Réaliser Choisir $C = 470\text{ nF}$. Observer la tension de sortie u_s à l'oscilloscope. Mesurer sa période T et sa fréquence f . Régler la position du potentiomètre de manière à obtenir un rapport cyclique $\alpha = 0,7$.

II. Alimentation du moteur à courant continu à travers le hacheur

1. Le hacheur

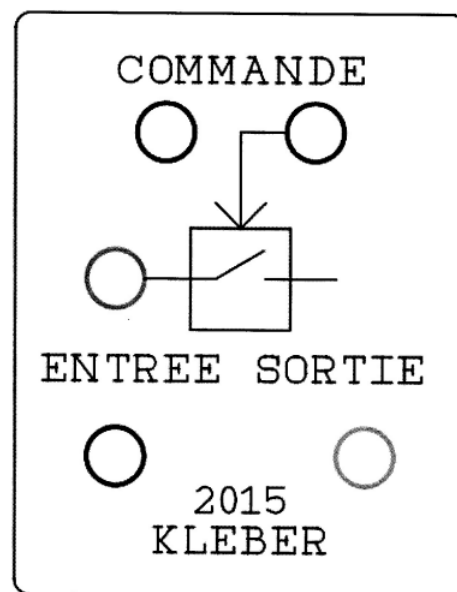
Il est contenu dans un boîtier en aluminium brossé qui sert de dissipateur de chaleur.

La tension de commande u_s obtenue précédemment est appliquée aux deux bornes supérieures (noire et bleue).

La tension continue $U = 12\text{ V}$, fournie par une alimentation stabilisée, est appliquée aux bornes de droite (rouge et noire).

La tension « hachée » est disponible entre les bornes de gauche (jaune et grise).

⚠ Le hacheur ne fonctionne pas lorsque la borne grise est reliée à une borne noire (dans ce cas, la tension disponible est égale à la tension d'entrée $U = 12\text{ V}$)!

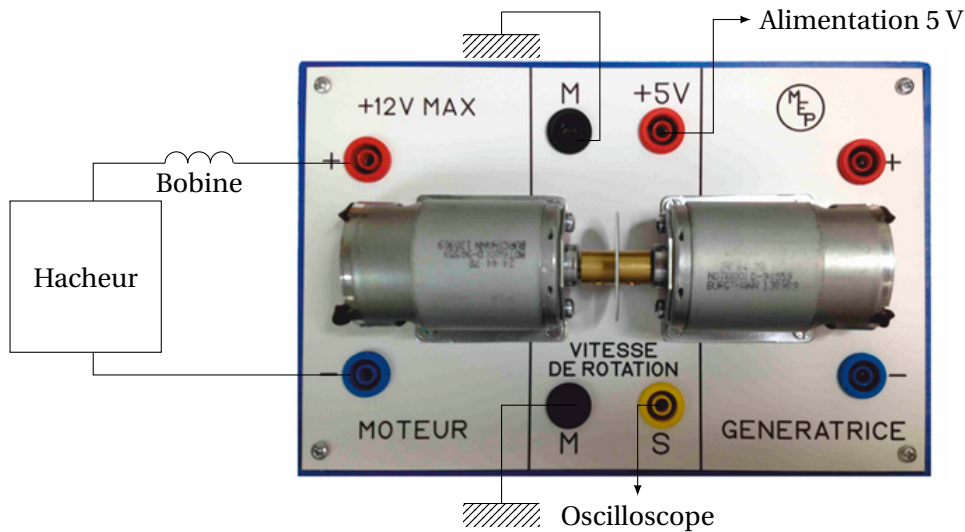


Réaliser Observer la tension hachée (bornes jaune et grise) à l'oscilloscope. Faire varier le rapport cyclique. hacheur bobine.

⚠ Il n'est alors possible d'observer aucun signal sur l'autre voie de l'oscilloscope dont la masse serait reliée à l'une des bornes noires du hacheur.

2. Commande du moteur à courant continu

On choisit la fréquence de hachage la plus faible ($C = 470 \text{ nF}$). On étudie la vitesse de rotation ω du moteur à vide (génératrice en sortie ouverte) en fonction de la valeur du rapport cyclique α .



Une bobine de 1000 tours munie d'un noyau de fer doux est associée en série avec l'induit du moteur à courant continu. L'ensemble est alimenté par le hacheur.



Analyser Expliquer le rôle de cette bobine.



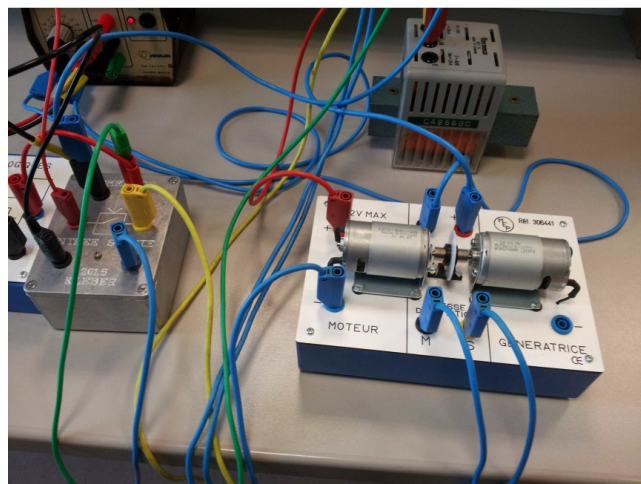
Réaliser La mesure de la vitesse nécessite l'alimentation du bloc « vitesse de rotation » : régler l'alimentation variable (type « alimentation ALI ») sur 5 V et l'appliquer.
Pour une dizaine de valeurs de α comprises entre 0,25 et 0,85, mesurer α sur la voie 1 de l'oscilloscope à laquelle est appliquée la tension de commande de l'interrupteur, u_s , ainsi que la fréquence de rotation de la machine sur la voie 2.

⚠ Les deux signaux observés n'ont pas la même fréquence : il convient de les stabiliser séparément, voire d'utiliser des échelles des temps différentes pour les deux signaux et de toujours vérifier la cohérence des mesures affichées sur l'écran de l'oscilloscope en les confrontant à l'observation directe des oscillogrammes.



Valider Construire la courbe $\omega(\alpha)$.

Sachant que la constante électromécanique de la machine est $\Phi = 19 \text{ mWb}$, étudier la f.é.m. $E(\alpha)$. Commenter.



LA CORROSION



S'approprier

Il s'agit d'illustrer la méthode classique de protection cathodique du fer contre la corrosion. Le fer à protéger est électriquement lié à une anode de zinc qui, s'oxydant à sa place, le protège de la corrosion. À partir des relevés expérimentaux, on trace les courbes $i = f(E)$, en distinguant les zones anodiques et cathodiques. On mesure le potentiel mixte du système Fe/Zn. On détermine le courant de corrosion et la masse de zinc consommée.

I. Manipulation



Réaliser

Verser, dans un bécher de forme haute, reposant sur un agitateur magnétique, 100 mL d'une solution de chlorure de sodium à 3 %, acidifiée par de l'acide chlorhydrique, jusqu'à pH 2 ou 3 (de 10 à 20 gouttes d'acide chlorhydrique $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, à la pipette Pasteur).

Y tremper une lame de zinc et une lame de fer, et les placer parallèlement l'une à l'autre, à faible distance (de l'ordre du centimètre), afin de minimiser la résistance de la portion d'électrolyte inter - électrodes.



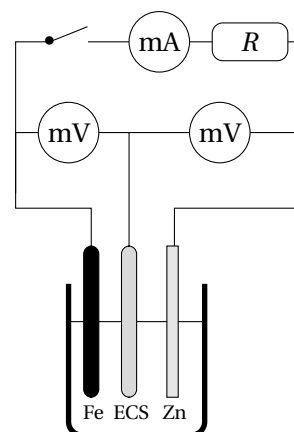
Réaliser

- Le circuit électrique est fermé sur un milliampère-mètre et une résistance R réglable de 0 à 10 k Ω .

- Introduire dans la solution, entre les lames métalliques, l'extrémité d'une électrode de référence ECS.

- Pour chaque valeur de la résistance R , mesurer l'intensité i du courant circulant dans le circuit et les valeurs ΔE des tensions existant entre les électrodes et la référence. La première mesure sera faite en circuit ouvert (résistance infinie), puis on fera une vingtaine de mesures en faisant décroître R de 1000 à 10 Ω environ.

- Il est ainsi possible d'obtenir une partie de la courbe courant-potential anodique du zinc et de la courbe courant-potential cathodique du fer.



II. Travail demandé



Analyser

- Observer l'aspect des électrodes au cours de la mesure.

- Consigner dans un tableau les valeurs données par les multimètres : i , ΔE_{Fe} et ΔE_{Zn} .

- Tracer, sur un même graphique, la courbe donnant le potentiel de l'électrode de fer E_{Fe} et la courbe donnant le potentiel de l'électrode de zinc E_{Zn} en fonction de l'intensité i .



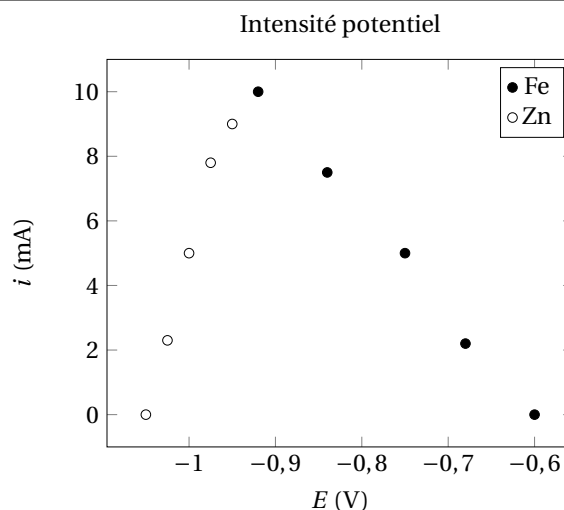
Valider

- Par extrapolation, déterminer le courant et le potentiel de corrosion, i_{corr} et E_{corr} , lorsque le fer et le zinc sont en contact direct (court-circuit).

- Par une analyse thermodynamique, déterminer la réaction anodique et la réaction cathodique, puis l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction de la pile étudiée.

- Déterminer la masse de zinc consommée par cette réaction, pendant une heure. Conclusion ?

On donne $M_{\text{Zn}} = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.



REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE

Le redressement consiste à transformer un signal alternatif en un signal de signe constant; le redressement double alternance est réalisé grâce à un pont de diodes.

I. Redressement monoalternance

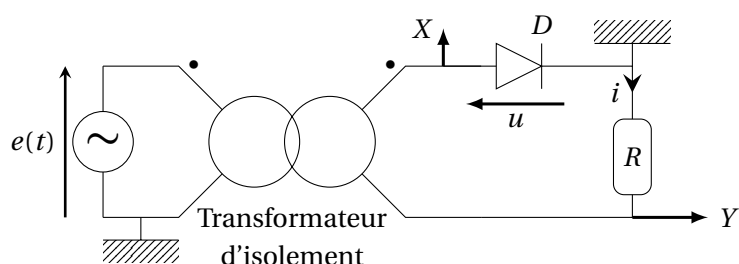
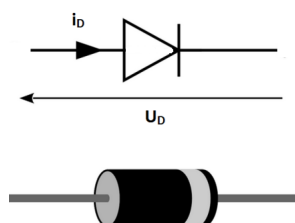
1. Caractéristique d'une diode

La diode à jonction est le plus simple des dipôles à semi-conducteur (voir approche documentaire sur les semi-conducteurs). C'est un dipôle passif non symétrique : repérer sur le composant la bague permettant d'identifier les deux pôles d'une diode.



La caractéristique de la diode D est tracée directement à l'oscilloscope selon le montage dont le schéma figure ci-dessous.

La tension d'alimentation $e(t)$ est fournie par un GBF (amplitude d'environ 5 V et fréquence 100 Hz); R est une boîte AOIP $\times 10\Omega$.



Analyser Justifier la nécessité de l'utilisation du transformateur d'isolement.

Préciser les rôles de la résistance $R = 100\Omega$. Exprimer la tension X en fonction de u et la tension Y en fonction de i .

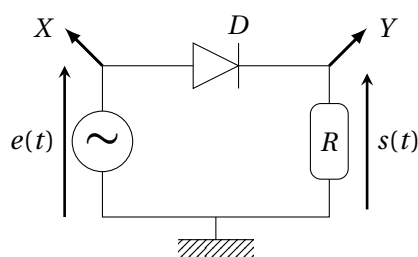


Valider À partir de l'oscillogramme obtenu, tracer la caractéristique $i = f(u)$ de la diode ne graduant les axes avec précision. En déduire qu'une diode idéale est caractérisée par un état bloqué ($i = 0, u < 0$) et un état passant ($u = 0, i > 0$).

2. Redressement monoalternance



Réaliser Réaliser le circuit ci-contre avec $R = 100\Omega$ (boîte AOIP $\times 10\Omega$).



Valider Comparer le signal de sortie au signal d'entrée et justifier l'expression « redressement monoalternance ».

Comment le caractère non idéal de la diode apparaît-il ?

Que se passe-t-il si l'on ajoute en parallèle avec R un condensateur de grande capacité ($C \geq 100 \mu\text{F}$) ?

⚠ Attention à bien respecter la polarité des condensateurs chimiques (borne – à la masse) !

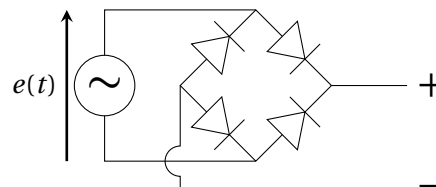
Définir et mesurer le taux d'ondulation du signal alors obtenu.

II. Redressement double alternance par pont de diodes

1. Redressement

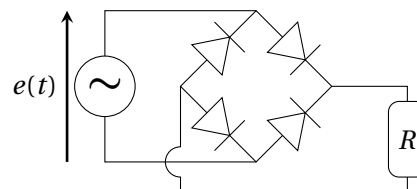
Un pont de diodes, appelé pont de Graetz, est un composant dont la structure interne est schématisée ci-contre.

Analyser Représenter, sur le schéma, le sens de circulation du courant pour la demi-alternance positive (tension sinusoïdale d'alimentation $e(t) > 0$) puis, d'une autre couleur, le sens de circulation du courant pour la demi-alternance négative (tension sinusoïdale d'alimentation $e(t) < 0$).



Réaliser Alimenter le pont redresseur à l'aide d'un transformateur (6 V, 50 Hz), en étant vigilant sur le sens de branchement du pont de diodes.

⚠ Ne mettre en marche l'alimentation qu'après avoir vérifié que la résistance R (boîte AOIP $\times 10 \Omega$) a bien été réglée à 100Ω !



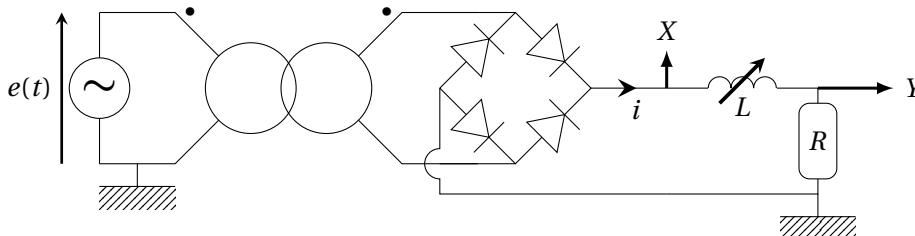
Valider Observer la tension d'entrée $e(t)$ et la tension de sortie $s(t)$ à l'oscilloscope. Est-il possible de les observer simultanément ? Pourquoi ?

Comparer au résultat obtenu en I.2. et justifier l'expression « redressement double alternance ».

2. Lissage



Réaliser Alimenter le pont redresseur à l'aide d'un transformateur (6 V, 50 Hz). La charge du pont est constituée d'une bobine d'inductance réglable (par déplacement d'un noyau ferromagnétique) en série avec une résistance R (AOIP $\times 1 \Omega$).



Valider Observer à l'oscilloscope la tension de sortie du pont ainsi que le courant qu'il débite $i = Y/R$.

Pour quelle valeur de l'inductance, le courant se rapproche-t-il le plus d'un courant continu ?

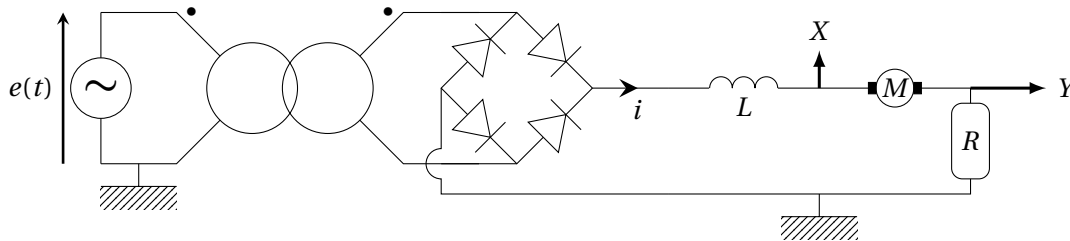
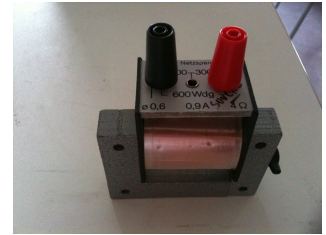
Mesurer, dans ces conditions, le taux d'ondulation du courant.

3. Alimentation d'un moteur à courant continu



Réaliser

- Placer, en série, à la sortie du pont :
- une bobine de 300 spires enroulée autour du circuit magnétique utilisé lors du TP transformateur;
 - un moteur à courant continu;
 - une résistance $R = 10\Omega$ ($AOIP \times 1\Omega$).



Observer la rotation du moteur.

Mesurer, à l'oscilloscope, la tension moyenne U_M à ses bornes ainsi que la valeur moyenne I du courant le traversant (la mesure de U_M nécessite une modification du montage).

CÂBLE COAXIAL

⚠ Les connexions BNC doivent être bien « vissées ». Ne forcez pas les pas de vis et ne tordez pas les câbles. Ne laissez pas « pendre » les raccords.

Câble coaxial

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques concentriques de même axe de révolution noté par la suite Oz . Entre ces deux conducteurs, il y a un isolant. Il existe une différence de potentiel $V(z, t)$ entre deux points de ces deux cylindres, et on s'intéresse à la propagation de cette onde de tension le long du câble.



S'approprier Quelle est l'équation régissant la propagation des champs électriques et magnétiques?

I. Propagation



Réaliser On mesure, à l'oscilloscope, la tension entre les deux armatures du câble à l'origine du câble (en $z = 0$).

Utiliser un signal carré de fréquence élevée (de l'ordre de 100 kHz).

Laisser l'extrémité du câble « ouverte ». Observer le signal à l'entrée du câble : il est constitué de l'onde incidente, puis au bout d'un certain temps τ , de la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie.



Valider Représenter le signal observé et interpréter.
Déterminer la célérité c de l'onde dans le câble. (La longueur du câble est indiquée sur celui-ci).
Placer un court-circuit à l'extrémité du câble. Observer l'onde réfléchie. Commenter.



Analyser Un des câbles a une longueur inconnue. Comment la déterminer?
Que se passe-t-il pour $f > 100\text{ kHz}$?

II. Adaptation d'impédance



Faire preuve d'initiative Pour éviter toute réflexion, il faut placer à l'extrémité du câble une impédance adaptée, égale à l'impédance caractéristique du câble. Déterminer expérimentalement cette impédance à l'aide de boîtes AOIP.

III. Observation à l'extrémité du câble et atténuation



Réaliser Envoyer un signal sinusoïdal de fréquence 1 MHz dans le câble.



Valider Observer simultanément les signaux à l'entrée et à l'extrémité du câble (branché en sortie sur l'impédance caractéristique avec un adaptateur en forme de T).
Représenter les signaux observés et interpréter.
Recommencer en envoyant un signal carré, observer et interpréter.



Faire preuve d'initiative Proposer un protocole expérimental pour étudier l'atténuation de l'onde lors de la propagation dans le câble. Mesurer cette atténuation.