

République Algérienne démocratique et populaire

**Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Faculté des Sciences appliquées
Département des Sciences et technologie**



**Polycopié de travaux pratiques
Electricité (L.M.D)**

Expertisé par :

Pr : Guemou M'hamed

Dr : Okbi Farid

Dr : BENDJEMAI MOHAMMED

Année universitaire : 2024 /2025

Préface

Ce polycopié a été rédigé conformément au programme du cursus (L.M.D), essentiellement destiné aux étudiants de la première année LMD et Ingénieurs de la faculté des sciences appliquées, département des sciences et technologie. Il est enseigné au deuxième semestre en raison d'une séance d'une heure et demi par semaine. L'objectif de ces travaux pratiques est d'initier les étudiants de la première année sciences et technologie aux différentes techniques de mesures des grandeurs électriques et les familiariser à l'utilisation des appareils de mesure analogiques et numériques. Ce polycopié est composé de cinq chapitres dans l'ordre suivant :

- Présentation des instruments et outils de mesure (voltmètre, ampèremètre, rhéostat, oscilloscope, générateur,....)
- Chapitre 01 : lois de kirchhoff (loi des mailles et loi des nœuds).
- Chapitre 02 : Théorème de Thévenin.
- Chapitre 03 : Association et mesure des inductances et capacités.
- Chapitre 04 : Charge et décharge d'un condensateur.
- Chapitre 05 : L'oscilloscope cathodique.

Enfin, cette contribution quelque peu concise est toujours sujette à la critique que ce soit de la part des étudiants ou des collègues enseignants.

e-mail : bendjemai47@gmail.com

Table des matières

1	GÉNÉRALITÉS SUR LES APPAREILS DE MESURE	8
1.1	Objectif des travaux pratiques	8
1.2	Classification des appareils de mesure électrique :	8
1.2.1	Appareils magnétoélectriques :	8
1.2.2	Appareils électrodynamiques :	9
1.2.3	Appareils à aimant mobile :	9
1.2.4	Appareils à induction :	9
1.2.5	Appareils électrostatiques :	9
1.2.6	Appareils à lames vibrantes :	9
1.2.7	Appareils thermiques à fil chaud :	10
1.3	Qualités des appareils de mesure :	10
1.3.1	la fidélité :	10
1.3.2	la sensibilité :	11
1.3.3	la justesse :	12
1.3.4	la robustesse :	12
1.3.5	le temps de réponse :	12
1.3.6	le calibre :	12
1.3.7	la classe :	12
1.4	Les appareils de mesure :	13

1.4.1	le Voltmètre :	13
1.4.2	L'ampèremètre :	13
1.4.3	L'ohmmètre :	14
1.4.4	Le multimètre :	15
1.4.5	L'oscilloscope :	16
2	TP 02 : Les lois de Kirchhoff	18
2.0.6	Vérification des lois de Kirchhoff	18
3	TP 03 : Théorème de Thévenin	20
4	TP 04 : Association et mesure des inductances et capacités	23
4.1	Rappel théorique :	23
4.1.1	Modèles du dipôle inductif :	23
4.1.2	Dipôle capacitif :	25
4.1.3	Détermination de l'impédance d'une bobine par la méthode volt-ampèremétrique :	26
4.1.4	Détermination de l'impédance d'un condensateur par la méthode volt-ampèremétrique :	27
4.2	Manipulations N°1 : Mesure de l'impédance d'une bobine par la méthode volt-ampèremétrique.	28
4.2.1	Objectifs :	28
4.2.2	Matériel nécessaire :	28
4.3	Manipulation N°2 : Mesure de la capacité d'un condensateur par la méthode volt-ampèremétrique.	29
5	TP 05 : Charge et décharge d'un condensateur	31
5.1	Objectifs :	31
5.2	Rappels théoriques :	31
5.2.1	charge d'un condensateur :	31

5.2.2	Décharge d'un condensateur :	32
5.2.3	Manipulation :	33
6	TP 06 : L'oscilloscope cathodique	35
6.1	Objectifs :	35
6.2	Principe de fonctionnement de l'oscilloscope :	35
6.3	Manipulation :	37
6.3.1	Étude d'un signal sinusoïdale :	37

Table des figures

1.1	Schéma de branchement du voltmètre.	13
1.2	Schéma de branchement de l'ampèremètre.	14
1.3	Schéma de branchement de l'Ohmmètre.	14
1.4	utilisation du multimètre en trois modes.	15
1.5	Schéma de l'oscilloscope.	16
1.6	Signal sinusoïdal et carré.	17
1.7	Signal triangulaire.	17
2.1	lois de Kirchhoff.	18
2.2	Schéma montage des éléments du circuit	19
3.1	Circuit modèle	20
3.2	d.d.p E_{th}	21
3.3	Résistance de Thévenin	21
3.4	Circuit équivalent Thévenin de la figure	22
4.1	Modèle série d'une bobine réelle.	23
4.2	Diagramme de Fresnel pour le modèle série d'une bobine.	24
4.3	Modèle parallèle d'une bobine réelle.	24
4.4	Les modèles d'un condensateur réel.	25
4.5	Diagramme de Fresnel pour le modèle série d'un dipôle capacitif.	26

4.6	Mesure de l'impédance d'une bobine.	26
4.7	Mesure de l'impédance d'un condensateur en base fréquence.	27
4.8	Schéma de montage en alternatif (à gauche) et continu (à droite)	28
5.1	Circuit RC	31
5.2	branchement du voltmètre en parallèle avec le condensateur	33
6.1	Principe de l'oscilloscope.	37
6.2	Forme du signal appliqué à V_x pour la base de temps.	37
6.3	Schéma du montage de mesure d'une tension sinusoïdale.	38
6.4	Schéma du montage de mesure de déphasage.	39

Liste des tableaux

3.1	Valeurs de E_{th} (V) et R_{th} (Ω)	22
4.1	détermination de R_s	29
4.2	détermination de X_s et L_s	29
4.3	détermination de la capacité C_x	30
5.1	Les valeurs de V_c charge	33
5.2	Les valeurs de V_c décharge	34
6.1	Mesures de tensions.	38
6.2	Mesures de fréquences.	38
6.3	Mesure de déphasage.	39

Chapitre 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES APPAREILS DE MESURE

1.1 Objectif des travaux pratiques

la physique est la science qui détermine les lois auxquelles obéissent les phénomènes de la nature. L'enseignement universitaire est par essence formé d'un cours, de travaux dirigés et de travaux pratiques. le cours traite la partie fondamentale qui explique théoriquement les phénomènes physiques en question. les travaux dirigés traitent sous forme d'exercices et de problèmes ce qui a été vu en cours. les travaux pratiques réalisent ce qui a été enseigné en cours sous forme d'expérience de certains phénomènes accessibles expérimentalement.

1.2 Classification des appareils de mesure électrique :

Dans ce chapitre, nous allons étudier les appareils de mesures électriques à aiguilles, dont l'action est directe entre l'application de la grandeur physique à mesurer et l'indication du résultat souhaité. Pour cela, on doit procéder à la classification des appareils de mesure. Nous donnons ensuite une description succincte pour l'ensemble de ces appareils.

1.2.1 Appareils magnétoélectriques :

Ces appareils utilisent le principe de l'action exercée par un aimant permanent sur un courant électrique. Ce principe de base est schématisé par un symbole représentant un

aimant en forme de U inversé et un rectangle pour représenter le cadre moteur.

1.2.2 Appareils électrodynamiques :

Le fonctionnement de ces appareils repose sur l'action exercée par un courant électrique sur un autre courant électrique. Il existe aussi, plusieurs autres dérivées de ce type d'appareils qui utilisent le même principe de fonctionnement tels que les logo-mètre électrodynamiques et ferrodynamiques. D'une façon générale, tous ces appareils désignés par le terme logo-mètre sont des appareils à cadres croisés.

1.2.3 Appareils à aimant mobile :

Ils utilisent le résultat de l'action d'un courant électrique sur une aiguille aimantée. Dans certains cas, cette aiguille est remplacée par un fer qui s'aimante sous l'action d'un aimant permanent auxiliaire.

1.2.4 Appareils à induction :

Ces appareils utilisent le résultat de l'action exercée par des courants variables sur les courants induits dans une pièce conductrice mobile. Ce type d'appareils est surtout utilisé comme appareils intégrateurs (compteurs d'énergie) et rarement comme indicateurs (voltmètres, ampèremètres, etc...).

1.2.5 Appareils électrostatiques :

Ces appareils utilisent le résultat de l'action d'une force électrostatique exercée sur les armatures d'un condensateur. Leur symbole est schématisé par un condensateur où l'armature mobile est munie d'une flèche placée de façon perpendiculaire.

1.2.6 Appareils à lames vibrantes :

Ils utilisent le résultat de l'action d'un champ magnétique obtenu par la superposition d'un champ constant et d'un champ variable parallèle, sur une plaque mince (membrane) ferromagnétique. Leur symbole est représenté par une lame verticale fixée à

l'horizontal où l'extrémité supérieure peut vibrer des deux côtés (vers la droite et vers la gauche).

1.2.7 Appareils thermiques à fil chaud :

Leur fonctionnement est basé aussi sur l'allongement d'un fil mince conducteur dû à l'effet Joule résultant du passage d'un courant électrique dans ce fil. Ils sont symbolisés par un fil horizontal tiré du milieu vers le bas.

1.3 Qualités des appareils de mesure :

1.3.1 la fidélité :

un appareil est fidèle si les résultats qu'il donne pour une même mesure sont reproductibles. Il y'a plusieurs raisons qui font qu'un appareil ne donne pas le même résultat pour une même mesure. Les principales causes sont les suivantes :

la température :

les propriétés des éléments qui constituent l'appareil varient en fonction de la température :

- les dimensions de ces éléments
- la résistivité des circuits électriques
- l'aimantation des aimants
- la perméabilité magnétique des circuits magnétiques
- la constante de torsion des fils et des ressorts
- etc...

Toutes ces propriétés varient en première approximation suivant une loi linéaire :

$$x = x_0(1 + kT)$$

T étant la température en degré Kelvin.

Perturbations dues aux champs extérieurs :

Pour éliminer l'influence des champs magnétiques (champ terrestre, champs créés par des aimants ou des courants électriques extérieurs), on utilise surtout dans les éléments moteurs électrodynamiques, des équipages astatiques. Lorsque ces champs magnétiques sont alternatifs on emploie des blindages ferromagnétiques. Dans le cas de champs électriques on utilise un blindage conducteur avec mise à la terre.

les frottements :

on réduit leur influence en améliorant la qualité des contacts entre les parties fixes et mobiles.

L'hystérésis :

l'appareil garde les traces des mesures précédentes, il en résulte une hystérésis dans les milieux magnétiques.

L'humidité :

l'humidité entraîne des pertes dans les diélectriques et risque d'endommager l'appareil.

La dérive en fonction du temps :

Toutefois, on peut considérer que la fidélité est rigoureuse lorsque les écarts sont inférieurs au seuil de perception de l'expérimentateur.

1.3.2 la sensibilité :

la sensibilité d'un appareil est définie par le rapport :

$$\sigma = \frac{d\alpha}{dx}$$

où $d\alpha$ est la variation élémentaire de l'indication de l'appareil correspondant à une variation dx de la grandeur à mesurer. C'est la capacité de l'appareil à déceler les petites variations de la grandeur à mesurer. Pour que cette grandeur soit mesurable, il faut que

la déviation qu'elle provoque soit nettement claire et détachable du bruit de fond qui l'accompagne.

1.3.3 la justesse :

La justesse ou la précision caractérise l'indication d'une valeur mesurée, la plus proche possible par rapport à la vraie valeur. un appareil peut ne pas être juste par suite d'un mauvais étalonnage, du vieillissement ou d'un choc. La justesse est nécessaire dans les cas des appareils absolus.

1.3.4 la robustesse :

C'est la capacité de pouvoir supporter les surcharges dues à des déviations maximales non destructives de l'aiguille. cette qualité est recherchée dans les appareils de chantiers.

1.3.5 le temps de réponse :

la rapidité d'indication d'un appareil n'est pas une qualité recherchée quand on mesure une grandeur physique qui ne varie pas dans le temps. Par contre elle doit être prise en considération dès qu'il s'agit de suivre l'évolution d'une grandeur qui varie rapidement en fonction du temps.

1.3.6 le calibre :

Il représente la plus forte valeur mesurable par l'appareil. La plupart des appareils possèdent plusieurs calibres. La gamme de mesure réalisée par l'appareil est alors définie par les deux calibres extrêmes (Calibre min) et (Calibre max).

1.3.7 la classe :

Elle traduit la précision de l'appareil . On peut distinguer différents types d'appareils selon leur classe :

- Appareils de calibrage ou étalons : leur indice de classe C est compris entre 0,05 à 0,1.

- Appareils de précision (de laboratoire) : leur indice de classe C est compris entre 0,2 à 0,5.
- Appareils de contrôle (de laboratoire) : leur indice de classe C est compris entre 1,0 à 1,5.
- Appareils indicateurs (grand publique) : leur indice de classe C est compris entre 2,5 à 5.

1.4 Les appareils de mesure :

1.4.1 le Voltmètre :

Le voltmètre mesure la différence de potentiel entre deux points quelconques, a et b, d'un circuit. Par conséquent il faut connecter une sonde à chacun de ces points et le voltmètre se retrouve ainsi placé en parallèle avec la branche du circuit située entre a et b. Le courant débité par la pile (Générateur) en arrivant en b, est dévié par le voltmètre. Pour que ce dernier ne perturbe pas le le circuit initial, il faut que sa résistance interne (R_V) soit grande par rapport à celle du circuit.

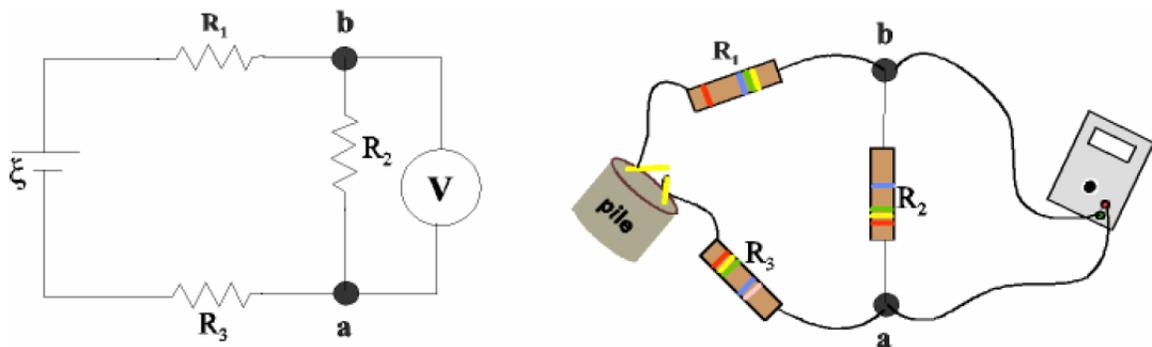


FIGURE 1.1 – Schéma de branchement du voltmètre.

1.4.2 L'ampèremètre :

Pour mesurer le courant dans un circuit, l'ampèremètre doit être placé en série dans la branche qui contient la charge pour que le courant traversant la charge soit le même dans toute la branche. L'ampèremètre offre une certaine résistance au passage du courant qui le traverse. La résistance du circuit s'en trouve augmentée et le courant qui y passe,

diminué. Pour minimiser cette perturbation due à l'ampèremètre, il est important que sa résistance interne soit petite par rapport à la résistance du circuit, en particulier, par rapport à la résistance de la branche dans laquelle il est introduit.

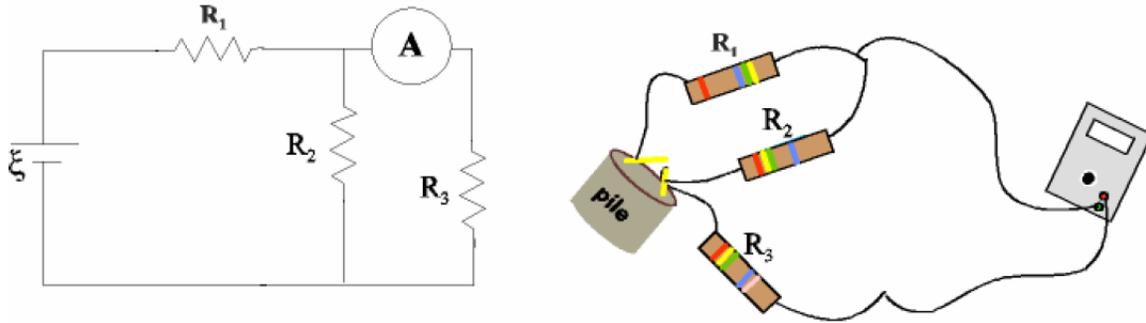


FIGURE 1.2 – Schéma de branchement de l'ampèremètre.

1.4.3 L'ohmmètre :

Le Voltmètre et l'Ampèremètre étant des composants passifs et donc n'envoient pas de courant dans le circuit, au contraire de l'Ohmmètre qui est un composant actif il contient une pile qui délivre un courant dans le circuit pour mesurer sa résistance. La figure ci-dessous montre une manière correcte d'effectuer la mesure de la résistance R_3 du circuit de la figure précédente. Remarquons que seul un des liens qui relie R_3 au reste du circuit a été rompu. On aurait pu rompre les deux mais ce n'est pas nécessaire : il suffit que la branche soit interrompue en un point pour que la pile ne fournisse plus de courant à R_3 .

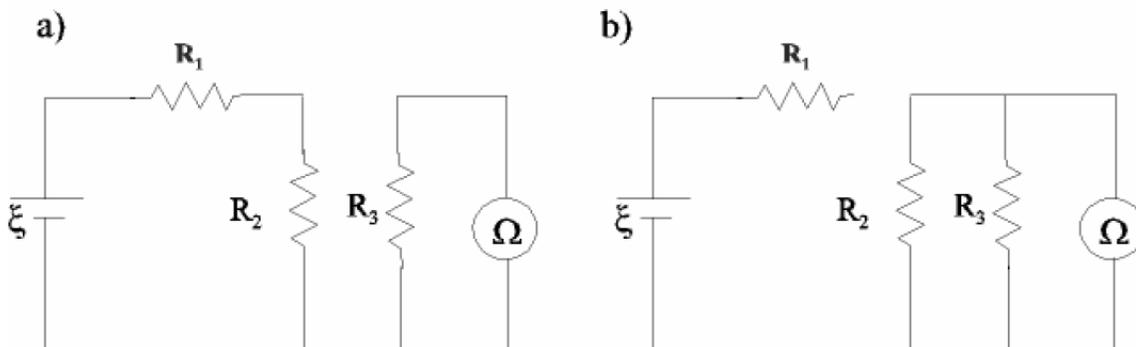


FIGURE 1.3 – Schéma de branchement de l'Ohmmètre.

1.4.4 Le multimètre :

En pratique, le plus souvent, les différents appareils décrits ci-dessus sont groupés dans un seul appareil appelé multimètre, qui peut être réglé pour être utilisé soit comme volt-mètre, soit comme ampèremètre, soit comme ohmmètre. De plus, différentes échelles de sensibilité peuvent être sélectionnées. Les appareils de mesures électriques à aiguille sont construits à partir d'un galvanomètre. L'aiguille du galvanomètre est déviée de manière proportionnelle au courant qui le traverse (figure 1.4). La valeur maximum de courant mesurable par le galvanomètre, I_{max} , est celle qui fait dévier l'aiguille à fond d'échelle. Un simple galvanomètre permet seulement de mesurer des courants de faible intensité, typiquement inférieurs à I_{max} .

Pour mesurer des courants d'intensité plus élevée et obtenir un ampèremètre on branche une résistance R , que l'on appelle "shunt" en parallèle avec le galvanomètre (figure 1.4.a). La valeur de R est choisie en fonction du courant maximum que l'on désire mesurer, en tenant compte de r , la résistance interne du galvanomètre.

Pour constituer un voltmètre à partir d'un galvanomètre, on place une résistance R en série avec ce dernier (voir figure 1.4.b).

Pour obtenir un ohmmètre, il faut mettre une pile de tension connue, V , en série avec le galvanomètre (voir figure 1.4.c).

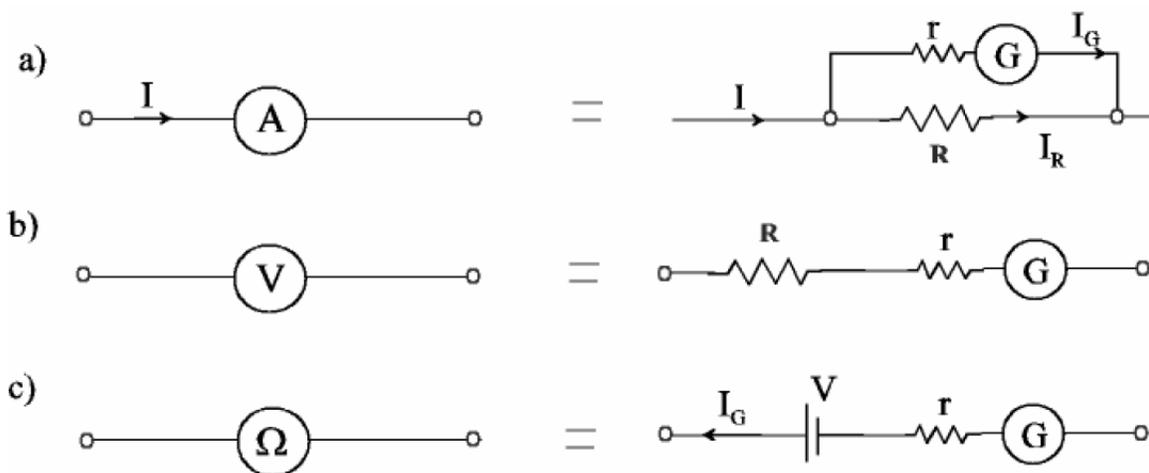


FIGURE 1.4 – utilisation du multimètre en trois modes.

1.4.5 L'oscilloscope :

L'oscilloscope est particulièrement adapté pour étudier les tensions alternatives dont il permet de mesurer non seulement l'amplitude mais aussi d'observer la forme de la variation dans le temps. L'oscilloscope comporte un tube à rayons cathodiques ou canon à électrons, placé dans un tube en verre dans lequel il y a le vide (figure 1.5). Les électrons sont émis par une cathode chauffée et accélérés par une forte tension appliquée à l'anode, percée d'un petit trou. Le faisceau d'électrons est envoyé sur un écran fluorescent où il laisse une trace visible ou spot. Avant d'atteindre l'écran, le faisceau d'électrons passe entre deux paires de plaques auxquelles on peut appliquer une différence de potentiel qui crée un champ électrique entre celles-ci. Par conséquent une force agit sur les électrons. Une paire de plaques est verticale et permet de dévier le faisceau horizontalement, l'autre est horizontale et permet de dévier le faisceau verticalement. En variant les tensions des plaques, le spot laissé par les électrons sur l'écran se déplace sur celui-ci et dessine une trajectoire qui peut être observée.

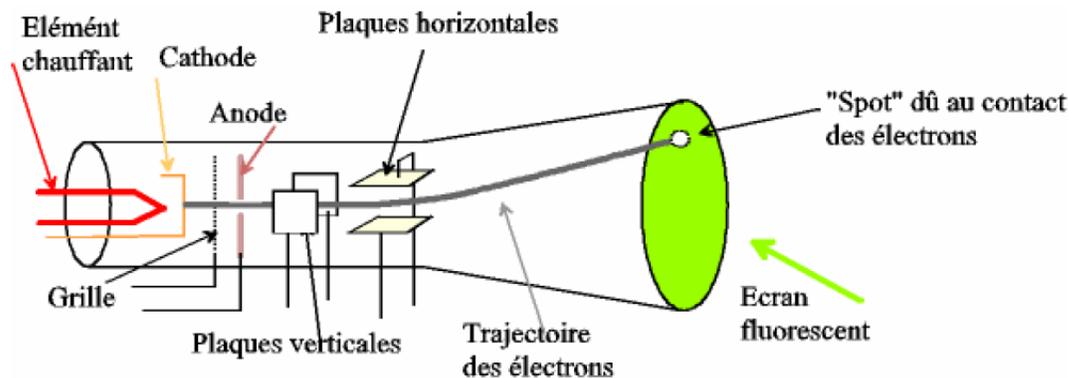


FIGURE 1.5 – Schéma de l'oscilloscope.

Le mode le plus courant d'utilisation de l'oscilloscope consiste à appliquer une tension dite de balayage aux plaques verticales. Celle-ci fait dévier le spot de gauche à droite, à vitesse constante et le fait revenir rapidement à gauche lorsqu'il atteint l'extrémité droite de l'écran. La différence de potentiel à observer est placée entre les plaques horizontales et fait dévier le spot verticalement. La combinaison des deux déviations permet d'observer à l'écran la variation de la tension en fonction du temps. La (figure 1.6) montre quelques exemples de variation dans le temps d'une différence de potentiel ainsi qu'elle peut être observée à l'écran d'un oscilloscope : tension sinusoïdale (a),

tension en créneaux (b) et tension en dents de scie (c). Un réticule calibré superposé à l'image du signal permet de faire des mesures d'amplitude et de période et donc de fréquence.

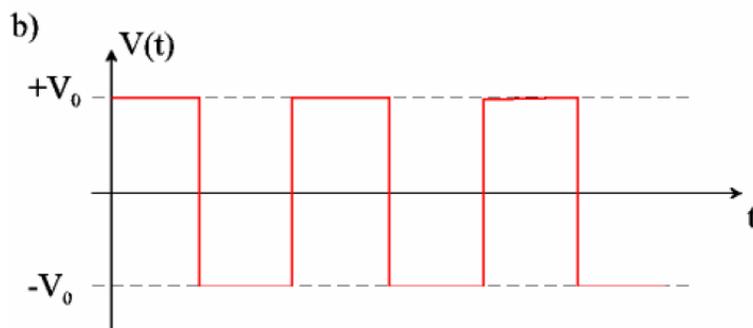
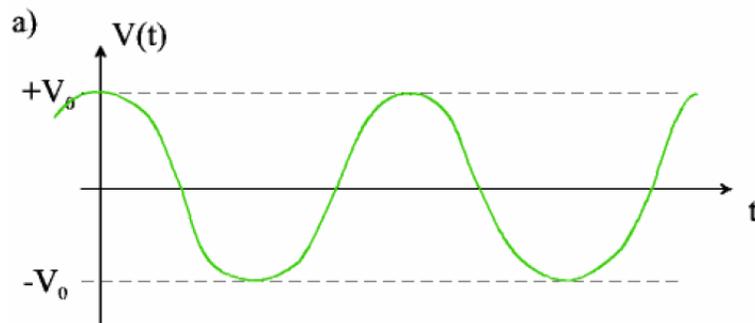


FIGURE 1.6 – Signal sinusoïdal et carré.

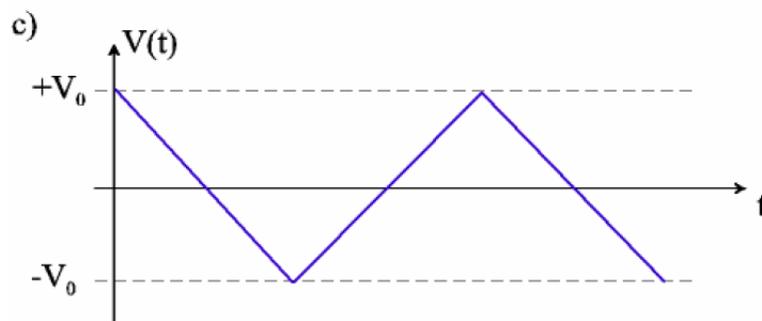


FIGURE 1.7 – Signal triangulaire.

Chapitre 2

TP 02 : Les lois de Kirchhoff

2.0.6 Vérification des lois de Kirchhoff

Étude théorique :

On considère le circuit de la figure ci-dessous :

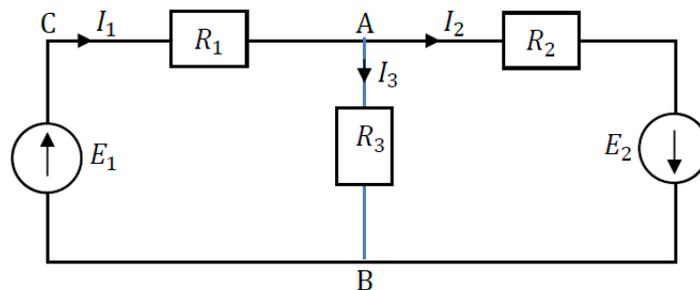


FIGURE 2.1 – lois de Kirchhoff.

- On appelle nœud, le point de rencontre de trois fils ou plus (exemple : les points A et B (Figure 2.1))
- On appelle branche une portion du circuit comprise entre deux nœuds consécutifs. (exemple : la branche AB contenant R_3 ou bien la branche AB contenant R_2 et E_2)
- On appelle maille une série de branches réalisant une boucle fermée (exemple : la maille ABCA).

Les lois de Kirchhoff :

- *Première loi de Kirchhoff : Loi des nœuds*

La somme des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la somme des intensités qui en sortent. Les intensités des courants sont des grandeurs algébriques (positives ou négatives). Sur la figure 2.1 est représenté le sens (choisi arbitrairement) des courants entrant ou sortant du nœud A. D'après la loi des nœuds, on a donc :

$$I_1 = I_2 + I_3$$

– **Deuxième loi de Kirchhoff : Loi des mailles**

La somme algébrique des différences de potentiel le long d'une maille est nulle. Dans notre exemple :

$$(V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_A) = 0 \implies R_3 I_3 - E_1 + R_1 I_1 = 0$$

Manipulation :

– Réaliser le circuit de la figure ci-dessous.

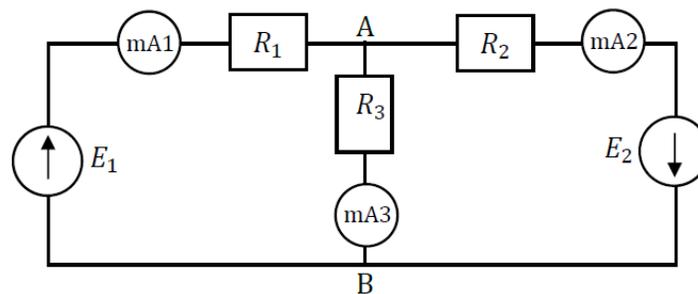


FIGURE 2.2 – Schéma montage des éléments du circuit

On donne les valeurs des résistances et des Générateurs comme suit :

$R_1 = 2.5k\Omega$; $R_2 = 1.2k\Omega$; $R_3 = 1.5k\Omega$ et $E_1 = E_2 = 12V$ avec R_1 , R_2 et R_3 sont constitués d'une association de 2 boites de résistance : X 100 et X 1000.

1. Mesurer les intensités des différents courants.
2. Schématiser le nœud A, en indiquant le sens et l'intensité des courants.
3. Vérifier la loi des nœuds.

Chapitre 3

TP 03 : Théorème de Thévenin

Le théorème de Thévenin est utilisé pour convertir une partie d'un réseau complexe en un dipôle plus simple. Notons que ce théorème repose sur le principe de superposition qui est valable pour les circuits linéaires.

Énoncé du théorème :

Un réseau électrique linéaire, vu de deux points, est équivalent à un générateur de tension parfait dont la force électromotrice est égale à la différence de potentiels à vide entre ces deux points, en série avec résistance égale à celle que l'on mesure entre les deux points lorsque les générateurs indépendants sont rendus passifs.

Principe :

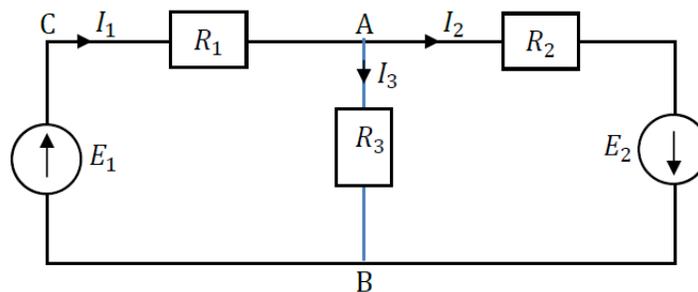


FIGURE 3.1 – Circuit modèle

On peut remplacer tout le circuit extérieur à une branche A-B (A-B contenant un dipôle D), par un générateur de tension idéal (de f.e.m E_{th}) en série avec une résistance R_{th} . Pour la détermination de E_{th} et R_{th} , on suit les étapes suivantes :

1. Isoler la branche concernée (débrancher D).
2. Déterminer la d.d.p entre A et B : Cette d.d.p est bien E_{th} .
3. Court-circuiter tous les générateurs de tension et évaluer la résistance équivalente entre A et B : Cette résistance est bien R_{th} .

Exemple :

En utilisant le théorème de thévenin, déterminer l'intensité du courant I_3 qui circule dans la branche AB du circuit de la figure 3.1

– On isole la branche AB, on obtient le circuit suivant :

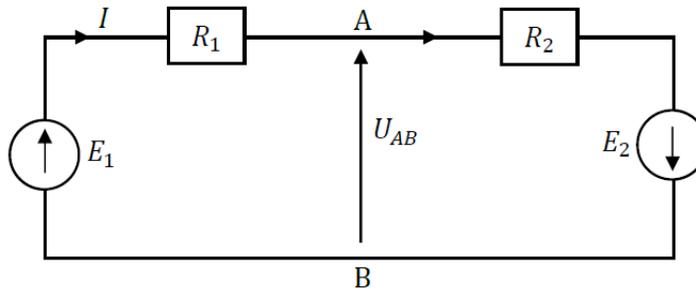


FIGURE 3.2 – d.d.p E_{th}

Dans lequel :

$$E_1 + E_2 = (R_1 + R_2) I \implies I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2}$$

$$E_{th} = V_A - V_B = E_1 - R_1 \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} \implies E_{th} = \frac{R_2 E_1 - R_1 E_2}{R_1 + R_2}$$

– On remplace les générateurs E_1 et E_2 par des court-circuits, on obtient alors le circuit suivant :

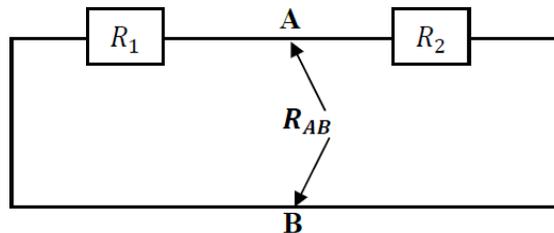


FIGURE 3.3 – Résistance de Thévenin

dans lequel $R_{th} = R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

– On réalise le montage suivant :

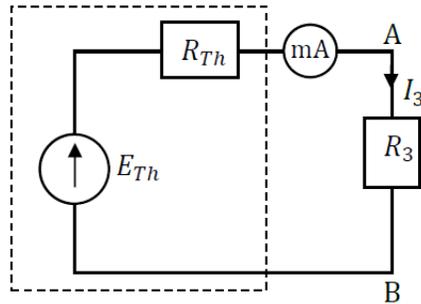


FIGURE 3.4 – Circuit équivalent Thévenin de la figure

$$I_3 = \frac{E_{th}}{R_{th} + R_3} = \frac{R_2 E_1 - R_1 E_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

– **Détermination de $E_{th} = U_{AB}$**

1. Débrancher R_3 et mesurer au voltmètre la ddp : $U_{AB} = V_A - V_B$
2. Comparer cette valeur avec la valeur calculable et conclure.

– **Détermination pratique de R_{th} :**

1. court-circuiter les 2 générateurs E_1 et E_2 .
2. En utilisant un Ohmmètre, déterminer la résistance R_{th} entre A et B.
3. Remplir le tableau suivant.

Paramètre	$E_{th} (V)$	$R_{th} (\Omega)$
Valeur expérimentale	(.....)	(.....)
Valeur théorique	(.....)	(.....)

TABLE 3.1 – Valeurs de $E_{th} (V)$ et $R_{th} (\Omega)$

– **Réalisation du générateur de Thévenin :**

1. Réaliser le circuit de la figure 3.1
2. Déterminer la valeur expérimentale du courant I_3 .

– **Calcul du courant I_3 .**

Calculer la valeur du courant I_3 :

1. A partir des valeurs mesurées. $I_3 = \frac{E_{th}}{R_{th} + R_3}$
2. A partir de la formule. $I_3 = \frac{R_2 E_1 - R_1 E_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$

Conclure.

Chapitre 4

TP 04 : Association et mesure des inductances et capacités

4.1 Rappel théorique :

Les dipôles sont modélisés essentiellement, en régime linéaire, par des associations d'éléments parfaits tels que les résistances pures, les inductances et les capacités. Les modèles équivalents sont de type série ou parallèle. En pratique la performance des dipôles dépend de la fréquence de la tension d'alimentation.

4.1.1 Modèles du dipôle inductif :

Modèle série d'une bobine réelle :

On modélise, en régime linéaire et en fréquence industrielle (50 Hz), une bobine réelle par une résistance R_s en série avec une bobine idéale d'inductance L_s .



FIGURE 4.1 – Modèle série d'une bobine réelle.

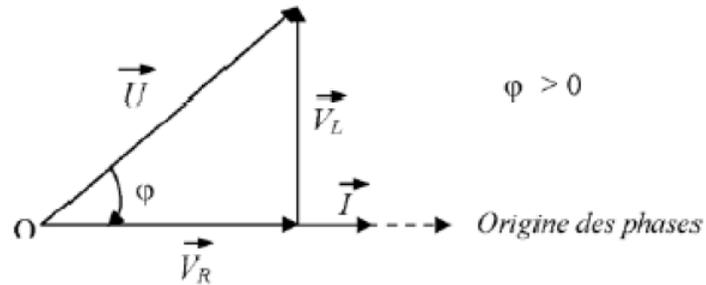
Représentation vectorielle :

FIGURE 4.2 – Diagramme de Fresnel pour le modèle série d'une bobine.

Impédance complexe :

$$Z = R_s + jL_s\omega = Ze^{j\varphi}$$

Module et argument :

$$Z = \sqrt{R_s^2 + (L_s\omega)^2} \rightarrow \varphi = \arctan\left(\frac{L_s\omega}{R_s}\right)$$

Le courant est en retard sur la tension d'où un angle de déphasage positif, plus la résistance R_s est faible, plus la bobine est inductive, plus le déphasage tendra vers 90° .

Modèle parallèle d'une bobine réelle :

On la modélise comme une association en parallèle d'une résistance R_p et d'une bobine idéale d'inductance L_p .

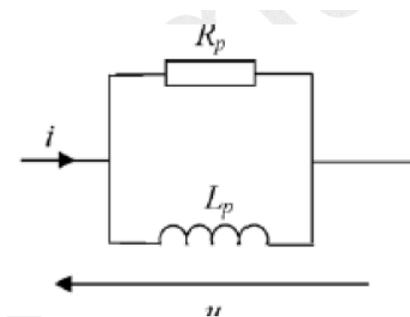


FIGURE 4.3 – Modèle parallèle d'une bobine réelle.

4.1.2 Dipôle capacitif :

Modèle parallèle d'un condensateur :

En pratique un condensateur chargé, c'est à dire présentant une tension non nulle entre ces bornes, en circuit ouvert il se décharge lentement (baisse de la tension entre ses bornes). Ce phénomène de décharge est dû au faible courant de fuite qui traverse le diélectrique du condensateur. Ce fait ne peut être expliqué en utilisant le modèle d'un condensateur parfait caractérisé par seule capacité. On modélise un condensateur réel par une association en parallèle d'une capacité C et d'une résistance de grande valeur R_f . Le courant qui circule dans la résistance modélise le phénomène de décharge du condensateur.

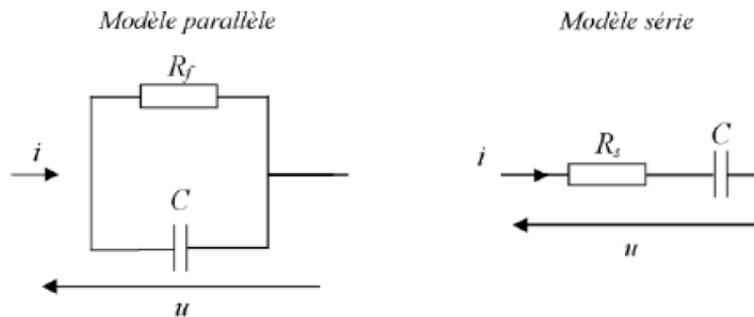


FIGURE 4.4 – Les modèles d'un condensateur réel.

Modèle série d'un condensateur réel :

Le modèle série d'un condensateur réel est une association en série de la capacité du condensateur avec une résistance R_s représentant les pertes par effet joule produites par le passage du courant dans le diélectrique situé entre les armatures du condensateur.

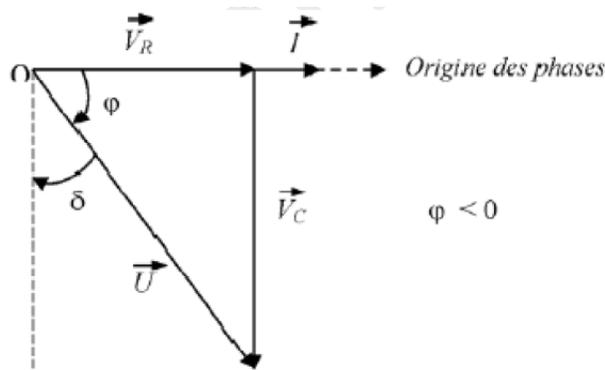


FIGURE 4.5 – Diagramme de Fresnel pour le modèle série d'un dipôle capacitif.

L'impédance complexe est donnée par :

$$Z = R_s + \frac{1}{jC\omega}$$

Le module et l'argument sont donnés par :

$$|Z| = \sqrt{R_s^2 + \frac{1}{(C\omega)^2}} \longrightarrow \varphi = -\arctan\left(\frac{1}{R_s C\omega}\right)$$

Le courant est en avance sur la tension d'où un angle de déphasage négatif. La résistance R_s étant très faible, le condensateur est fortement capacitif.

4.1.3 Détermination de l'impédance d'une bobine par la méthode volt-ampèremétrique :

Cette méthode repose sur la mesure de la tension aux bornes du dipôle et du courant le traversant, en appliquant une tension sinusoïdale puis une tension continue.

Mesure de l'impédance d'une bobine :

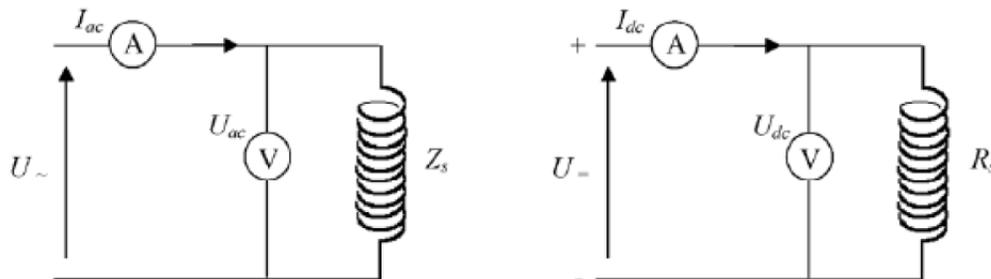


FIGURE 4.6 – Mesure de l'impédance d'une bobine.

La mesure en alternatif sinusoïdale est faite pour déterminer l'impédance de la bobine et la mesure en tension continue est faite pour déterminer sa résistance.

Les différents paramètres recherchés sont les suivants :

- Impédance réelle : $Z = \frac{U_{ac}}{I_{ac}}$
- Résistance : $R_s = \frac{U_{dc}}{I_{dc}}$
- Réactance : $X_s = \sqrt{Z^2 - R_s^2}$
- Inductance : $L_s = \frac{X_s}{2\pi f}$
- Déphasage : $\varphi = \arctan\left(\frac{X_s}{R_s}\right)$

4.1.4 Détermination de l'impédance d'un condensateur par la méthode volt-ampèremétrique :

Cette méthode permet de déterminer l'impédance d'un condensateur en basse fréquence et sa capacité, elle nécessite qu'une seule mesure en alternatif.

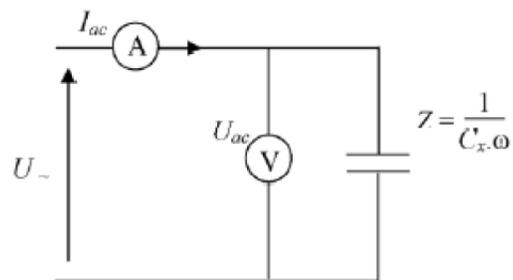


FIGURE 4.7 – Mesure de l'impédance d'un condensateur en base fréquence.

Les paramètres recherchés sont les suivants :

- Impédance réelle : $Z = \frac{U_{ac}}{I_{ac}}$
- Réactance : $X_s = Z$
- Capacité : $C_s = \frac{1}{Z2\pi f}$
- Déphasage : $\varphi = -90^\circ$

Il est à remarquer que cette méthode n'est pas applicable aux condensateurs polarisés.

4.2 Manipulations N°1 : Mesure de l'impédance d'une bobine par la méthode volt-ampèremétrique.

4.2.1 Objectifs :

Mesurer l'impédance et les différents paramètres de la bobine par la méthode volt-ampèremétrique.

4.2.2 Matériel nécessaire :

1. 01 Alimentation continue et sinusoïdale.
2. 01 Bobine de 250 spires.
3. 01 Boite de capacités variable.
4. 01 Boite de résistance variable (Rhéostat)
5. 01 Ampèremètre.
6. 01 Voltmètre.
7. Multimètre numérique.

Schéma du montage :

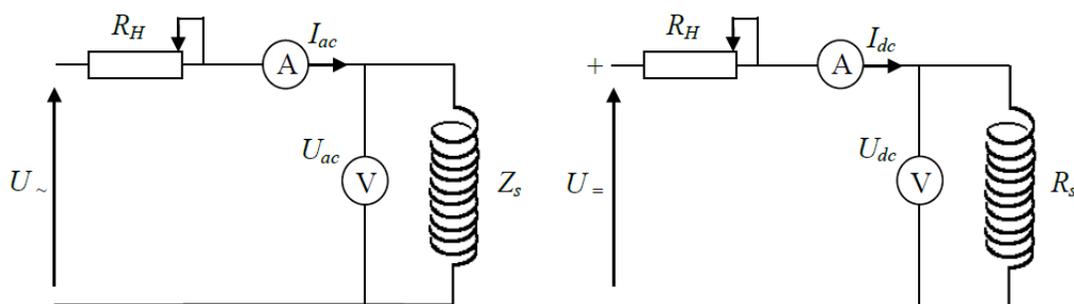


FIGURE 4.8 – Schéma de montage en alternatif (à gauche) et continu (à droite)

Mode opératoire :

– Mesure sous alimentation continue :

1. réaliser le montage et le faire vérifier par l'enseignant.
2. Régler la résistance R_H du rhéostat à la valeur maximale
3. Régler la tension d'alimentation sur 150 V.
4. Relever les indications des appareils de mesure.

– Mesure sous alimentation sinusoïdale :

Réaliser le montage de la figure à gauche correspondant à l'alimentation sinusoïdale, et faire le même travail que précédemment.

Tableau de mesure :

Compléter les tableaux de mesure suivant.

Alimentation continue :

U(V)	I(A)	$R_s = \frac{U}{I}(\Omega)$

TABLE 4.1 – détermination de R_s

Alimentation sinusoïdale :

U(V)	I(A)	Z(Ω)	$X_s(\Omega)$	$L_s(\Omega)$	$\cos \varphi$

TABLE 4.2 – détermination de X_s et L_s

4.3 Manipulation N°2 : Mesure de la capacité d'un condensateur par la méthode volt-ampèremétrique.

Il s'agit de mesurer la capacité C_x d'un condensateur avec un multimètre numérique et par la méthode volt-ampèremétrique.

Mode opératoire :

1. Mesurer la capacité du condensateur avec le multimètre numérique.
2. Consigner les résultats dans un tableau.
3. Réaliser le montage correspondant à la méthode volt-ampèremétrique sans Rhéostat.
4. Régler la tension d'alimentation sinusoïdale sur 60 V.
5. Relever les indications des appareils de mesure.

Tableau de mesures :

Compléter le tableau suivant.

U(V)	I(A)	Z(Ω)	$C_x(\mu F)$	$\Delta C_x(\mu F)$	$\frac{\Delta C_x}{C_x} \%$

TABLE 4.3 – détermination de la capacité C_x

Chapitre 5

TP 05 : Charge et décharge d'un condensateur

5.1 Objectifs :

- Étudier la charge et la décharge d'un condensateur dans le temps à travers une résistance.
- Déterminer expérimentalement la constante de temps d'un condensateur.

5.2 Rappels théoriques :

5.2.1 charge d'un condensateur :

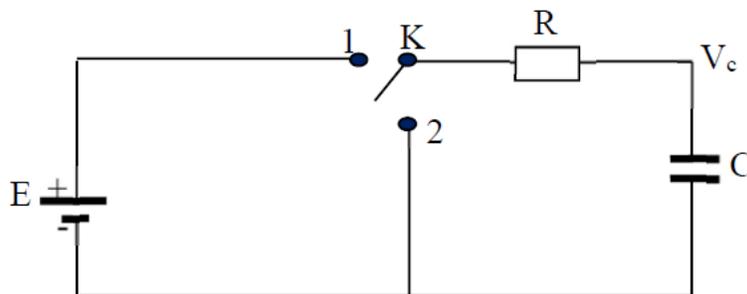


FIGURE 5.1 – Circuit RC

Dans la figure 5.1, on a représenté le circuit RC série avec le générateur de tension continue E et un interrupteur K . La position 1 de l'interrupteur K permet la charge à travers la résistance R du condensateur C .

En appliquant la deuxième loi de Kirchhoff au circuit RC, on obtient :

$$\sum_i U_i = 0 \implies Ri + \frac{1}{C} \int i dt = E \text{ avec } i = \frac{dq}{dt} \text{ et } dq = C dV_c$$

$$\text{d'où : } R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E$$

d'autre part on a :

$$C = \frac{dq}{dV_c} = \frac{dq}{dt} \frac{dt}{dV_c} \implies \frac{dq}{dt} = C \frac{dV_c}{dt}$$

On aura donc :

$$RC \frac{dV_c}{dt} + V_c = E \implies \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_c}{RC} = \frac{E}{RC}$$

Comme condition initiale, on prend à $t=0$: $q_0 = 0$ et $V_c = 0$ on aura comme solution de l'équation différentielle :

$$q(t) = CE \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$V_c(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \text{ où } \tau = RC \text{ est la constante de temps du circuit.}$$

$$i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

5.2.2 Décharge d'un condensateur :

Le condensateur étant chargé, on commute l'interrupteur K à la position 2. Par suite, le condensateur se décharge sur la résistance R .

En appliquant comme toujours la deuxième loi de Kirchhoff, on obtient :

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \implies \frac{dq}{q} = -\frac{dt}{RC} \implies \ln q = \frac{-t}{RC} + C^{ste}$$

Si on prend comme condition initiale, $q_0 = q$ et $V_c = E$ on aura donc :

$$V_c(t) = E e^{-\frac{t}{\tau}}, q(t) = CE e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ et } i(t) = \frac{-E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

5.2.3 Manipulation :

Charge d'un condensateur :

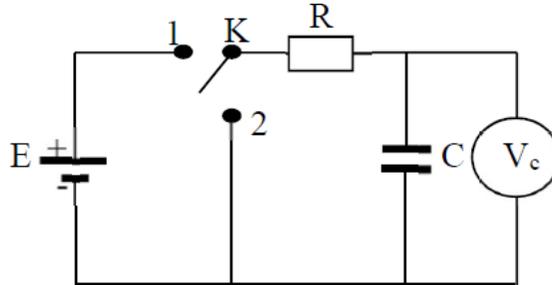


FIGURE 5.2 – branchement du voltmètre en parallèle avec le condensateur

Relever les valeurs de V_c pour les temps correspondants.

<i>Temps (s)</i>	30	60	90	120	150	180	210	240
$V_c (V)$								
$X = -\ln\left(\frac{V_{max}-V_c}{V_{max}}\right)$								

TABLE 5.1 – Les valeurs de V_c charge

- Après 10 minutes , relever la valeur maximale de la tension.
- Tracer le graphe de $X = -\ln\left(\frac{V_{max}-V_c}{V_{max}}\right)$ en fonction du temps.
- Déduire $V_c(t)$ à partir de l'expression de $X = f(t)$.
- Quelle est son équation ? $X = ?$
- Déterminer sa pente. $a =$
- Définir la valeur du temps caractéristique de la charge τ .
- Sachant que $V_c\left(T_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{2}V_{max}$. Quelle est la relation qui lie τ à $T_{\frac{1}{2}}$?

Décharge d'un condensateur :

Relever les valeurs de V_c pour les temps correspondants.

Temps (s)	30	60	90	120	150	180	210	240
$V_c (V)$								
$X = -\ln\left(\frac{V_c}{V_{max}}\right)$								

TABLE 5.2 – Les valeurs de V_c décharge

1. Tracer le graphe de $Y = -\ln\left(\frac{V_c}{V_{max}}\right)$ en fonction du temps.
2. Quelle est son équation ? $Y =$
3. Déterminer sa pente $a' =$
4. Dédire $V_c(t)$ à partir de l'expression de $Y = f(t)$.

Chapitre 6

TP 06 : L'oscilloscope cathodique

6.1 Objectifs :

Le but de ce travail pratique est de familiariser l'étudiant avec l'utilisation d'un oscilloscope à travers des mesures de différentes grandeurs physiques à savoir les tensions, fréquences, déphasages, ...

L'oscilloscope est destiné à observer des phénomènes électriques qui varient rapidement dans le temps. Il donne des indications proportionnelles aux tensions qui lui sont appliquées. Il possède une grande résistance interne et se comporte donc comme un voltmètre par rapport au circuit sur lequel il est branché.

6.2 Principe de fonctionnement de l'oscilloscope :

Le tube cathodique, élément essentiel de l'oscilloscope, dans lequel règne un vide très poussé. A l'entrée du tube, les électrons sont émis par la cathode chauffée K puis accélérés et focalisés par une série d'électrodes E, portées à une tension élevée (de l'ordre du kilovolt). Ce faisceau vient frapper l'extrémité du tube sur laquelle a été déposée une substance fluorescente. On observera donc un spot lumineux au point d'impact des électrons sur l'écran.

Le long de son parcours, le faisceau peut être dévié horizontalement par le champ électrique crée entre deux plaques d'un condensateur. Le déplacement correspondant x

du spot est proportionnel au champ électrique et par conséquent à la tension V_x entre les plaques de déviation horizontale : $x = k_x V_x$

De même, le faisceau peut être dévié par deux autres plaques portées à la tension V_y et l'on a : $y = k_y V_y$

Le spot a donc, à chaque instant, une position telle que ses coordonnées (x, y) soient proportionnelles aux tensions V_x et V_y appliquées sur les plaques de déviation horizontales et verticales.

Les amplificateurs permettent de régler l'amplitude du signal que le spot couvre convenablement l'écran et soit facilement observable.

En général, l'oscilloscope possède deux voies en Y et permet alors d'observer deux tensions V_{y_1} et V_{y_2} en fonction du temps. La tension V_x est une tension de balayage horizontal, proportionnelle au temps, qui est fournie par l'élément dit « base de temps ».

Les tensions V_{y_1} et V_{y_2} à mesurer sont appliquées sur les plaques de déviation verticale pendant une période pour V_{y_1} , la période suivante pour la tension V_{y_2} et ainsi de suite. Grâce à la persistance des impressions rétinienne, on observe simultanément l'amplitude des deux tensions en fonction du temps, réglé par la tension (base de temps) V_x .

Si la tension visualisée V_y est de période T , on obtient une figure fixe observable si la période T_0 de la base de temps V_x est un multiple entier de T . Cette condition est réalisée en faisant agir la tension V_y sur la base de temps par un dispositif de synchronisation qui fait débiter la période de balayage en même temps qu'une période de la tension étudiée.

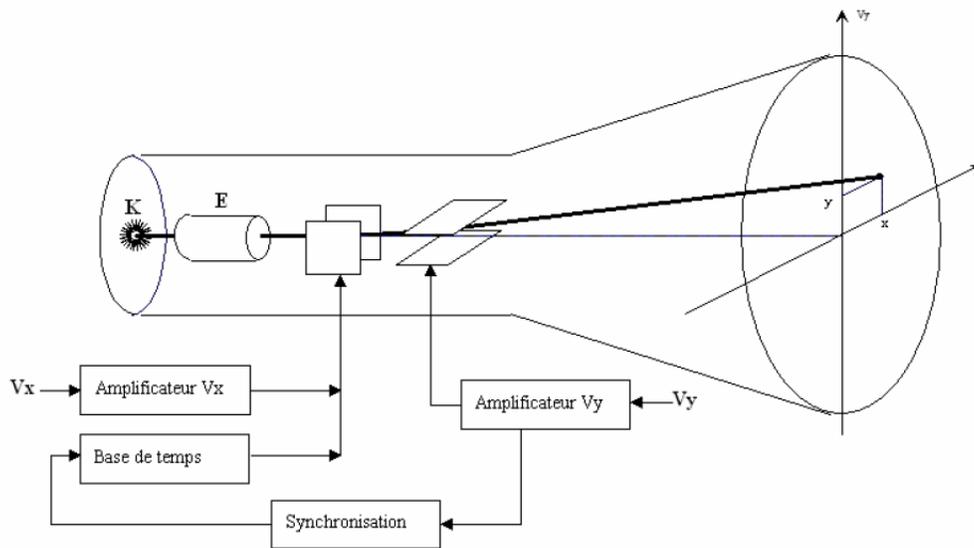
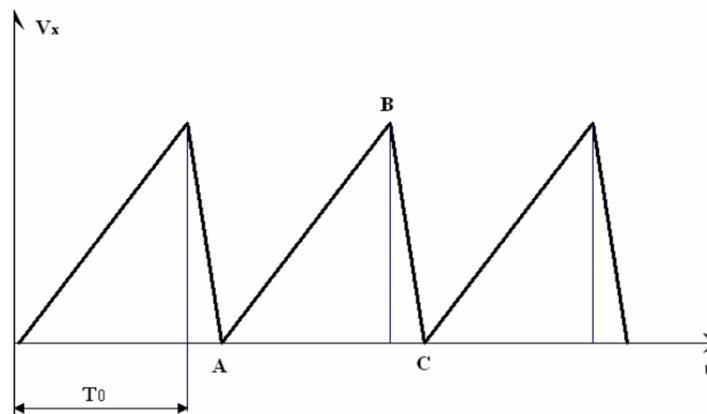


FIGURE 6.1 – Principe de l'oscilloscope.

FIGURE 6.2 – Forme du signal appliqué à V_x pour la base de temps.

6.3 Manipulation :

6.3.1 Étude d'un signal sinusoïdale :

On considère le montage suivant :

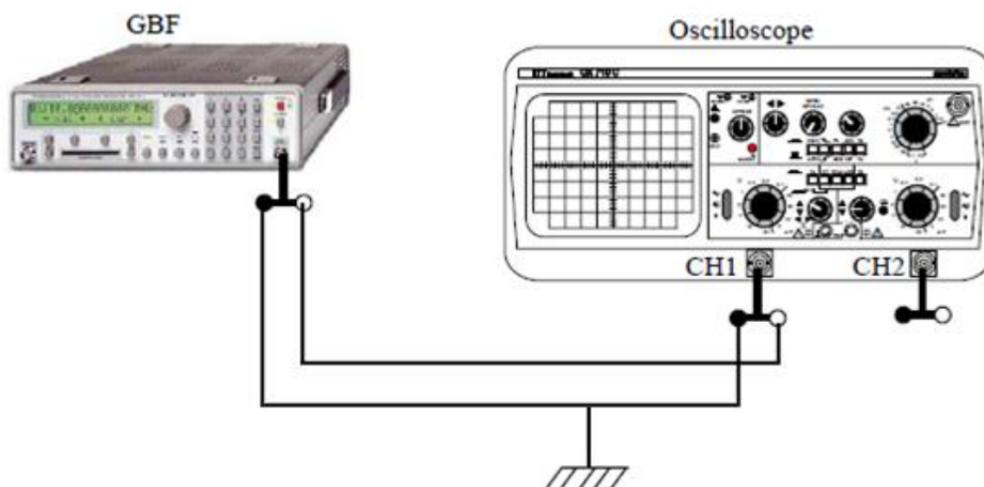


FIGURE 6.3 – Schéma du montage de mesure d'une tension sinusoïdale.

– **Mesures de tensions** : Compléter le tableau ci-dessous.

Calibre(V/cm)	Nombre de (cm)(crête à crête)	V_{cc} (tension crête à crête)	$V_{max} = V_{cc}/2$	$V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$	V (du Voltmètre)
.....

TABLE 6.1 – Mesures de tensions.

Comparer les deux tensions (V_{eff} et V), conclure.....

– **Mesures de fréquences** : Compléter le tableau ci-dessous.

F (affichée sur le GBF) en Hz	Calibre de la base de temps	Nombre de (cm) sur une période	T	$F = \frac{1}{T}$
400				
500				
600				

TABLE 6.2 – Mesures de fréquences.

– **Mesure du déphasage en mesurant δt** : Compléter le tableau ci-dessous.

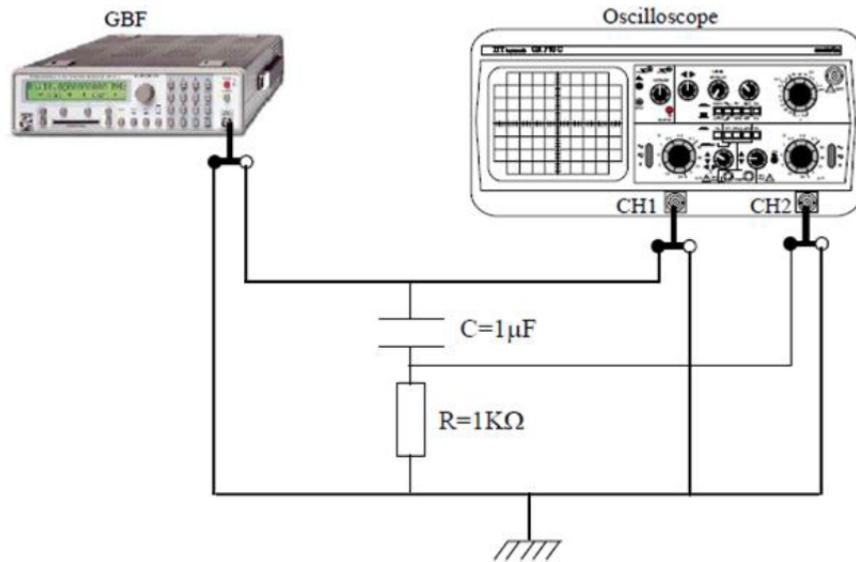


FIGURE 6.4 – Schéma du montage de mesure de déphasage.

$R(k\Omega)$	1	4	6	8	9
	$T (s)$				
$\delta t (s)$					
$\phi = 360 \cdot \frac{\delta t}{T} (^\circ)$					
$y = -\frac{1}{\tan(\phi)}$					

TABLE 6.3 – Mesure de déphasage.

1. Tracer le graphe de $Y = \frac{1}{\tan \phi}$ en fonction de la résistance R .
2. Quelle est son équation ? $Y = \dots$
3. Déterminer sa pente $a = \dots$
4. Dédire la fréquence (f) du signal à partir de l'expression de $Y = f(R)$.
5. Déterminer la fréquence $f = \dots$

On donne : $\tan \phi = -\frac{1}{2\pi fRC}$

Bibliographie

- [1] Jacques Thurin, Mesures électriques et électroniques, Edition Eyrolles, 1967.
- [2] Mohamed Bendaoud, Mesures électriques : cours & exercices, OPU, 1993.
- [3] W. Bolton, Electrical and Electronic Measurement and Testing, 1992.
- [4] P. Jacobs, Mesures électriques, Edition Dunod, 1968.
- [5] A. Fabre, Mesures électriques et électroniques, OPU, 1996.
- [6] D. Hong, Circuits et mesures électriques, Dunod, 2009.