

SAHLAOUI MOHAMMED

SEKKAL ABDESSAMAD

# TRAVAUX PRATIQUE D'ÉLECTRICITÉ

Copyright © 2019

PUBLIÉ PAR L'ÉCOLE SUPÉRIEURE EN SCIENCES APPLIQUÉES DE TLEMCCEN

[www.essa-tlemccen.dz](http://www.essa-tlemccen.dz)

*Impression initiale, Mars 2019.*

# Table des matières

1	TP N° 1 : Composants électriques et appareils de mesures	17
1.1	INTRODUCTION	17
1.2	DIPÔLES ÉLECTRIQUES	17
1.3	DIPÔLES GÉNÉRATEURS	18
1.3.1	Générateur de courant	18
1.3.2	Générateur de tension	18
1.4	DIPÔLES RÉCEPTEURS	19
1.4.1	Résistances	19
1.4.2	Condensateurs	19
1.4.3	Bobines	20
1.4.4	Diodes	20
1.5	APPAREILS DE MESURES	21
1.5.1	Ampèremètre	21
1.5.2	Voltmètre	21
1.5.3	Ohmmètre	22
1.5.4	Multimètre	22
1.5.5	d'Autres appareils de mesure	22
1.6	LECTURE SUR UN APPAREIL DE MESURE	23
1.7	CIRCUITS ÉLECTRIQUE	24
1.8	CODE COULEUR RÉSISTANCE	25
1.8.1	Normalisation des valeurs des résistances	26
1.8.2	Code des couleurs	27
1.8.3	Lecture du code des couleurs	27

2	<i>TP N° 2 : Oscilloscope</i>	31
	2.1 INTRODUCTION	31
	2.1.1 <i>Oscilloscope analogique</i>	31
	2.1.2 <i>Oscilloscope numérique</i>	32
	2.1.3 <i>Commandes de base d'un oscilloscope</i>	33
	2.2 MANIPULATION DE L'OSCILLOSCOPE	37
3	<i>TP N° 3 : Loi d'Ohm et Impédance</i>	41
	3.1 ÉTUDE THÉORIQUE	41
	3.2 ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	42
	3.2.1 <i>Résistance</i>	42
	3.2.2 <i>Condensateur</i>	43
	3.2.3 <i>Bobine</i>	44
	3.3 CONCLUSION	44
4	<i>TP N° 4 : Pont de wheastone.</i>	45
	4.1 ÉTUDE THÉORIQUE	45
	4.1.1 <i>Pont de Wheatstone</i>	45
	4.1.2 <i>Pont à fil</i>	46
	4.2 TRAVAIL EXPÉRIMENTAL	47
	4.2.1 <i>Pont de Wheatstone</i>	47
	4.2.2 <i>Pont á fil</i>	47
	4.3 CONCLUSION	48
5	<i>TP N° 5 : Charge Décharge d'un Condensateur.</i>	49
	5.1 ÉTUDE THÉORIQUE	49
	5.1.1 <i>Charge d'un condensateur</i>	49
	5.1.2 <i>Décharge d'un condensateur</i>	50
	5.2 ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	50
	5.2.1 <i>Charge d'un condensateur</i>	51
	5.2.2 <i>Charge de deux condensateurs en série puis en parallèle</i>	51

5.3	CONCLUSION	52	
6	<i>TP N° 6 : Champ magnétique autour d'un fil conducteur.</i>		53
6.1	ÉTUDE THÉORIQUE	53	
6.1.1	<i>Champ créé par un fil conducteur</i>	53	
6.1.2	<i>Champ créé par deux fils conducteurs</i>	55	
6.2	ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	56	
6.2.1	<i>Champ <math>\vec{B}</math> autour d'un conducteur.</i>	56	
6.2.2	<i>Influence du courant électrique.</i>	56	
6.2.3	<i>Influence de la distance.</i>	57	
6.2.4	<i>Champ <math>\vec{B}</math> entre deux conducteurs</i>	57	
6.2.5	<i>Courants dans la même direction</i>	57	
6.2.6	<i>Courants dans deux directions opposées</i>	58	
6.3	CONCLUSION	58	
7	<i>TP N° 7 : Mesure de déphasage</i>		59
7.1	ÉTUDE THÉORIQUE	59	
7.1.1	<i>Définition mathématique</i>	59	
7.1.2	<i>Représentation de Fresnel</i>	59	
7.1.3	<i>Impédance et déphasage</i>	60	
7.2	ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	62	
7.2.1	<i>Mode temporel (balayage)</i>	62	
7.2.2	<i>Mode XY (figures de Lissajous)</i>	63	
7.2.3	<i>Manipulation N° 1</i>	64	
7.2.4	<i>Manipulation N° 2</i>	64	
7.2.5	<i>Manipulation N° 3</i>	65	
7.2.6	<i>Effet noyau de Fer</i>	65	
7.3	CONCLUSION	65	
8	<i>TP N° 8 : Transformateur monophasé.</i>		67
8.1	ÉTUDE THÉORIQUE	67	
8.1.1	<i>Rapport de transformation</i>	67	
8.1.2	<i>Rapport de transformation</i>	68	
8.1.3	<i>Rendement d'un transformateur</i>	68	

8.2	ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	69
8.2.1	Étude à vide	69
8.2.2	Étude en charge	70
8.3	CONCLUSION	71
9	Forme économique	73

## Table des figures

1.1	Notation de sources de courant continue et sinusoïdale	18
1.2	Notation sources de tension continue et sinusoïdale	18
1.3	Notations résistances fixe et variable	19
1.4	Notations condensateurs fixe et variable	19
1.5	Notations Bobines fixe et variable	20
1.6	Notations des diodes. De gauches a droite diode à jonction, diode Zener et diode électroluminescente. Le pôle A est l'anode et le pôle K le cathode	20
1.7	Branchement d'un ampèremètre	21
1.8	Branchement d'un voltmètre	21
1.9	Les différents fonctions d'un multimètre.	23
1.10	Circuit électrique	25
1.11	Code couleurs des résistances.	29
2.1	Tube cathodique.	32
2.2	Tension en forme de dents de scie appliquée sur les plaques X.	34
3.1	Dipôle électrique d'impédance Z	41
3.2	Circuit R.Z	41
3.3	Circuit R.R	42
3.4	Circuit R.C	43
3.5	Circuit R.C-C	43
3.6	Circuit R.L	44
4.1	Pont de Wheatstone	45
4.2	Pont à fil	46
4.3	Pont de Wheatstone	47
4.4	Pont à fil	47
5.1	Circuit RC	49
5.2	Variation de la tension $u_C(t)$ aux bornes d'un condensateur au cours du temps lors de la charge.	49

5.3	Variation de l'intensité du courant $i_C(t)$ au cours du temps lors de la charge.	50
5.4	Circuit RC	50
5.5	Variation de la tension $u_C(t)$ au cours du temps lors de la décharge.	50
5.6	Variation de l'intensité de courant $i_C(t)$ au cours du temps lors de la décharge.	51
5.7	Circuit RC alimenter par un GBF et lié à un oscilloscope	51
5.8	Circuit RC alimenter par un GBF et lié à un oscilloscope	51
6.1	expérience d'Oersted	53
6.2	champ magnétique	53
6.3	règle de la main droite	54
6.4	Champ magnétique créé par une portion élémentaire $dl$ d'un fil conducteur de longueur finie	54
6.5	Champ magnétique créé par deux conducteurs de longueurs finies.	55
7.1	Déphasage entre l'intensité de courant $i(t)$ et la tension électrique $u(t)$ .	60
7.2	Représentation de Fresnel	60
7.3	Représentation de Fresnel pour une résistance	61
7.4	Représentation de Fresnel pour un condensateur	61
7.5	Représentation de Fresnel pour une bobine	62
7.6	Circuit R.Z alimenter par un GBF et lié à un oscilloscope	62
7.7	Les deux signaux $e(t)$ et $u_R(t)$ comme sur l'écran de l'oscilloscope.	63
7.8	Représentation de Fresnel pour les tensions du circuit R.Z.	63
7.9	Figure de Lissajous des signaux $e(t)$ et $u_R(t)$ .	63
7.10	méthodes de mesure de déphasage à partir des des figures de Lissajous.	64
7.11	Circuit R.R.	64
7.12	Circuit R.C.	64
7.13	Représentation de Fresnel des tensions et impédances pour le circuit R.C.	65
7.14	Circuit L.R.	65
7.15	Représentation de Fresnel des tensions et impédances pour le circuit R.L.	65
8.1	Transformateur monophasé	67
8.2	Notation d'un transformateur monophasé	68
8.3	Transformateur à vide	69
8.4	Transformateur chargé	70



## *Liste des tableaux*

- 1.1 Séries E des valeurs standards pour les résistances. 27
- 1.2 Code couleurs 27



*Nous remercions tous les collègues pour les  
remarques qui ont permis à corriger et améliorer  
les photocopies.*



# Préface

Ce polycopie est destiné aux étudiants de première année Formation Préparatoire des École Supérieure d'Ingénieurs.

L'objectif des travaux pratiques d'électricité est d'étudier par manipulation les circuits électriques (déjà présentés en cours et travaux dirigés), ainsi que de vérifier par l'expérience certaines lois et formules théoriques. Ceci permet aux étudiants de bien comprendre certaines notions, et d'acquérir une expérience sur la réalisation des circuits électriques et l'utilisation des composants électriques et appareils de mesures.

Ce polycopie est réalisé en s'inspirant de certains travaux pratiques précédents avec une amélioration des textes et des méthodes expérimentales. Il est constitué de 8 travaux pratique qui se déroule au cours du deuxième semestre :

- TP N° 1 : Composants électriques et appareils de mesures.
- TP N° 2 : Oscilloscope.
- TP N° 3 : Loi d'Ohm et Impédance.
- TP N° 4 : Pont de wheastone.
- TP N° 5 : Charge Décharge d'un Condensateur.
- TP N° 6 : Champ magnétique autour d'un fil conducteur.
- TP N° 7 : Mesure de déphasage.
- TP N° 8 : Transformateur monophasé.

le TP N° 6 a été ajouter pour que l'étudiant se familiarise avec la notion de champ, précisément celle de champ vecteur.

Le TP N° 1 a été réaliser d'une certaine façon que l'étudiant, avant de manipuler les différents appareils d'électricité qui existent au laboratoire, il aura une idée bien détaillée sur tous les composants électriques et appareils de mesures. Donc, la première séance des travaux pratiques est consacrée à la présentation du matériels, ainsi que la découverte de ce dernier par l'étudiant.

Le TP N° 2 est une présentation détaillée du modes de fonctionnement de l'oscilloscope. Dans ce travail l'étudiant apprendre a utilisé cet

appareil de mesure de l'allumage jusqu'à la lecture des oscillographes. la présentation effectuée par les enseignants est suivie par une manipulation de l'oscilloscope afin de bien découvrir le rôle des différents boutons (rotateurs et commutateurs).

Le TP N° 3 est un travail original. Habituellement, ce travail est une vérification de la loi d'Ohm classique en utilisant une résistance de puissance connectée à un générateur de courant continue. La tension au borne de la résistance est relevée à l'aide d'un voltmètre et le courant variable est obtenu à l'aide de l'ampèremètre. Cette méthode, à notre avis, consomme beaucoup de temps pour relever les mesures et tracer les courbes par les étudiants. Finalement, elle ne permet que de vérifier que la loi d'Ohm classique. Il y a aussi le problème des résistances de puissance qui coûtent chers et ce détériore rapidement par erreur au cours de manipulation. C'est les raisons pour lesquels, nous avons complètement changé ce TP pour permettre aux étudiants d'étudier la loi d'Ohm généralisée et de bien se familiarisé avec la notion d'impédance électrique.

Le problème que nous rencontrons souvent dans le TP N° 4 est le grillage du fusible du galvanomètre ou la détérioration de l'appareil de mesure qui est très sensible à la variation du courant électrique. Le surchauffe du fil conducteur utilisé dans le pont à fil est un autre problème. Pour régler ces problèmes, nous avons utilisé un GBF comme générateur de tension alternatif et un oscilloscope pour visualiser l'annulation de tension dans le pont de Wheatstone et le pont à fil. Le TP N° 4 est aussi un travail originale.

L'ancienne méthode de travail dans le TP N° 5 consiste à étudier l'évolution de la charge et la décharge d'un condensateur en utilisant un condensateur de capacité élevée et un conducteur Ohmique de grande résistance afin d'augmenter le temps de la charge ou la décharge. Le circuit doit être alimenté par un générateur de tension continue et l'évolution de la tension aux bornes du condensateur est relevée à l'aide d'un multimètre. Dans cette méthode les étudiants consomment la majorité du temps pour relever les mesures et tracer les courbes. La déduction de la capacité à partir des courbes tracées à la main ne donnent pas des résultats précis. Pour régler ces problèmes, nous nous sommes focalisé seulement l'étude à l'aide de l'oscilloscope en utilisant un GBF comme alimentation de tension carrée. Les courbes de charge et de décharge sont directement visualisées sur l'oscilloscope. La caractéristique du condensateur est déduite avec une grande précision. L'évolution du courant électrique dans le circuit peut aussi être visualisé. La rapidité dans l'acquisition des résultats permet aux étudiants

de vérifier les lois des condensateurs reliés en série et en parallèle.

Le TP N° 7 permet aux étudiants de vérifier une propriété importante pour les condensateurs et les bobines qui est la création du déphasage entre la tension et le courant électrique.

Le TP N° 8 est un simple travail mais de grande importance dans la formation de nos étudiants. Ces derniers découvrons dans cette manipulation l'excellent rendement du transformateur dans la conversion des tensions et des courants électriques. Ce TP permet aussi aux étudiants de découvrir la meilleur façon pour transportée l'énergie électrique.

Tous les travaux pratiques on été rédiger de tel façons que les étudiants peuvent réaliser leurs manipulations eux mêmes. A l'aide du texte, ils sont dirigés du début jusqu'à l'acquisition de tous les résultats. Nous avons pensé aussi que dans chaque séance des travaux pratiques, la majorité du temps est consacré non pas à l'acquisition des résultats mais à la discussion de ces derniers et la rédaction des conclusions qui est à notre avis la partie la plus importante.





# 1 TP N° 1 : Composants électriques et appareils de mesures

## 1.1 INTRODUCTION

La première mise en évidence des phénomènes électriques remonte au temps des Grecs. Une propriété surprenante de l'ambre<sup>1</sup> a été remarqué : Lorsqu'on frotte l'ambre avec du tissu ou laine, elle attire des objets légers comme des plumes ou des petits morceaux de papier<sup>2</sup>.

L'électricité est une forme d'énergie invisible, dont on voit les manifestations, qui peut être transformée en d'autres formes d'énergie mécanique, électromagnétique ou thermique. Il y a deux type d'électricité, statique et dynamique. Dans le premier type, comme sont nom l'indique, il n'y a pas de mouvement de charges électriques. Il s'agit seulement d'une accumulation de charges électriques. L'électricité dynamique s'agit d'un phénomène associé au mouvement de particules chargées positivement ou négativement sous l'effet d'une différence de potentiel. On parle plus généralement de courant électrique. C'est cet usage de l'électricité qui nous intéresse puisqu'il est souvent utilisé pour des applications industrielles et domestiques.

L'utilisation de l'énergie électrique nécessite la réalisation d'un **circuit électrique**. Un circuit électrique comprend toujours : un ou plusieurs **dipôles générateurs** ou sources de tension ou courant électrique, un ou plusieurs **dipôles récepteurs** d'énergie<sup>3</sup> ; les générateurs et les récepteurs sont reliés par des **fils conducteurs**. Pour des raisons pratiques, des **interrupteurs** sont aussi utilisés pour interrompre la circulation du courant électrique.

## 1.2 DIPOLES ÉLECTRIQUES

On appelle dipôle électrique un dispositif électrique qui présente deux bornes A et B permettant de le relier à un circuit extérieur. On distingue les dipôles générateurs qui fournissent de l'énergie au circuit

1. une résine fossilisée utilisée dans les bijoux

2. Le mot électricité vient du mot grec "Elektron" qui signifie justement "ambre"

3. Un dipôle passif est un dipôle qui ne peut pas générer de l'énergie électrique par lui-même. Il s'agit nécessairement d'un récepteur. A ce titre, on le décrira nécessairement en convention récepteur. Attention, si un dipôle passif est toujours un récepteur, un récepteur n'est pas nécessairement un dipôle passif.

Dipôles passifs : résistances, condensateurs, Bobines, lampes électriques, diodes, transistor ... etc.

Dipôles récepteurs qui ne sont pas passifs : moteurs électriques, accumulateurs, cuves à électrolyse ... etc.

extérieur et les dipôles récepteurs qui absorbent de l'énergie.

Certains dipôles ne peuvent être que récepteurs, c'est le cas d'une résistance ou d'une diode par exemple, d'autres peuvent être récepteurs ou générateurs suivant les cas. Ainsi, une inductance peut absorber de l'énergie électrique à un instant donné et la restituer à un instant ultérieur ; une batterie peut alimenter un circuit et donc se comporte comme un générateur, mais elle peut être aussi rechargée et devenir récepteur.

Un composant électrique ne peut pas contenir moins de deux bornes. Par contre, il existe des composants électriques plus complexes que les dipôles possédant trois, quatre bornes ou plus, on parle alors de *tripôles*, de *quadripôles*,  $\dots$  etc. Les transistors, les transformateurs, ou les amplificateurs opérationnels, à titre d'exemple, ne sont pas des dipôles.

### 1.3 DIPÔLES GÉNÉRATEURS

On appelle dipôle générateur ou actif tout dipôle pouvant fournir de la puissance électrique ; c'est-à-dire capable de débiter un courant dans une charge branchée à ses bornes. On distingue deux types de générateurs : générateurs de courant et générateurs de tension.

#### 1.3.1 Générateur de courant

Un générateur de courant est un dipôle permettant de produire un courant électrique. Généralement quand on parle de ce type de dispositif, nous voulons parler d'un appareil capable de fournir un courant électrique où le flux

d'électrons qui circule continuellement dans une seule direction avec la même intensité  $I$  quelque soit le circuit électrique relié à cet appareil. Autrement dit, un générateur de courant continu (DC : direct current en anglais). Un courant continu est un courant fourni par une batterie, par exemple.

#### 1.3.2 Générateur de tension

Un générateur de tension est un dipôle permettant de produire une tension électrique. Généralement quand on parle de ce type de dispositif, nous voulons parler d'un appareil capable de fournir une différence de potentiel (**d.d.p**) ou tension stable, constante ou variable dans le temps,

quelque soit le circuit électrique relié à cet appareil. Si la tension est alternative nous parlons d'un générateur de tension ou de courant alternatif (AC : alternating current en anglais). Dans ce cas, les électrons circulent alternativement dans une direction puis dans l'autre sur des

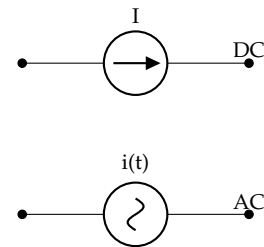


FIGURE 1.1: Notation de sources de courant continue et sinusoïdale

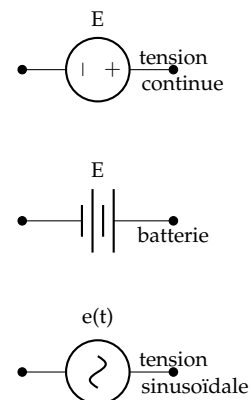


FIGURE 1.2: Notation sources de tension continue et sinusoïdale

intervalles de temps réguliers appelés cycles. Il peut être produit par un alternateur par exemple.

## 1.4 DIPÔLES RÉCEPTEURS

Un dipôle récepteur est un convertisseur d'énergie qui consomme de l'énergie électrique et la transforme en une ou plusieurs autres formes d'énergies (mécanique, thermique, chimique, ...). Hors circuit, un récepteur est un dipôle qui ne présente aucune tension à ses bornes.

Les principaux dipôles électriques sont, les fils électrique, les résistances, les lampes, les bobines, les condensateurs et les diodes.

### 1.4.1 Résistances

Une résistance électrique est dipôle électrique qui traduit la propriété à s'opposer au passage d'un courant électrique. Autrement dit, dans un circuit une résistance a pour effet la diminution de l'intensité du courant électrique. Cette diminution est d'autant plus forte que la valeur de résistance est élevée.

Une résistance est souvent désignée par la lettre  $R$ , son unité de mesure est l'ohm (symbole :  $\Omega$ ). On distingue deux principales types de résistances, fixe et variable.

La valeur d'une résistance peut être mesurée grâce à un ohmmètre, ou déterminée grâce aux anneaux colorés qu'elle comporte en utilisant le code des couleurs. Une résistance peut être utilisée pour diviser une potentiel, pour produire de la lumière ou la chaleur par effet joule, comme par exemple dans les lampes et les plaques chauffante électriques, ... etc.

### 1.4.2 Condensateurs

Le condensateur est un dipôle électrique, constitué de deux armatures conductrices (ou électrodes) en influence totale séparées par un isolant polarisable, ou diélectrique. Sa propriété principale est de pouvoir stocker des charges électriques sur ses armatures. La valeur absolue de ces charges est proportionnelle à la valeur absolue de la tension qui lui est appliquée.

Le condensateur est caractérisé par le coefficient de proportionnalité entre charge et tension appelé capacité électrique noté  $C$ . L'unité de mesure de la valeur de  $C$  est le Farad  $F$ . On trouve deux types de condensateur, fixe et variable.

La valeur d'une capacité peut être mesurée grâce à un multimètre,

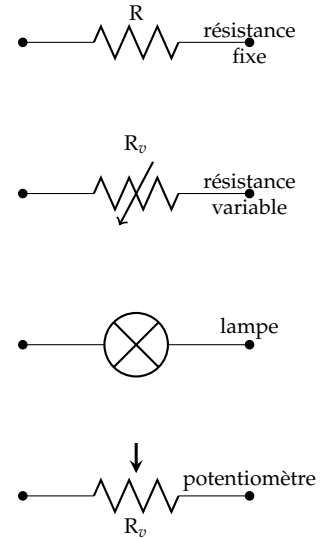


FIGURE 1.3: Notations résistances fixe et variable

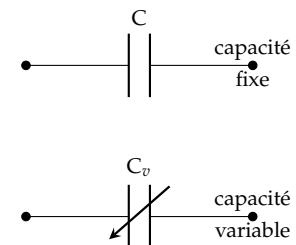


FIGURE 1.4: Notations condensateurs fixe et variable

ou indiquer par le fabricant directement sur le composant. Le condensateur est un composant électrique ou électronique conçu pour pouvoir emmagasiner une charge électrique importante sous un faible volume ; il constitue ainsi un véritable accumulateur d'énergie.

### 1.4.3 Bobines

Une bobine, solénoïde, auto-inductance ou quelquefois self, est un dipôle électrique constituée d'un enroulement de fil conducteur autour d'un noyau d'air ou en matériau ferromagnétique. Généralement ce noyau est un bloc de ferrite ou un assemblage de feuilles de tôle. L'inductance est la propriété caractéristique de la bobine, qui traduit l'opposition de la bobine à la variation du courant.

La bobine est caractérisé par le coefficient de proportionnalité entre la variation du courant électrique au court du temps et la tension appelé inductance noté  $L$ . L'unité de mesure de la valeur de  $L$  est le henry  $H$ . On trouve deux types de bobine, fixe et variable.

Le henry est défini comme 1 volt-seconde par ampère de courant. Plus communément, l'inductance se mesure en unité plus faibles, comme le millihenry (« $mH$ »), le microhenry (« $\mu H$ »).

La bobine permet d'emmagasiner de l'énergie magnétique grâce à un apport de courant. Elle sert de elle sert de filtre d'une alimentation électrique, elle est indispensable aux système RLC pour détecter ou créer des signaux. Elle permet de monter vite en tension afin de créer une décharge électrique, par exemple, dans un allumage de voiture . . . etc.

### 1.4.4 Diodes

La diode<sup>4</sup> est un dipôle électrique polarisé non-linéaire. Le sens de branchement d'une diode est donc important. Les deux pôles de ce dipôle électrique sont appelés anode et cathode. Généralement, ce dipôle est utilisé pour laisser passé le courant électrique que dans un sens, c-à-d, seulement de l'anode vers le cathode. Cette propriété le laisse la diode très utile pour redresser un courant, autrement dit, elle permet de transformer le courant alternatif en courant dans un seule sens.

Nous pouvons trouver aussi la diode Zener qui présente une tension inverse de valeur déterminée. Utilisée comme référence de tension ou comme protection contre les surtension. La diode Transil sert de protection contre les surtension. Elle a un comportement similaire à la diode Zener. La diode Schottky qui a un seuil de tension directe très bas et un temps de commutation très court, elle est utilisée pour la détection des signaux HF et hyperfréquences. On l'utilise aussi pour le

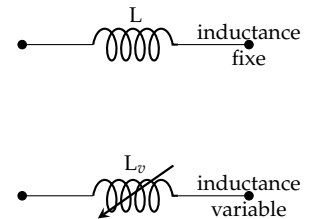


FIGURE 1.5: Notations Bobines fixe et variable

4. du grec : *di* = deux ou double et *odos* = voie ou chemin

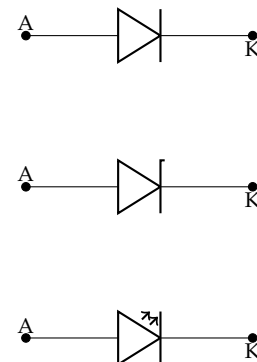


FIGURE 1.6: Notations des diodes. De gauches a droite diode à jonction, diode Zener et diode électroluminescente. Le pôle A est l'anode et le pôle K le cathode

redressement de puissance. La diode Varicap ou encore diode à capacité variable est un type de diode qui se comporte comme un condensateur dont la valeur de la capacité varie avec la tension inverse appliquée à ses bornes. Cette diode s'apparente à un condensateur variable. Elle est souvent utilisée dans des montages radio-fréquence.

## 1.5 APPAREILS DE MESURES

Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure électrique dont par exemple : les galvanomètres, les ampèremètres, les voltmètres, les ohmmètres, les détecteurs de tension sans contact, les testeurs de tension (DDT et/ou VAT), les multimètres, les pinces de courant, les pinces multimètres, l'oscilloscope ... etc. Ci-dessous, les appareils essentiels et indispensables.

### 1.5.1 Ampèremètre

L'ampèremètre est un appareil qui sert à mesurer l'intensité d'un courant électrique. Il se branche toujours en série dans un circuit électrique. Pour cette raison la précision de mesure d'un ampèremètre dépend de sa résistance interne, plus elle est petite plus il est précis.

L'ampèremètre peut se mettre en mode continue DC (=) ou alternatif AC (~) selon le type de circulation de courant électrique, continue ou alternatif. En mode alternatif l'appareil affiche la valeur efficace du courant.

Il existe deux principales sortes d'ampèremètre : l'ampèremètre analogique (à aiguilles) et l'ampèremètre numérique (multimètre). L'unité de mesure de l'intensité de courant électrique est l'ampère, noté A.

### 1.5.2 Voltmètre

Le voltmètre est un appareil qui sert à mesurer la différence de potentiel ou la tension entre deux points dans un circuit électrique. Il se branche toujours en parallèle (ou en dérivation) dans un circuit électrique. Pour cette raison, contrairement à l'ampèremètre, plus la résistance interne du voltmètre est grande plus la précision de mesure est élevée.

Le voltmètre peut se mettre en mode continue DC (=) ou alternatif AC (~) selon le type de d.d.p électrique, continue ou alternatif. En mode alternatif l'appareil affiche la valeur efficace de la tension.

Il existe deux principales sortes de voltmètre : le voltmètre analogique et le voltmètre numérique (multimètre). L'unité de mesure de la tension électrique est le volt, noté V.

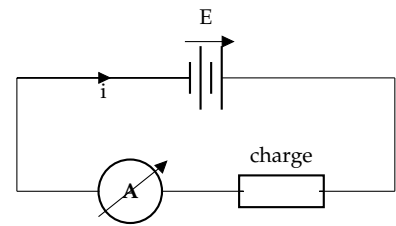


FIGURE 1.7: Branchement d'un ampèremètre

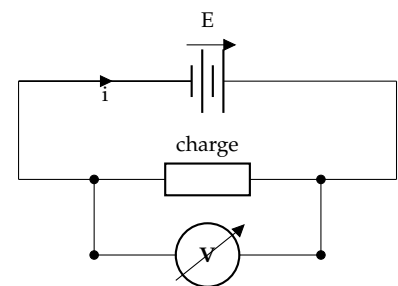


FIGURE 1.8: Branchement d'un voltmètre

### 1.5.3 Ohmmètre

L'ohmmètre est un instrument qui sert à mesurer la résistance d'une charge électrique d'un composant ou d'un circuit électrique. Pour utiliser l'ohmmètre, il faut débrancher la charge à mesurer du circuit électrique et placer l'ohmmètre à ses bornes. L'appareil, grâce à sa pile interne, va faire circuler un très faible courant dans la charge et mesurera la tension obtenue pour en déduire la résistance. L'unité de mesure de la charge électrique est l'ohm, noté  $\Omega$ .

### 1.5.4 Multimètre

Le multimètre est un appareil de mesure servant à détecter des problèmes électriques dans un circuit. Il rassemble plusieurs appareils : un voltmètre, un ampèremètre et un ohmmètre. Le multimètre peut également intégrer d'autres fonctions : mesure la capacité d'un condensateur, mesure de la fréquence d'un signal électrique, mesure des pics de tensions, mesure de la température sur le circuit, utile pour tester une diode ou une continuité, ... etc.

La plupart des multimètres sont équipés de deux bornes qui servent à brancher les câbles de mesure. L'une de ces bornes est négative, l'autre positive. Pour effectuer une mesure, après avoir choisi le mode souhaité, il suffit de brancher le votre multimètre au circuit électrique à l'aide de deux câbles. Le mode de fonctionnement de cette appareil (voltmètre, ampèremètre ou autre) peut être sélectionner à l'aide d'un commutateur (voir figure 1.9). L'appareil existe sous deux types : le multimètre analogique (à aiguille), et le multimètre digital.

### 1.5.5 d'Autres appareils de mesure

- **Détecteurs de tension dits "sans contact"** : ils permettent de détecter une éventuelle présence de tension par l'émission d'un signal sonore ou visuel, que ce soit au niveau d'une prise, d'un câble ou à travers une paroi (à très faible profondeur, d'autres types d'appareils existants pour des profondeurs un peu plus importantes).
- **Testeurs de tension** : au contraire des détecteurs sans contact, les testeurs de tension (DDT et/ou VAT) nécessitent la connexion d'une ou deux pointes de touche sur l'élément conducteur à tester (prise, disjoncteur, etc.). En plus de la détection de tension (DDT) et/ou de la VAT, certaines fonctions comme la mesure de continuité ou encore le test de rotation de phase peuvent être disponibles.
- **Pinces de courant**, ou capteurs de courant permet d'effectuer une mesure sans contact et sans couper l'alimentation, dans la

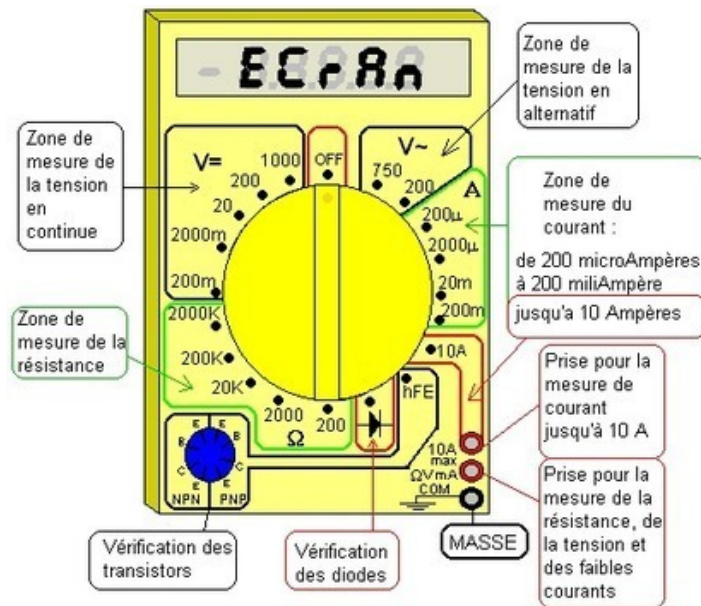


FIGURE 1.9: Les différents fonctions d'un multimètre.

mesure ou l'élément conducteur est accessible. Une mesure avec ce type d'appareil est assez simple, il suffit de mettre la pince autour du conducteur souhaité et de lire la valeur indiquée sur l'appareil de mesure relié à celle-ci (généralement un multimètre). Il faut toutefois faire attention, certaines combinaisons de pinces et de multimètres nécessiteront une interprétation de la valeur affichée.

Il existe deux catégories de pinces ampèremétriques. *Les pinces à mâchoire rigide* : permet la mesure d'un courant alternatif et continu. *Les pinces à mâchoire flexible* : permet uniquement la mesure d'un courant alternatif, mais contrairement à la première, celle-ci a l'avantage d'une grande flexibilité d'enserrage de la mâchoire.

- **Pinces multimètres** : Même principe que pour les pinces de courant, sauf qu'elles sont autonomes. Aucun besoin donc d'un appareil de mesure supplémentaire pour lire les valeurs, l'affichage étant directement intégré. Au même titre que les multimètres, elles permettent également les mesures de tensions, de résistances, de capacités, etc., ou même de puissances.

## 1.6 LECTURE SUR UN APPAREIL DE MESURE

Si la lecture d'un appareil numérique ne pose aucun problème, il en va tout autrement de l'appareil analogique. Ce dernier contient un cadran gradué, l'aiguille se déplace devant une graduation commune à plusieurs calibres. L'indication lue ne représente qu'un nombre de

divisions. Il faut déduire la valeur mesurée à partir de ce nombre en tenant compte de la valeur du calibre indiqué par le commutateur. Le calibre représente la plus grande valeur probablement mesurable sur le circuit. Pour éviter de détériorer l'appareil, on a intérêt à le brancher sur le plus fort calibre. Il ne faut pas oublier de baisser le calibre, si nécessaire, pour obtenir un affichage suffisamment précis. Le bon calibre est le plus petit calibre possible, c'est-à-dire celui qui est immédiatement supérieur à l'intensité mesurée.

Pour déterminer la valeur mesurée nous précisons la position de l'aiguille en relevant le nombre de graduations sur l'échelle on appelle ce nombre la **lecture**. La plus grande valeurs de l'échelle correspond au calibre choisi. La règle de trois ou règle de proportionnalité nous permet de déterminer la valeur mesurée (appelée **mesure**). Si **EI** est la plus grande valeur de l'échelle (appelée **échelle**), **Cr** la valeur indiquée par le calibre (appelée **calibre**) et **Lr** la lecture ou le nombre de graduations. Alors la mesure ou le valeur mesurée **Mr** peut être déterminé comme :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{échelle} \longrightarrow \text{calibre} \\ \text{lecture} \longrightarrow \text{mesure} \end{array} \right\} \iff \left\{ \begin{array}{l} \text{EI} \longrightarrow \text{Cr} \\ \text{Lr} \longrightarrow \text{Mr} \end{array} \right\}$$

d'où

$$\text{mesure} = \frac{\text{lecture} \times \text{calibre}}{\text{échelle}} \iff \text{Mr} = \frac{\text{Lr} \times \text{Cr}}{\text{EI}} \quad (1.1)$$

L'incertitude sur la mesure dépend de la précision de lecture et de la précision de l'appareil. Sur un appareil numérique l'incertitude dépend de nombre de chiffres significatifs.

## 1.7 CIRCUITS ÉLECTRIQUE

Un circuit électrique est un ensemble de conducteurs (fils) et composants électriques passifs et actifs (dipôle, triples, ...etc.) ou électroniques (appareils électroniques) soumis à une d.d.p et parcouru par un courant. Un circuit en dérivation comporte toujours des nœuds et des branches. Considérons le circuit présenter sur la figure 1.10 :

Un **nœud** est un point du circuit auquel sont reliés au moins deux bornes de deux dipôles différents ou deux fils de connexion. Sur le circuit ci-dessus nous avons les nœuds  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \kappa, \varepsilon, \zeta, \eta, \theta$  et  $\lambda$ .

Une **branche** est une partie du circuit électrique située entre deux nœuds consécutifs. Un circuit électrique en dérivation comporte :

- Les branches principales qui contiennent les dipôles générateurs du circuit électrique, par exemple sur le circuit de la figure 1.10, nous avons deux branches principales :  $\alpha - \beta$  et  $\zeta - \varepsilon$ .



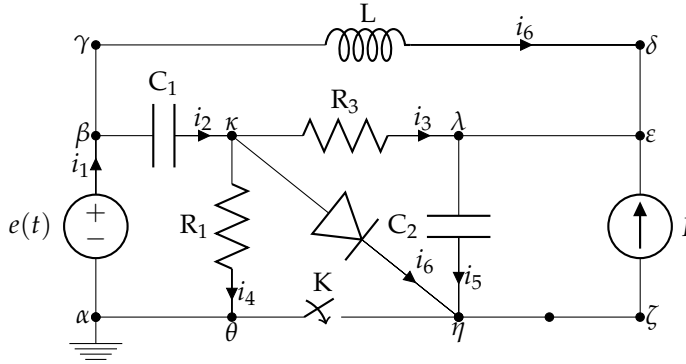


FIGURE 1.10: Circuit électrique

- Les branches dérivées (ou secondaires) qui ne contiennent que les dipôles récepteurs, par exemple sur le circuit de la figure 1.10, nous avons les branches qui contiennent des dipôles électriques :  $\gamma - \delta$ ,  $\beta - \kappa$ ,  $\kappa - \eta$ ,  $\kappa - \lambda$ ,  $\kappa - \theta$  et  $\lambda - \eta$ . Les branches de connexion qui contiennent des fils conducteurs sont :  $\beta - \gamma$ ,  $\delta - \epsilon$ ,  $\lambda - \epsilon$ ,  $\eta - \zeta$  et  $\alpha - \theta$ . La branche  $\theta - \eta$  qui contient un l'interrupteur K.

L'étude électrocinétique d'un circuit électrique consiste à déterminer, à chaque nœuds et à chaque branche, la tension et l'intensité du courant. Nous pouvons aussi trouvez dans un circuit électrique, les interrupteurs et les commutateurs.

**Une maille** est ensemble de branches formant une boucle fermée en ne passant pas deux fois par le même noeud, par exemple sur le circuit de la figure 1.10, nous avons les mailles :  $[\alpha - \beta - \kappa - \theta - \alpha]$ ,  $[\beta - \gamma - \delta - \epsilon - \lambda - \kappa - \beta]$ ,  $[\kappa - \lambda - \eta - \theta - \kappa]$ ,  $[\lambda - \epsilon - \zeta - \eta - \lambda]$ ,  $[\kappa - \eta - \theta - \kappa]$ ,  $[\kappa - \eta - \lambda - \kappa]$ ,  $[\beta - \kappa - \eta - \theta - \alpha - \beta]$ ,  $[\beta - \kappa - \lambda - \eta - \theta - \alpha - \beta]$ ,  $[\beta - \kappa - \lambda - \epsilon - \zeta - \eta - \theta - \alpha - \beta]$ ,  $[\alpha - \beta - \gamma - \delta - \epsilon - \zeta - \eta - \theta - \alpha]$ ,  $[\kappa - \lambda - \epsilon - \zeta - \eta - \kappa]$ ,  $[\alpha - \beta - \gamma - \delta - \epsilon - \lambda - \eta - \kappa - \theta - \alpha]$ , ou  $[\alpha - \beta - \gamma - \delta - \epsilon - \zeta - \eta - \lambda - \kappa - \theta - \alpha]$ ,  $\dots$ , etc.

## 1.8 CODE COULEUR RÉSISTANCE

Si vous n'avez pas sous la main un ohmmètre et vous voulez connaître la valeur d'une résistance, vous pouvez se baser sur la lecture de la valeur ou du code couleur dessiné sur la résistance. Le code de désignation, définit un code de couleurs utiliser pour inscrire sur un composant électrique sa valeur caractéristique. Nous pouvons remarquer sur une résistance, généralement, quatre bandes de couleurs. Chaque couleur est associées à un chiffre significatif (voir figure ??).

En 1952 a été décidé par la CEI (Commission Électrotechnique Internationale) de définir les valeurs de résistance et de tolérance dans une norme, afin de faciliter la fabrication de résistances en masse. Celles-ci

sont appelés valeurs préférées ou séries E. Cette décision a été publiée sous le nom de la norme CEI 60063 : 1963. Ces valeurs standards sont également valables pour d'autres composants tels que les condensateurs, les inductances et les diodes Zener. Les valeurs préférées pour les résistances ont été établies en 1952, mais le concept de la série géométrique a déjà été introduit par l'ingénieur militaire Renard dans les années 1870.<sup>5</sup>

La normalisation des valeurs des résistances sert plusieurs objectifs importants, comme la limitation de nombre de valeurs différentes qui doivent être produites ou conservées en stock, la compatibilité de tous les composants fabriqués partout dans le monde, ce qui est favorable pour l'ingénieur électricien.

Mis à part les valeurs préférées, de nombreuses autres normes relatives aux résistances existent. Un exemple, les tailles standard des résistances, ou le marquage des résistances avec un code de couleur ou numérique.

5. Le Colonel Renard (1847-1905), officier du Génie dans l'armée Française à l'époque, constata que pour la construction des aérostats, l'armée utilisait 425 diamètres différents de câble, ce qui faisait 425 références. Pour rationaliser tout cela, il a établi que 17 références suffisaient pour remplacer les 425 précédentes. Pour cela il créa des séries à progression géométrique  $R_n = \sqrt[m]{10^n}$  sur une décade. Il divisa en 5, 10 et 20 les décades pour créer en 1870 les séries Ra5, Ra10 et Ra20, ou encore R5, R10 et R20.

### 1.8.1 Normalisation des valeurs des résistances

La normalisation des résistances est une organisation des valeurs en série à l'intérieure d'une décade. On appelle décade, un ensemble de valeurs comprises entre un multiple de 1 et un multiple de 10 de l'unité considérée, par exemple, de 1 à 10  $\Omega$ ; de 10 à 100  $\Omega$ , ... etc. La variation des valeurs est une série géométrique  $(E_m)_n = \sqrt[m]{10^n}$  de raisons  $r_m = \sqrt[m]{10}$  ou encore  $(E_m)_n = (r_m)^n$  pour  $(n = 0, 1, 2, \dots, m - 1)$ .

Une série est un nombre de valeurs différentes dans une décade, par exemple :

- ▷ Dans la série E<sub>3</sub> nous avons trois valeurs possibles dans la décade de 1 à 10  $\Omega$  : 1.0, 2.2 et 4.7  $\Omega$ . La raison  $r_3 = \sqrt[3]{10} = 2.15$ , alors  $(E_3)_0 = 1$ ,  $(E_3)_1 \simeq 2.2$  et  $(E_3)_2 \simeq 4.7$ . Dans la décade de 10 à 100  $\Omega$  il suffit de multiplier les valeurs de la décade de 1 à 10  $\Omega$  par 10, i.e ; 10, 22 et 47  $\Omega$ . Dans la décade de 100 à 1 k $\Omega$  il suffit de multiplier les valeurs de la décade de 1 à 10  $\Omega$  par 100, i.e ; 100, 220 et 470  $\Omega$ . D'où les valeurs possibles pour la série E<sub>3</sub> : 1.0, 2.2, 4.7, 10, 22, 47, 100, 220 et 470, ... etc.
- ▷ Dans la série E<sub>12</sub> nous avons 12 valeurs possibles par décade : 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, et 8.2. Dans cette série E<sub>12</sub> et pour les résistances dont la valeur est comprise entre 10 k $\Omega$  et 100 k $\Omega$  (décade 10k $\Omega$  à 100k $\Omega$ ), nous aurons : 10 k $\Omega$ ; 12 k $\Omega$ ; 15 k $\Omega$ ; 18 k $\Omega$ ; 22 k $\Omega$ ; 27 k $\Omega$ ; 33 k $\Omega$ ; 39 k $\Omega$ ; 47 k $\Omega$ ; 56 k $\Omega$ ; 68 k $\Omega$  et 82 k $\Omega$ <sup>6</sup>.

6. Remarque : la série E<sub>12</sub> n'étant plus fabriquée, elle est extraite de la série E<sub>24</sub>.

Em	m	$\sqrt[m]{10}$	Tolér	Observation
E3	3	2.15	±50%	N'est plus utilisée
E6	6	1.47	±20%	Vieux postes à lampes
E12	12	1.21	±10%	Extraite de la série E24
E24	24	1.10	±5%	Électronique grand public
E48	48	1.05	±2%	Prototypage
E96	96	1.02	±1%	Filtres BF et précision
E192	192	1.01	±0.5%	Instrumentation

TABLE 1.1: Séries E des valeurs standards pour les résistances.

### 1.8.2 Code des couleurs

Pour certains composants électriques, les valeurs caractéristiques sont directement indiquées sur le composant, par exemples, sur des résistances de puissance (à partir d'1W), on trouve 0R2 pour 0.2 Ω, 8R2 pour 8.2 Ω, 100 pour 100 Ω, . . ., etc. Sur des capacités nous pouvons trouver 0N1 pour 100 pF, 47 n pour 47 nF, 47 μ pour 47 μF, . . ., etc.

Toutefois, ce n'est pas le cas de toutes les résistances, capacités ou bobines. C'est pour ça que le code couleur permet de déterminer directement, sans appareil de mesure, la valeur d'un composant. Pour les résistances la

référence étant "1 Ω", pour les capacités 1 pF et 1 μH pour les bobines. Le code des couleurs est représenté dans le tableau 1.2 avec les indices correspondants aux couleurs ainsi qu'un moyen mnémotechnique pour le retenir<sup>7</sup> :

### 1.8.3 Lecture du code des couleurs

Noir	0	N	Ne
Marron	1	M	Mangez
Rouge	2	R	Rien
Orange	3	O	Ou
Jaune	4	J	jeûner
Vert	5	V	Voilà
Bleu	6	B	Bien
Violet	7	V	Votre
Gris	8	G	Grande
Blanc	9	B	Bêtise

7. Remarque : en cas d'hésitation entre le Vert et le Violet ou le Bleu et le Blanc, il s'agit en fait du défilement des couleurs de l'arc-en-ciel entre la valeur 1 (Marron) et 7 (Violet).

TABLE 1.2: Code couleurs

Si une résistance est marquée par 4 ou 5 bandes de couleur. La bande de couleur Or ou Argent qui indique la tolérance (ou précision) de la valeur est mise toujours à droite (voir figure ??). Pour lire la valeur en ohms d'une résistance on commence toujours de gauche à droite. Les

deux ou trois premières bagues indiquent la valeur normalisée de la résistance, tandis que l'avant dernière donne un chiffre multiplicateur. Pour une résistance à 6 bandes de couleur, la sixième bande correspond au coefficient de température (en ppm : partie par million), les cinq autres bandes se lisent de la même façon qu'une résistance avec seulement cinq bandes de couleur.

Supposons cependant que sur une résistance la dernière bague soit effacée ou que l'on confonde le rouge et l'orange ou bien le vert et le bleu. Dans ces cas-là, vous devez toujours vous souvenir que le nombre que vous obtiendrez doit correspondre à l'une des valeurs standards (multiplicateur ou diviseur) définies par les séries E3, E6, E12, E24, E48, E96 et E192 :

Série E6 (tolérance 20%) : 10, 15, 22, 33, 47, 68.

Série E12 (tolérance 10%) : 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82.

Série E24 (tolérance 5% et 1% ) : 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91.

Série E48 (tolérance 2%) : 100, 105, 110, 115, 121, 127, 133, 140, 147, 154, 162, 169, 178, 187, 196, 205, 215, 226, 237, 249, 261, 274, 287, 301, 316, 332, 348, 365, 383, 402, 422, 442, 464, 487, 511, 536, 562, 590, 619, 649, 681, 715, 750, 787, 825, 866, 909, 953.

Série E96 (tolérance 1%) : 100, 102, 105, 107, 110, 113, 115, 118, 121, 124, 127, 130, 133, 137, 140, 143, 147, 150, 154, 158, 162, 165, 169, 174, 178, 182, 187, 191, 196, 200, 205, 210, 215, 221, 226, 232, 237, 243, 249, 255, 261, 267, 274, 280, 287, 294, 301, 309, 316, 324, 332, 340, 348, 357, 365, 374, 383, 392, 402, 412, 422, 432, 442, 453, 464, 475, 487, 499, 511, 523, 536, 549, 562, 576, 590, 604, 619, 634, 649, 665, 681, 698, 715, 732, 750, 768, 787, 806, 825, 845, 866, 887, 909, 931, 953, 976.

Série E192 (tolérance 0.5%, 0.25% and 0.1%) : 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 117, 118, 120, 121, 123, 124, 126, 127, 129, 130, 132, 133, 135, 137, 138, 140, 142, 143, 145, 147, 149, 150, 152, 154, 156, 158, 160, 162, 164, 165, 167, 169, 172, 174, 176, 178, 180, 182, 184, 187, 189, 191, 193, 196, 198, 200, 203, 205, 208, 210, 213, 215, 218, 221, 223, 226, 229, 232, 234, 237, 240, 243, 246, 249, 252, 255, 258, 261, 264, 267, 271, 274, 277, 280, 284, 287, 291, 294, 298, 301, 305, 309, 312, 316, 320, 324, 328, 332, 336, 340, 344, 348, 352, 357, 361, 365, 370, 374, 379, 383, 388, 392, 397, 402, 407, 412, 417, 422, 427, 432, 437, 442, 448, 453, 459, 464, 470, 475, 481, 487, 493, 499, 505, 511, 517, 523, 530, 536, 542, 549, 556, 562, 569, 576, 583, 590, 597, 604, 612, 619, 626, 634, 642, 649, 657, 665, 673, 681, 690, 698, 706, 715, 723, 732, 741, 750, 759, 768, 777, 787, 796, 806, 816, 825, 835, 845, 856, 866, 876, 887, 898, 909, 920, 931, 942, 953, 965, 976, 988.

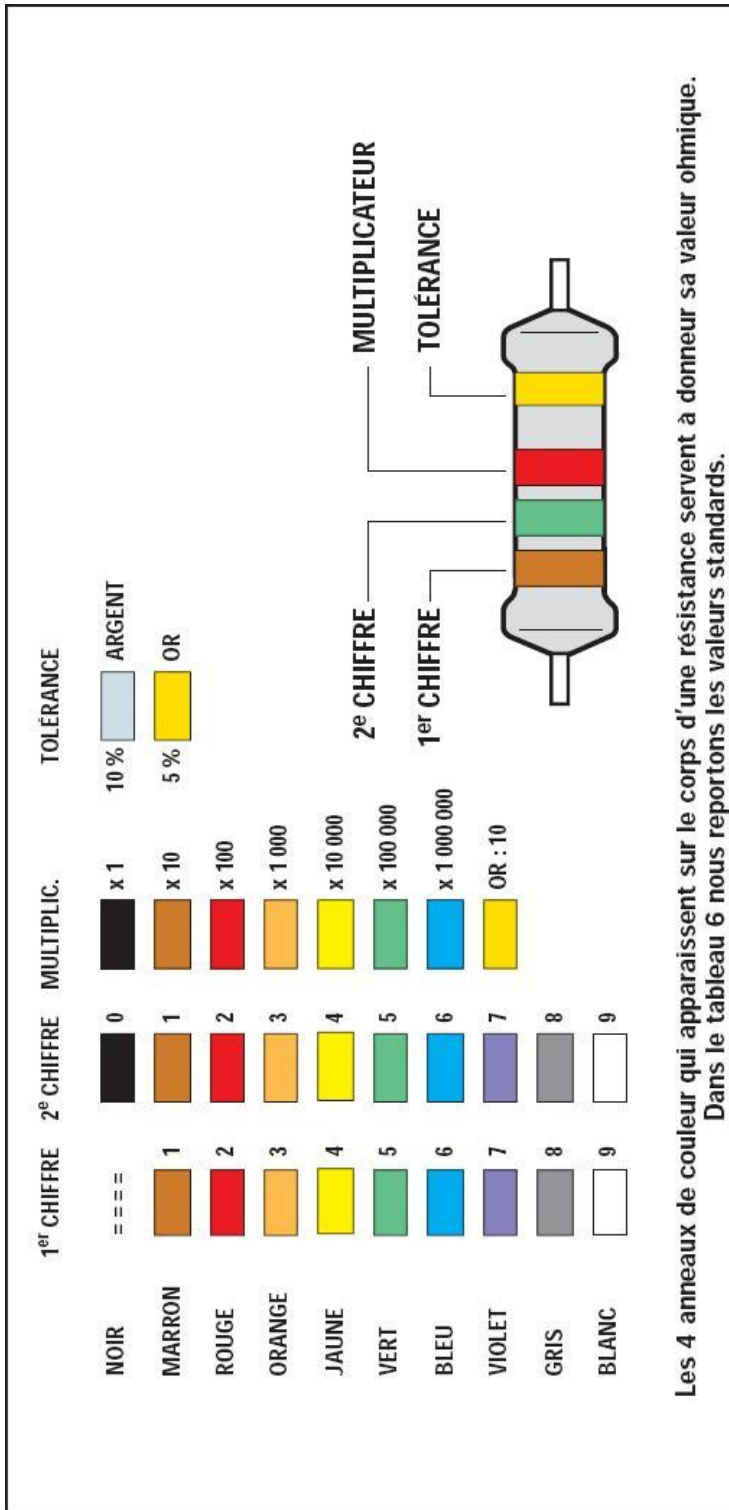


FIGURE 1.11: Code couleurs des résistances.



## 2 TP N° 2 : Oscilloscope

### 2.1 INTRODUCTION

Un oscilloscope est un appareil de mesure électronique de représentation graphique sur un écran d'une ou de plusieurs différences de potentiels (ou autres grandeurs physiques préalablement transformées en tension) variables en fonction du temps. Ainsi, il peut s'apparenter à un voltmètre et doit être branché en dérivation. Avec cet appareil il est possible de voir directement la forme de variation d'une ou deux tensions appelée oscillogrammes. La visualisation des signaux nous permet la mesure des amplitudes, des périodes et les déphasages. L'oscilloscope est caractérisé par la propriété de ne pas modifier, d'une façon sensible, la mesure d'un signal. On distingue généralement deux types d'oscilloscopes : analogiques et numériques.

#### 2.1.1 Oscilloscope analogique

Les oscilloscopes analogiques<sup>1</sup> utilisent directement un multiple de la tension d'entrée pour produire la visualisation d'un signal électrique (en particulier périodiques). La tension mesurée traverse un amplificateur réglable et est projetée sur un écran. Il est constitué principalement d'un tube cathodique<sup>2</sup> et un système de déviation des électrons.

**Tube cathodique :** Il comprend un canon à électrons<sup>3</sup> qui produit (par effet thermoélectronique et à l'aide de lentille électrostatique) un faisceau électronique mince. Celui-ci vient frapper un écran couvert d'une couche électroluminescente réagissant aux collisions des électrons par l'émission d'une lumière. Le point lumineux créé sur l'écran est appelé spot.

**Système de déviation :** il est constitué de deux paires de plaques métalliques (chaque paire est disposée parallèlement l'une à l'autre). Lorsqu'une paire de plaques est soumise à un d.d.p un champ électrique

1. Les oscilloscopes analogiques ne jouent plus aujourd'hui qu'un rôle mineur. Les raisons sont d'ordre technique et pratique : possibilités réduites, taille de l'écran à tube cathodique trop importante et des oscilloscopes numériques toujours plus compétitifs. Les seuls domaines d'application des oscilloscopes analogiques simples sont dans le domaine de l'apprentissage, dans un lycée technique ou dans un cercle privé.
2. Un tube cathodique est une ampoule de verre dans laquelle le vide est très poussé.
3. dans le cas d'un téléviseur couleurs, c'est en fait un ensemble de trois canons à électrons disposés côte à côte, correspondant aux trois couleurs fondamentales : rouge, bleu, et vert.

est créée. Influencer par ce champ, le faisceau électronique est dévié suivant la direction du champ électrique. Une paire de plaques disposées verticalement (noté X) a pour effet la création d'une déviation horizontale (balayage horizontal de l'écran) et l'autre paire de plaques disposées horizontalement (noté Y) crée la déviation verticale (balayage vertical).

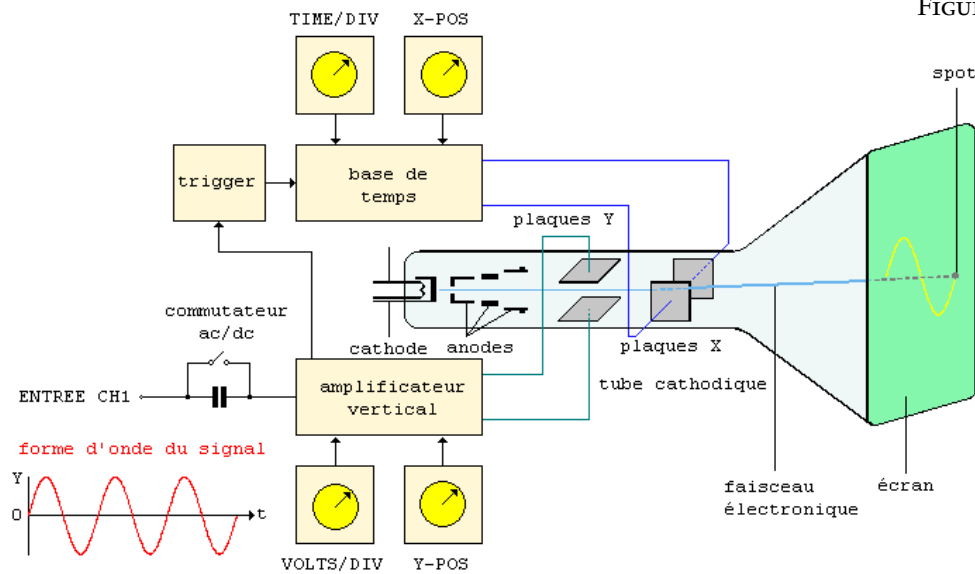


FIGURE 2.1: Tube cathodique.

### 2.1.2 Oscilloscope numérique

Les oscilloscopes numériques (DSO : Digital Sampling Oscilloscope) sont utilisés de plus en plus fréquemment. Ils transforment, préalablement à tout traitement, la tension d'entrée en valeurs numériques. Exécutent un traitement numérique et analogique et sont capables de stocker les données mesurées. Les données sauvegardées sont ensuite transférables vers une clé USB ou un ordinateur. L'affichage est reconstruit après coup. Il devient alors une fonction annexe de l'appareil, la visualisation du signal étant effectuée par un ordinateur intérieur ou extérieur.

L'oscilloscope numérique dispose également d'une multitude de fonctions supplémentaires :

- **Pré-déclenchement** : Cette option permet d'enregistrer et de visualiser le signal avant l'instant de déclenchement.
- **Création d'une valeur moyenne** sur la base de nombreuses pé-



riodes mesurées.

- **Possibilité d'incorporer un logiciel analytique** pour calculer par exemple, le temps de montée, l'étendue des oscillations, l'amplitude, la fréquence, . . . etc.
- **Réglage automatique** sur un signal inconnu.
- **Calcul des sommes et différences** entre les signaux.
- affichage de spectres de fréquence, histogrammes, statistiques.

La tension d'entrée est traitée avec un convertisseur analogique numérique. Afin de gérer des signaux à haute fréquence, plusieurs convertisseurs numériques sont connectés en parallèle. La tension est déterminée par une résolution verticale (axe Y) et temporelle. Elle sera définie également par la largeur de bande analogique de l'oscilloscope et de la fréquence d'échantillonnage. Plus cette fréquence sera élevée, plus la résolution possible sera élevée. Une autre donnée importante chez un oscilloscope est sa capacité mémorielle, autrement dit le nombre de valeurs mémorisables. Elle se répartit sur le nombre de canaux utilisés pour la mesure de la tension.

### 2.1.3 Commandes de base d'un oscilloscope

#### 1 Commandes relatives au tube cathodique.

- Boutton ON/OFF ou POWER : permet la mise en marche (ou arrêt) de l'oscilloscope.
- Boutton INTEN ou INTENSITY : permet de régler l'intensité lumineuse du spot.
- Boutton FOCUS : permet le réglage de la dimension du spot.

#### 2 Commandes relatives a la déviation verticale.

- Rotacteur VOLTS/DIV : permet le réglage de l'échelle des tensions dans la direction verticale de l'écran.  
Chaque 1cm (carreau) correspond à une tension égale à celle indiquée par le rotacteur si le bouton de calibration CAL est dans sa position extrême dans le sens de la flèche.
- Bouton POSITION ( $\updownarrow$ ) (ou Y-POS) : permet de déplacer le spot dans la direction verticale de l'écran.
- Bouton CH2 INVERT : permet d'inverser de bas en haut le signal de la voie d'entrée CH2 (Y).
- Commutateur DC/AC/GND : DC (Direct Curent) permet de visualiser un signal continu, AC pour visualiser un signal alternatif et GND correspond a un signale 0 volt.
- Commutateur  $\times 5$  MAG : permet de multiplier l'échelle vertical par 5, par exemple, si le rotacteur VOLTS/DIV est réglé sur le calibre 1 Volt par centimètre, en appuyant sur le commutateur  $\times 5$  MAG l'échelle passe a  $1V/5cm$ , c-a-d;  $0.2V/cm$ .

### 3 Commandes relatives a la déviation horizontale.

- Rotacteur TIME/DIV (ou SEC/DIV ) : permet le réglage de l'échelle du temps dans la direction horizontale de l'écran. Chaque  $1cm$  (carreau) correspond a un intervalle de temps égale a celui indiquer par le rotacteur si le bouton de calibration CAL est dans sa position extrême dans le sens de la flèche.
- Bouton POSITION ( $\leftrightarrow$ ) (ou X-POS) : permet de déplacer le spot dans la direction horizontale de l'écran.
- Commutateur  $\times 5$  MAG : permet de multiplier l'échelle horizontale par 5, par exemple, si le rotacteur SEC/DIV est réglé sur le calibre  $2ms/cm$ , en appuyant sur le commutateur  $\times 5$  MAG l'échelle passe a  $2ms/5cm$ , c-a-d ;  $0.4ms/cm$ .
- Mode X-Y : est utilisé pour supprimer la base de temps, ainsi il permet de visualiser le signal de la voie 2 (CH2 (Y) ) en fonction du signal de la voie 1 (CH1 (X) ).

### 4 Commandes du système de déclenchement.

Le système de déclenchement permet de stabiliser l'affichage d'un signal sur l'écran. Il existe deux modes de déclenchement, mode relaxé et mode déclenché. Pour bien définir ces modes il faut d'abord définir le système d'horloge ou base de temps qui contrôle la période de la différence de potentiel, en forme de dents de scie, appliquée au plaques de déviation horizontale du tube cathodique.

- **Base de temps** : elle contient un commutateur de calibre (SEC/DIV) et un potentiomètre de position horizontale ( $\leftrightarrow$ ). En l'absence de signale sur les voie 1 et 2 (position ground GND) le spot lumineux ce déplace de gauche a droite avec une vitesse constante dont la valeur dépend du calibre de la base de temps. Lorsque le spot atteint l'extrémité droite de l'écran, il revient rapidement à l'extrémité gauche. Ce processus se répète d'une façon périodique avec une période qu'on note  $t_0$ . En mode X-Y, la base de temps est remplacée par le signal de la voie 1.
- **Balayage** La tension appliquée sur les plaques X est une rampe linéaire d'équation  $V_x = a \cdot t$ , figure 2.2. Pour produire cette tension, un condensateur de capacité  $C$  est chargé avec un courant constant  $I$ . A partir des relations  $dQ = CdV_x$  et  $I = dQ/dt$ , ou  $dQ$  est la charge, nous pouvons déduire que  $a = I/C$ .

Quand la tension  $V_x$  atteint la valeur  $V_m$  qui correspond à l'extrémité droite de l'écran un comparateur de tension commande

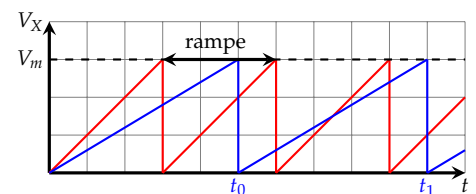


FIGURE 2.2: Tension en forme de dents de scie appliquée sur les plaques X.

la décharge brutale du condensateur ce qui ramène le spot à l'extrémité gauche de l'écran. En modifiant les valeurs de  $I$  et de  $C$ , nous pouvons régler la durée  $t_0$  que met le spot pour parcourir l'écran. Ceci est possible grâce au rotacteur SEC/DIV. Si on choisit, par exemple, un réglage de 0.2 seconde le spot mettra 2 secondes pour parcourir les 10 carreaux (ou 10 cm) de l'écran.

Le mode X-Y est un mode sans balayage ; c-a-d que les plaques de déviation horizontale ne sont plus soumises à la d.d.p en dents de scie de la base de temps. Dans ce mode les plaques X sont soumises à la tension associée au signal de la voie 1 (CH1 (X)).

**Remarque** : l'horizontalité de la trace du spot peut être réglée, en mode balayage, en agissant avec un tournevis sur la vis TR (TRACE ROTATION).

- **Modes de balayage**

**Mode relaxé** : Dans ce type de balayage, on démarre immédiatement une nouvelle rampe à la suite de la précédente. Si la durée du balayage n'est pas exactement égale à un multiple de la période  $T$  du signal observé, la valeur de la tension au départ du nouveau balayage va être différente de celle du précédent. Il en résulte que les oscillogrammes de chaque rampe ne vont pas se superposer, l'image est donc instable.

**Mode déclenché manuel** : Dans ce mode, après le retour du spot, on diffère le départ du nouveau balayage. Celui-ci ne démarre que lorsque la tension du signal devient égale à une tension de seuil réglée par l'utilisateur. Le comparateur change d'état et déclenche le départ de la rampe. On assure ainsi la synchronisation du balayage avec le signal à observer. Le mode déclenché manuel est déclenché en appuyant sur le commutateur NORMAL. Le réglage se fait à l'aide du bouton LEVEL et du commutateur (+/-).

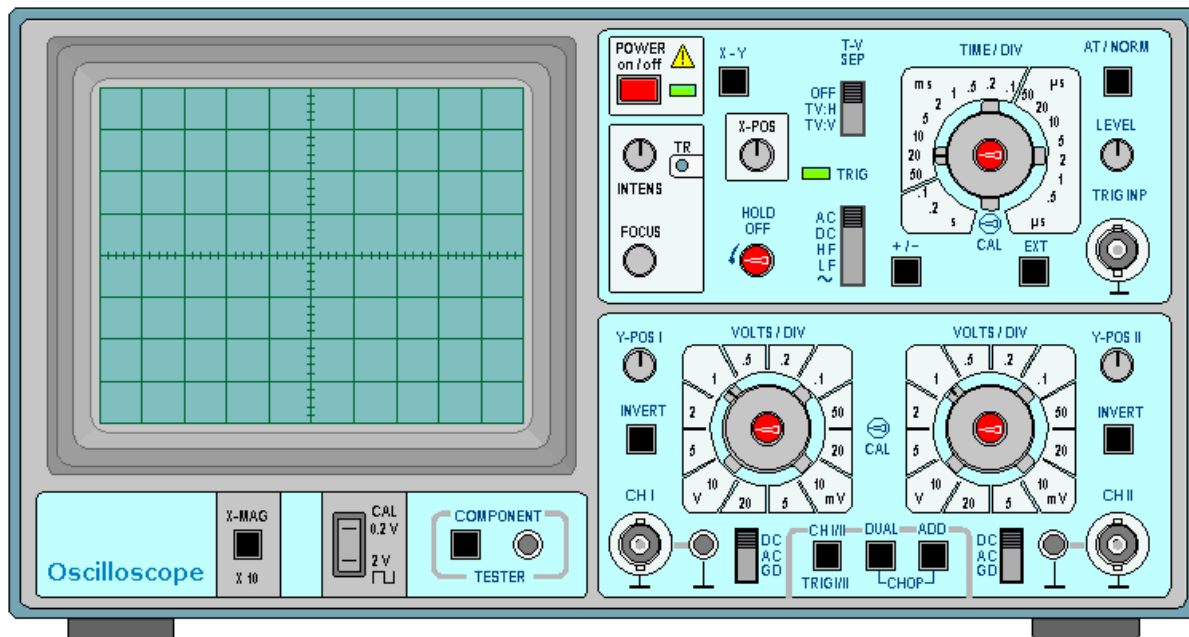
Dans le mode déclenché manuel, le système de balayage est enclenché, il n'y a déclenchement que s'il existe un signal sur la voie choisie comme source. En l'absence de signal sur cette voie, aucune trace n'est visualisée.

**Mode déclenché automatique** : Quand ce mode est en marche, la tension de seuil du comparateur est pré-réglée à une valeur voisine de zéro. Dès qu'un signal est appliqué la synchronisation fonctionne. Le mode déclenché automatique est déclenché en appuyant sur le commutateur AUTO.

En mode choppé ou en mode alterné, la rampe de balayage est commune aux deux signaux. Pour obtenir la synchronisation des deux voies, il faut impérativement que les deux signaux étudiés aient exactement la même fréquence.

Dans les commandes relatives au débranchement nous trouvons aussi le commutateur SOURCE (FC) (CH1, CH2, LINE et EXT). Une entrée TRIG IN qui permet de provoquer le déclenchement par une tension externe. Les modes TV : V et TV : H sont utilisés quand on travail sur un poste de télévision.

- 5 **Commandes de sélection des signaux a visualiser** Le commutateur a quatre positions : CH1, CH2, DUAL et ADD permet de sélectionner quelle(s) trace(s) sera visible(s) sur l'écran. On peut ainsi obtenir :
- Un seul signal (celui de la voie d'entrée CH1 ou celui de CH2).
  - Deux signaux simultanément en position DUAL.
  - Le signal somme en position ADD.



## 2.2 MANIPULATION DE L'OSCILLOSCOPE

ON/OFF ou POWER	mise en marche/arrêt.
INTEN ou INTENSITY	Réglage d'intensité lumineuse du spot.
FOCUS	Réglage de la dimension du spot.
VOLTS/DIV	Réglage de l'échelle verticale de l'écran.
CAL	Calibrage de l'échelle.
POSITION ( $\updownarrow$ ) (ou Y-POS)	Déplacement du spot dans la direction verticale de l'écran.
CH2 INVERT	Inversement du signal de la voie d'entrée CH2 (Y).
DC	Visualisation d'un signal continu
AC	visualisation d'un signal alternatif
GND	signale 0 Volt.
$\times 5$ MAG	Multiplie l'échelle par 5.
TIME/DIV (ou SEC/DIV )	Réglage de l'échelle horizontale de l'écran.
POSITION ( $\leftrightarrow$ ) (ou X-POS)	Déplacement du spot dans la direction horizontale de l'écran.
Mode X-Y	Supprimer la base de temps et visualiser CH2 (Y) en fonction de CH1 (X).
NORMAL	mode déclenché manuel
LEVEL et (+/-)	Réglage du mode déclenché manuel.
AUTO	mode déclenché automatique.
TRIG IN	déclenchement par une tension externe.
CH1	visualiser sur l'écran le signal de la voie d'entrée CH1.
CH2	visualiser sur l'écran le signal de la voie d'entrée CH1.
DUAL	visualiser sur l'écran simultanément deux signaux.
ADD	visualiser sur l'écran le signal somme.
TV : V et TV : H	pour travailler sur un téléviseur.
TR (TRACE ROTATION)	Réglage de l'horizontalité de la trace du spot

- Fixer le rotacteur SEC/DIV (TIME/DIV) sur la valeur 0.2 s/div. En utilisant un chronomètre, calculer le temps mis par le spot pour parcourir 10 carreaux de l'écran et comparez-le à celui de la base de temps.
- Régler une fréquence  $\sim 2$  Hz sur le générateur de fonctions (GBF). Puis, reliez sa sortie 50  $\Omega$  avec la voie CH1 et la masse de l'oscilloscope (la borne rouge du GBF est branchée avec l'entrée CH1 et la borne noir avec la masse de la voie CH1).
  - Tournez le rotacteur base de temps sur la position XY.
  - Faire varier la fréquence et l'amplitude de GBF puis le rotacteur VOLT/DIV de la voie CH1. Observer le mouvement

du spot.

- Refaire la manipulation pour les autres types de signaux du GBF ( $\wedge$ ,  $\sqcap$ ) et donner une conclusion.
3. Rétablir la manipulation (1.) en branchant les voies CH<sub>1</sub> et CH<sub>2</sub> avec la borne rouge du GBF, le commutateur en mode DUEL. Commenter la figure affichée sur l'écran.
  4. Refaire la manipulation (1.) en remplaçant la voie CH<sub>1</sub> par CH<sub>2</sub> et examiner le mouvement du spot.
  5. Choisissez un signal sinusoïdal de fréquence  $\sim 100$  Hz sur le GBF.
    - Relier la borne rouge du GBF à la voie CH<sub>1</sub> et sa borne noir avec la masse de l'oscilloscope.
    - Régler la base du temps sur la position 1 ms et les commutateurs MODE sur CH<sub>1</sub> et AUTO. Si le signal ne s'affiche pas sur l'écran agir sur le bouton LEVEL.
    - Regarder la mobilité de spot en changeant la fréquence, l'amplitude et le rotacteur VOLT/DIV.
  6. Régler la base du temps sur la position 1 ms et les commutateurs MODE sur CH<sub>1</sub> et NORMAL, la fréquence de GBF à  $\sim 100$  Hz.
    - Déplacer le signal affiché de 1 cm (1 carreau) vers la droite en utilisant le bouton X POSITION.
    - Synchronisé le signal sur l'écran en utilisant sur LEVEL.
    - Varier la tension de déclenchement au moyen de bouton LEVEL.
    - Examiner le rôle de bouton SLOP et INVERT CH<sub>2</sub>.
  7. Brancher de nouveau le GBF à la voie CH<sub>2</sub> de L'oscilloscope (CH<sub>1</sub> est remplacé par CH<sub>2</sub>).
    - Mettre le rotacteurs de VOLT/DIV et la base du temps SEC/DIV sur les positions 1 Volt et 2 ms, respectivement.
    - Régler au moyen du bouton Amplitude sur le GBF la tension  $V_{cc}$  (crête à crête) du signal à 5 V.

- Choisir le MODE NORMAL sur trigger et régler la tension de déclenchement à 2 Volts.
  - Dessiner sur une feuille millimétrée, le signal affiché sur l'écran en appuyant sur les différentes boutons SLOPE (+/-) et INVERT CH2.
  - Expliquer l'influence de ces boutons Sur le signal.
8. Sur le GBF, choisissez un signal sinusoïdale de fréquence  $\sim 150$  Hz et reliez sa sortie 50 aux voies CH1 et CH2 de l'oscilloscope.
- Positionner les rotateurs VOLT/DIV sur les positions 1 V et 2 V pour CH1 et CH2, respectivement ; la base de temps SEC/DIV est réglée sur 2 ms.
  - Appuyer sur le bouton MODE AUTO CH1 puis régler la tension  $V_{cc}$  à 6 Volts.
  - Remplacer le commutateur MODE AUTO par NORMAL ensuite fixer la tension de déclenchement à 3 Volts.
  - Mettez le mode DUEL et observer les deux signaux des deux voies.
  - Pour des positions différentes des boutons SLOPE (+/-) et INVERT CH2. Pour une période tracer sur une feuille millimétrée les deux tensions observées sur l'écran.
9. Ecrire une conclusion





## 3 TP N° 3 : Loi d'Ohm et Impédance

La loi d'Ohm est une relation linéaire entre la différence de potentiel et le courant électrique au borne d'une résistance. Dans un circuit électrique alimenté par une tension alternative, la notion d'impédance ( $Z$ ) est une généralisation de la notion de résistance ( $R$ ).

### Objectif

- Vérification de la loi d'Ohm généralisée.
- Mesure d'impédance électrique.
- Déduction de l'inductance d'une bobine et de la capacité d'un condensateur.

### 3.1 ÉTUDE THÉORIQUE

Soit un dipôle électrique d'impédance  $Z^1$  est soumis à une tension  $u_{AB}(t)$ , entre ses deux bornes A et B ; le dipôle sera parcouru par un courant électrique  $i(t)$ . La loi d'Ohm généralisée s'écrit sous la forme :

$$u_{AB}(t) = Z i(t) \quad (3.1)$$

Soit le circuit électrique représenté sur la figure ci-dessous :

Le dipôle d'impédance  $Z_x$  peut être : une résistance  $R$ , une bobine d'inductance  $L$  et résistance interne  $r$ , un condensateur de capacité  $C$ , ou une combinaisons de plusieurs dipôles électriques.

Considérons le circuit de la figure 3.2 soumis à une tension (ou la d.d.p) sinusoïdale  $e(t) = E \cos(\omega t)$  ( $\omega = 2\pi f$  la pulsation avec  $f$  la fréquence du signal) et  $Z = R + Z_x$  l'impédance totale du circuit électrique. Nous pouvons écrire :

$$e(t) = Z i(t) \quad (3.2)$$

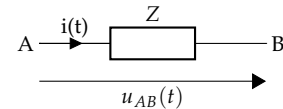


FIGURE 3.1: Dipôle électrique d'impédance  $Z$

1. L'impédance électrique mesure l'opposition d'un circuit électrique au passage d'un courant variable dans le temps. La définition de l'impédance est une généralisation de la loi d'Ohm pour une tension alternatif. Le mot impédance fut inventé par Oliver Heaviside en juillet 1886. Il vient du verbe anglais to impede signifiant « retenir », « faire obstacle à » ; verbe qui dérive lui-même du latin impedire qui veut dire « entraver ». (<https://fr.wikipedia.org>)

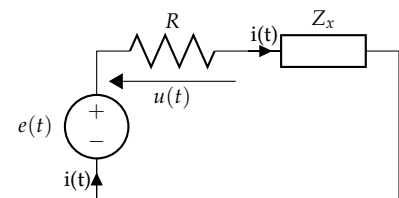


FIGURE 3.2: Circuit R.Z

La tension  $u(t)$  au bornes de la résistance  $R$  est définie par la loi d'Ohm :

$$u(t) = R i(t) \quad (3.3)$$

La combinaison des équations (6.24) et (6.25) nous permet de déduire l'impédance totale :

$$Z = \frac{e(t)}{u(t)} R \quad (3.4)$$

Nous rappelons que l'impédance est une grandeur complexe  $Z = \Re(Z) + j \Im(Z)$ . De l'équation (6.26) nous pouvons déduire que :

$$|Z| = \frac{e_{max}}{u_{max}} R \quad \text{et} \quad |Z| = \frac{e_{eff}}{u_{eff}} R ; \left( e_{eff} = \frac{e_{max}}{\sqrt{2}} \right) \quad (3.5)$$

$e_{max}$  et  $e_{eff}$  sont les valeurs maximale et efficace. Les impédances :  $Z_{R_x}$  d'une résistance  $R_x$ ,  $Z_L$  d'une bobine de résistance interne  $r$  et d'inductance  $L$  et  $Z_C$  d'un condensateur de capacité  $C$ , sont définies par les formules suivantes :

$$Z_{R_x} = R_x, \quad Z_L = r + j\omega L \quad \text{et} \quad Z_C = \frac{1}{jC\omega} \quad (3.6)$$

Ainsi

$$|Z_{R_x}|^2 = R_x^2, \quad |Z_L|^2 = r^2 + (\omega L)^2 \quad \text{et} \quad |Z_C|^2 = \frac{1}{(C\omega)^2} \quad (3.7)$$

## 3.2 ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Dans ce travail, nous allons déterminer les caractéristiques d'un dipôle électrique en utilisant un oscilloscope et un multimètre.

### 3.2.1 Résistance

Réaliser le circuit électrique présenté sur la figure 3.3 :

- Fixer la fréquence du GBF (Générateur à Basses Fréquences) à 100 Hz.
- Afficher sur l'écran les signaux des deux voies CH1 et CH2 et régler les calibres verticaux et horizontal.
- Relever les tensions crête-à-crête  $e_{cc}$  et  $u_{cc}$
- Déduire les valeurs maximales  $e_{max}$  et  $u_{max}$ .
- Utiliser le multimètre pour mesurer les tensions  $e_{eff}$  et  $u_{eff}$ .

2.  $\Re(Z)$  la partie réelle de  $Z$  et  $\Im(Z)$  sa partie imaginaire

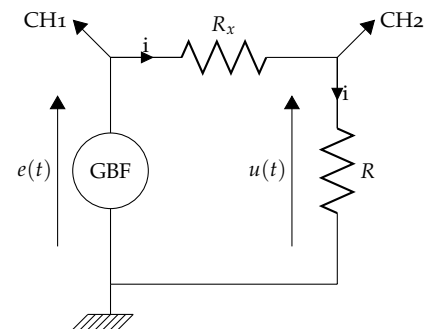


FIGURE 3.3: Circuit R.R

- Organiser les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Oscilloscope	$R =$	$e_{max} =$	$u_{max} =$
Multimètre	$R =$	$e_{eff} =$	$u_{eff} =$

- 1 Utiliser les équations en (6.27) pour trouver la résistance  $R_x$ .
- 3 Changer la valeur de  $R$  et suivez les mêmes étapes précédentes, pour déterminer de nouveau la valeur de la résistance  $R_x$
- 4 Discuter les résultats.

**3.2.2 Condensateur**

Dans le circuit électrique présenté dans la figure 3.3 remplacer la résistance  $R_x$  par un condensateur de capacité  $C_x$ , c.-à-d, d'impédance  $Z_{C_x}$ . Vous obtenez le circuit présenter sur la figure 3.4.

Suivre les mêmes étapes précédentes pour relever les tensions  $e_{max}$ ,  $e_{eff}$ ,  $u_{max}$  et  $u_{eff}$ . Organiser les résultats dans le tableau suivant :

Oscilloscope	$R =$	$e_{max} =$	$u_{max} =$
Multimètre	$R =$	$e_{eff} =$	$u_{eff} =$

Relever la période  $T$  du signal à partir de l'oscilloscope.

- 1 Calculer la fréquence à partir de la période et comparer le résultat avec celui donné par le GBF.
- 2 Utiliser les équations en (6.27) pour trouver la valeur de l'impédance  $|Z_{C_x}|$ .
- 3 Déterminer la valeur de la capacité  $C_x$  du condensateur.
- 5 Utiliser maintenant une autre condensateur en serie avec  $C_x$  (voir figure 3.5) et refaire le même travail en organisant les nouveaux résultats dans un nouveau tableau.
- 6 Trouver la valeur de la capacité équivalente  $C_{eq}$  et déduisez, de nouveau, la valeur de la capacité  $C_x$ .
- 7 comparer la nouvelle valeur  $C_x$  avec la précédente.
- 7 Discuter les résultats.

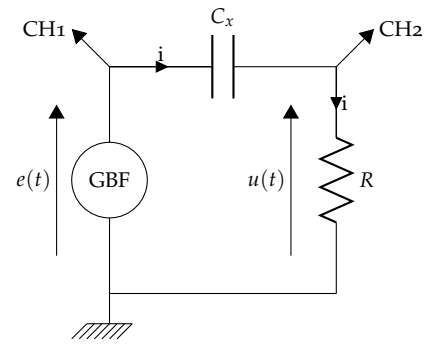


FIGURE 3.4: Circuit R.C

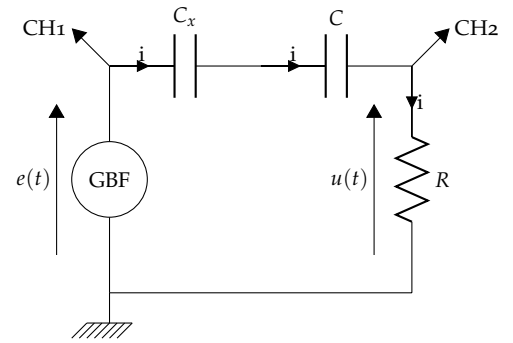


FIGURE 3.5: Circuit R.C-C

## 3.2.3 Bobine

Dans le circuit électrique présenté dans la figure 3.3 remplacer la résistance  $R_x$  par une bobine<sup>3</sup> de résistance interne  $r$  et d'inductance  $L_x$ , c.-à-d, d'impédance  $Z_{L_x}$ . Vous obtenez le circuit présenté sur la figure 3.6.

Suivre les mêmes étapes précédentes pour relever les tensions  $e_{max}$ ,  $e_{eff}$ ,  $u_{max}$  et  $u_{eff}$ . Organiser les résultats dans le tableau suivant :

Oscilloscope	$R =$	$e_{max} =$	$u_{max} =$
Multimètre	$R =$	$e_{eff} =$	$u_{eff} =$

Relever la période  $T$  du signal à partir de l'oscilloscope.

- 1 Calculer la fréquence à partir de la période et comparer le résultat avec celui donné par le GBF.
- 2 Utiliser les équations en (6.27) pour trouver la valeur de l'impédance  $|Z_L|$ .
- 3 Trouver la valeur de l'inductance  $L_x$ .
- 5 Introduire le noyau de fer à l'intérieur de la bobine et refaire les mêmes mesures en organisant les nouveaux résultats dans un nouveau tableau.
- 6 Trouver la nouvelle valeur de l'inductance  $L_x$
- 7 Discuter les résultats.

3. Une bobine, solénoïde, auto-inductance ou quelquefois self (par anglicisme). Une bobine est constituée d'un enroulement de fil conducteur éventuellement autour d'un noyau en matériau ferromagnétique qui peut être un assemblage de feuilles de tôle ou un bloc de ferrite. Les physiciens et ingénieurs français l'appellent souvent par synecdoque « inductance », ce terme désignant la propriété caractéristique de la bobine, qui est son opposition à la variation du courant dans ses spires. (<https://fr.wikipedia.org/>)

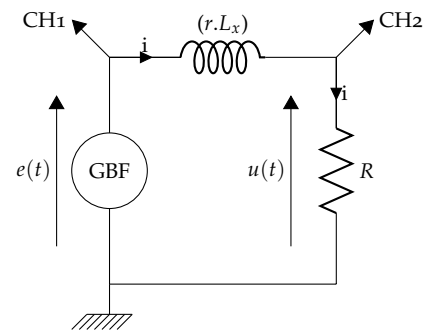


FIGURE 3.6: Circuit R.L

## 3.3 CONCLUSION

A partir des discussions des résultats donner une conclusion sur la loi d'Ohm et les impédances.

## 4 TP N° 4 : Pont de wheatstone.

Le pont de Wheatstone a été inventé en 1833 par Samuel Hunter Christie. C'est un instrument utilisé pour mesurer une résistance électrique inconnue avec une grande précision. L'instrument a été amélioré par Charles Wheatstone, popularisé en 1843 par ce dernier d'où le nom de pont de Wheatstone.

### Objectif

- Mesure d'une résistance électrique inconnue par équilibrage de tension en utilisant :
  - Le pont de Wheatstone.
  - Le pont à fil.

### 4.1 ÉTUDE THÉORIQUE

#### 4.1.1 Pont de Wheatstone

Le circuit sur la figure 4.1 représente le pont de Wheatstone.

Il contient deux branches reliées avec un générateur de tension. La première branche contient deux conducteurs ohmiques en série,  $R_1$  connue et  $R_x$  inconnue. La deuxième branche contient les résistances  $R_2$  connue et  $R_v$  variable.

La mesure de la résistance  $R_x$  consiste à équilibrer les potentiels  $u_c$  et  $u_d$  entre les points c et d, c-à-d ; trouver la valeur de la résistance  $R_v$  pour laquelle le voltmètre (ou galvanomètre) indique une tension  $u_{cd} = u_c - u_d = 0$ .

A partir du circuit de la figure 4.1, nous remarquons que l'intensité  $i_1$  du courant électrique passe dans la première branche. Nous pouvons déduire que

$$|u_a - u_c| = R_1 i_1 \quad (4.1)$$

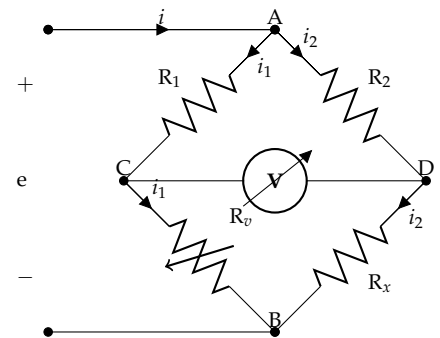


FIGURE 4.1: Pont de Wheatstone

$$|u_c - u_b| = R_v i_1 \quad (4.2)$$

Ainsi, si l'intensité  $i_2$  passe dans la deuxième branche nous pouvons déduire que

$$|u_a - u_d| = R_2 i_2 \quad (4.3)$$

$$|u_d - u_b| = R_x i_2 \quad (4.4)$$

Quand les potentiels  $u_c$  et  $u_d$  deviennent équilibrés, nous pouvons déduire des équations ci-dessus que :

$$R_1 i_1 = R_2 i_2 \quad (4.5)$$

$$R_v i_1 = R_x i_2 \quad (4.6)$$

Le rapport entre ces deux équations nous ramène à déduire le résultat

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_v \quad (4.7)$$

Par conséquent, pour déduire la résistance  $R_x$  d'un conducteur ohmique, il suffit de trouver la valeur de la résistance  $R_v$  qui annule la tension  $u_{cd}$ .

**Remarque :** Afin d'avoir une valeur précise de la résistance  $R_x$ , il faut choisir un appareil précis de mesure de tension ou de courant. Pour cette raison un galvanomètre est souvent utilisé au lieu d'un voltmètre.

#### 4.1.2 Pont à fil

Le pont à fil est un pont de Wheatstone dans lequel les résistances  $R_2$  et  $R_x$  de la deuxième branche sont remplacées par un fil conducteur ohmique de longueur  $L$ , de section  $S$  et de résistivité  $\rho$  (voir figure 4.2).

Il existe sur le fil un point  $c$  où le potentiel  $u_c$  est équilibré au potentiel  $u_d$  du point  $d$ , c-à-d,  $u_{cd} = u_c - u_d = 0$ . Il s'ensuit que, pour déterminer la valeur de la résistance  $R_x$  il suffit de trouver le point  $c$  sur le fil.

En comparant les deux circuits représentés sur les figures 4.1 et 4.2 nous pouvons directement voir que la portion du fil de longueur  $\lambda$  joue le rôle de la résistance  $R_1$  et la portion de longueur  $L - \lambda$  joue le rôle de la résistance  $R_v$  du premier circuit.

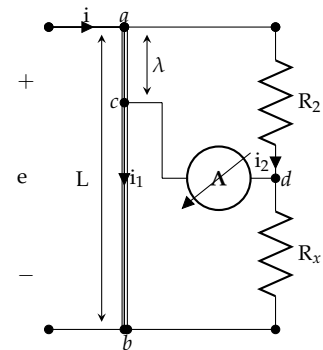


FIGURE 4.2: Pont à fil

En utilisant l'équation (4.7), et sachant que la résistance  $R$  du fil conducteur est égale à :

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (4.8)$$

nous pouvons déduire que

$$R_x = \frac{L - \lambda}{\lambda} R_2 \quad (4.9)$$

**Remarque :** D'après cette équation, nous pouvons voir que nous n'avons pas besoins de connaître la résistivité du fil conducteur pour déterminer la valeur de la résistance  $R_x$ .

## 4.2 TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

### 4.2.1 Pont de Wheatstone

- 1 Réaliser le circuit électrique de la figure 4.3 (équivalent au circuit de la figure 4.1), en utilisant une résistance  $R_2 = 50 \Omega$ .
- 2 Pour différentes valeurs de  $R_1$  trouver la valeurs de  $R_v$  qui équilibre de pont de Wheatstone en utilisant l'oscilloscope.
- 3 Déterminer les incertitudes  $\Delta R_1$ ,  $\Delta R_2$  et  $\Delta R_v$ .
- 4 Organiser les résultats dans le tableau suivant :

$R_1$	50	100	150	200
$\Delta R_1$				
$R_v$				
$\Delta R_v$				

- 5 Tracer la courbe  $R_v = f(R_1)$  et déduire la valeur de la résistance inconnue  $R_x$ .
- 6 Utiliser le tableau pour calculer l'incertitude  $\Delta R_x$ . Écrire le résultat sous la forme :

$$[R_x] = R_x \pm \Delta R_x \quad (4.10)$$

- 7 Discuter les résultats.

### 4.2.2 Pont à fil

- 1 Réaliser le circuit électrique de la figure 4.4 (équivalent au circuit de la figure 4.2).
- 2 Pour différentes valeurs de  $R_2$  trouver le point  $d$  qui équilibre le pont à fil en utilisant un oscilloscope.

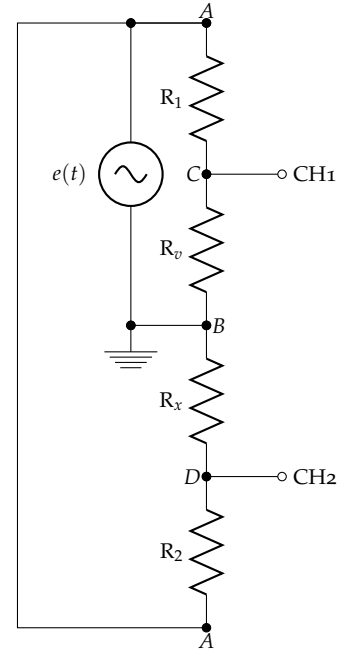


FIGURE 4.3: Pont de Wheatstone

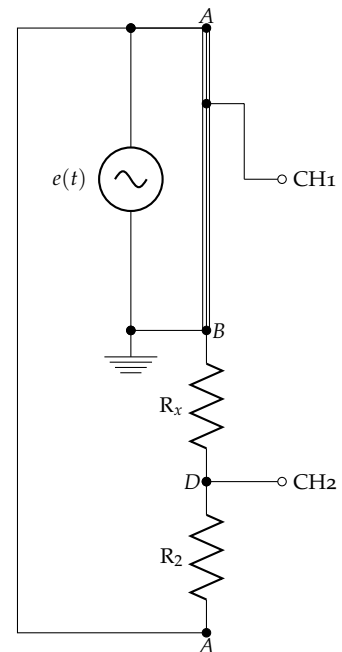


FIGURE 4.4: Pont à fil

- 4 Relever les valeurs de  $\lambda$  la longueur de la portion  $ac$  du fil conducteur et organiser les résultats dans le tableau suivant :

$R_2$	50	100	150	200
$\Delta R_2$				
$\lambda$				
$\Delta \lambda$				

- 5 Calculer la valeur moyenne  $\langle R_x \rangle$  de la résistance inconnue.  
 6 Utiliser le tableau pour déduire l'incertitude  $\Delta R_x$ . Écrire le résultat sous la forme :

$$[R_x] = \langle R_x \rangle \pm \Delta R_x \quad (4.11)$$

- 7 Discuter les résultats.

### 4.3 CONCLUSION

A partir des résultats obtenues donner une conclusion générale.



## 5 TP N° 5 : Charge Décharge d'un Condensateur.

Le condensateur est un dipôle électrique élémentaire, constitué de la superposition de deux armatures conductrices séparées par un isolant diélectrique. Ce composant électronique a la capacité de stocker des charges électriques  $q$  si une tension  $u_C$  est appliquée à ses armatures,  $q = C u_C$ .

### Objectif

- Étudier l'évolution de la tension et le courant aux bornes d'un condensateur lors de la charge et la décharge.
- Déterminer la capacité d'un condensateur à l'aide de l'oscilloscope.

### 5.1 ÉTUDE THÉORIQUE

#### 5.1.1 Charge d'un condensateur

Soit le circuit électrique RC représenté sur la figure 5.1 : composé d'un condensateur de capacité  $C$  en série avec un conducteur ohmique de résistance  $R$  et un interrupteur  $K$ , alimenté par une source de tension continue  $E$ .

En fermant l'interrupteur, un courant électrique  $i(t)$  commence à circuler dans le circuit au-cours de chargement du condensateur. Pendant ce temps de chargement, la loi de Kirchhoff des mailles nous permet d'écrire l'équation :

$$E = u_R(t) + u_C(t) \quad (5.1)$$

Sachant que

$$u_R(t) = R i(t) \text{ et } i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = C \frac{du_C(t)}{dt} \quad (5.2)$$

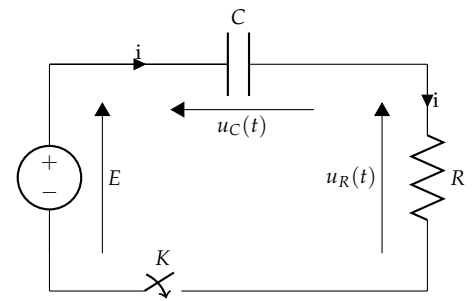


FIGURE 5.1: Circuit RC

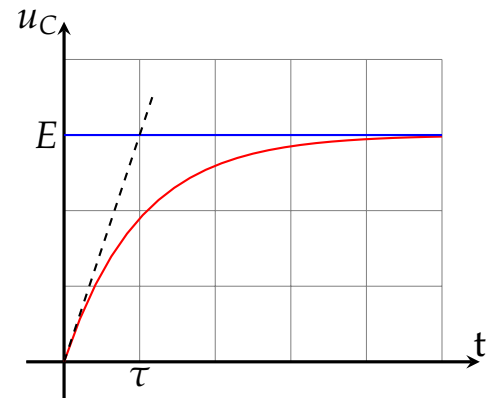


FIGURE 5.2: Variation de la tension  $u_C(t)$  aux bornes d'un condensateur au cours du temps lors de la charge.

nous pouvons donc déduire l'équation différentielle :

$$\tau \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = E \quad (5.3)$$

avec  $\tau = RC$ . Cette équation admet la solution :

$$u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (5.4)$$

De l'équation (5.2) nous pouvons déduire que

$$i_C(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.5)$$

### 5.1.2 Décharge d'un condensateur

Supposons maintenant que le condensateur est chargé. Ouvrons l'interrupteur  $K$ , débranchons le générateur et fermons le circuit. On obtient le circuit présenté sur la figure 5.4.

Il n'y a pas donc de circulation de courant dans le circuit ( $i(t) = 0$ ). Mais, dès l'instant où on ferme l'interrupteur un courant électrique  $i(t)$  commence à circuler dans le circuit. Ceci est dû au décharge du condensateur. La loi des mailles nous permet ainsi d'écrire l'équation :

$$u_R(t) + u_C(t) = 0 \quad (5.6)$$

À l'aide de l'équation (5.2) nous pouvons déduire l'équation différentielle :

$$\tau \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = 0 \quad (5.7)$$

Cette équation admet la solution suivante :

$$u_C(t) = E e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.8)$$

avec  $\tau = RC$ , défini précédemment.

De l'équation (5.8) nous pouvons déduire la variation de l'intensité de courant électrique au cours de la décharge :

$$i(t) = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5.9)$$

## 5.2 ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Dans cette étude nous utilisons un GBF au lieu d'un générateur de tension dans le circuit présenté sur la figure 5.1. Le GBF nous permet d'alimenter le circuit par un signalé carré périodique,

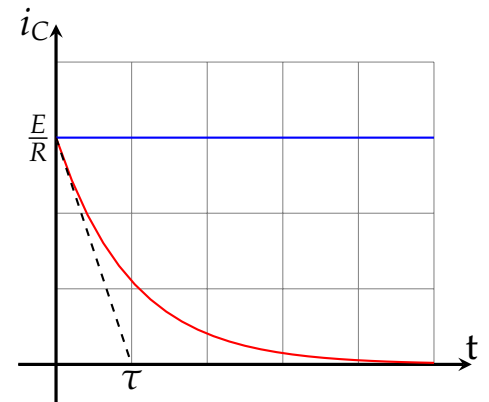


FIGURE 5.3: Variation de l'intensité du courant  $i_C(t)$  au cours du temps lors de la charge.

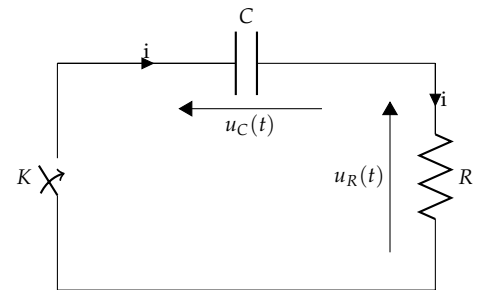


FIGURE 5.4: Circuit RC

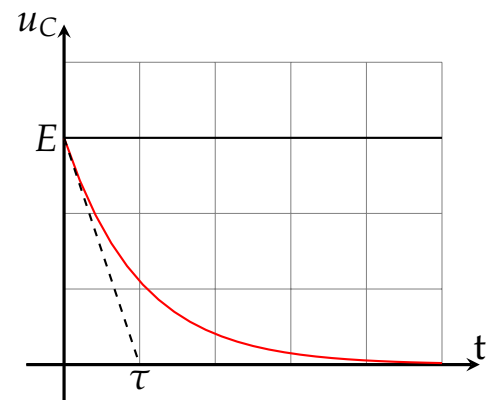


FIGURE 5.5: Variation de la tension  $u_C(t)$  au cours du temps lors de la décharge.

c-à-d, une tension  $+E$  pendant un temps  $T/2$  et  $-E$  pendant  $T/2$ , d'une façon alternative. L'utilisation d'un oscilloscope nous permet de visualiser sur l'écran la charge et la décharge du condensateur.

### 5.2.1 Charge d'un condensateur

- Réaliser le montage de la figure 5.7, en utilisant une résistance variable  $R_v$  ( $\times 100 \Omega$ ) et un condensateur de capacité  $1 \mu\text{F}$ .
- Mettez le GBF en marche sur un signal carré de fréquence  $100 \text{ Hz}$  et visualiser le signal sur l'écran de l'oscilloscope.
- Appuyez sur le commutateur GND de la voie CH1 pour vérifier que le signal est bien centrée verticalement.
- Visualiser la variation de la tension  $u_C(t)$  au-cours du temps .
- Appuyez sur le commutateur GND de la voie CH2 pour vérifier que la tension est bien centrée verticalement.
- Régler la valeur de la résistance afin d'avoir une charge complète du condensateur.
- Relever les temps  $t_c$  de la charge et  $t_d$  de la décharge.
- Tracer sur une feuille millimétrée les signaux des deux voies CH1 et CH2.
- Pour visualiser la variation du courant électrique  $i(t)$ , dans le commutateur à quatre positions appuyez sur DUAL et ADD, ensuite appuyez sur le bouton INVERT.
- Sur la même feuille millimétrée du graphe de  $u_C(t)$  tracer la variation de  $i(t)$ .
- Déterminer sur les graphes les intervalles de charge et de décharge du condensateur.
- D'après l'équation (5.4), pour  $t = \tau$  nous avons  $u_C(\tau) = 0.63 E$ . Utiliser l'oscilloscope pour déterminer la valeur de  $\tau$  et déduire la valeur de la capacité  $C$ .
- Changer la valeur de la résistance et identifier le rôle de celle-ci dans le circuit RC.
- Discuter et interpréter les résultats.

### 5.2.2 Charge de deux condensateurs en série puis en parallèle

- Dans le montage de la figure 5.7 relier en série un deuxième condensateur de capacité  $C_x$  inconnue. Voir figure ci-dessous :
- Visualiser de nouveau la tension  $u_C(t)$ .

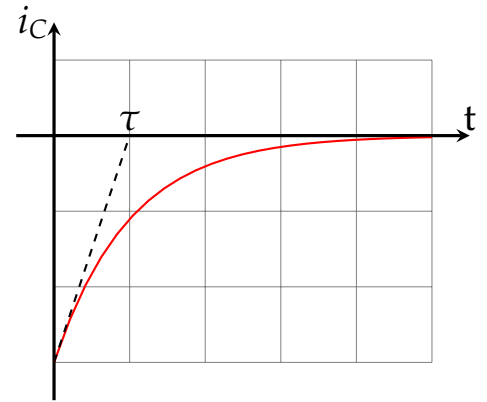


FIGURE 5.6: Variation de l'intensité de courant  $i_C(t)$  au cours du temps lors de la décharge.

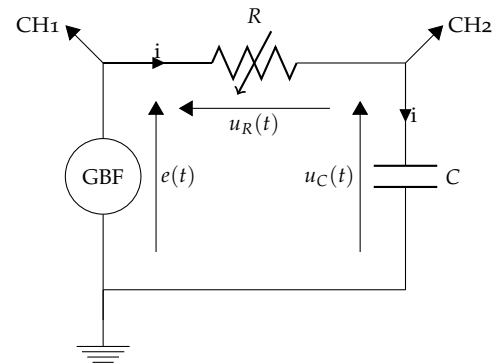


FIGURE 5.7: Circuit RC alimenté par un GBF et lié à un oscilloscope

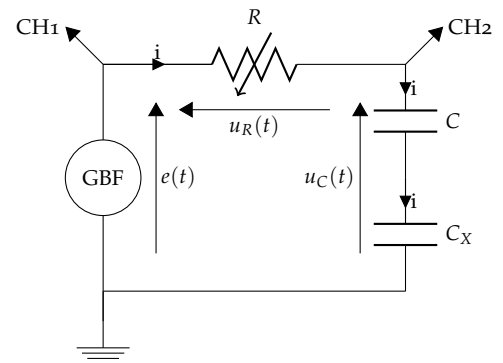
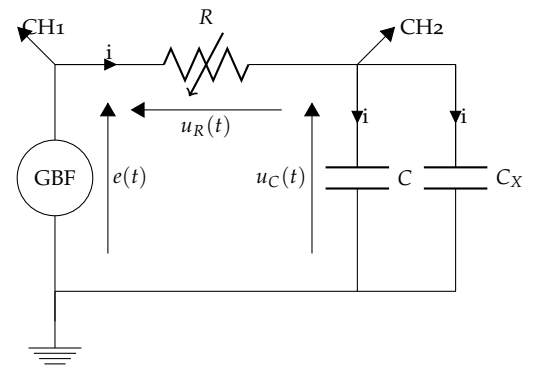


FIGURE 5.8: Circuit RC alimenté par un GBF et lié à un oscilloscope

- Régler la valeur de la résistance afin d'avoir une charge complète, et relever les temps  $t_c$  de la charge et  $t_d$  de la décharge.
- Utiliser l'oscilloscope pour déterminer la valeur de  $\tau$  et déduire la valeur de la capacité  $C_x$ .
- Relier maintenant le condensateur  $C_x$  en parallèle avec le condensateur  $C$ .
- Régler de nouveau la valeur de la résistance afin d'avoir une charge complète et relever les temps  $t_c$  de la charge et  $t_d$  de la décharge, et déduire de nouveau la valeur de la capacité  $C_x$ .
- Discuter et interpréter les résultats.



### 5.3 CONCLUSION

En utilisant la théorie, l'expérience et les résultats obtenus. Donner une conclusion générale sur le phénomène de la charge et la décharge d'un condensateur.

## 6 TP N° 6 : Champ magnétique autour d'un fil conducteur.

Le magnétisme a été remarqué pour la première fois par l'attraction de fer par certaines pierres découvertes dans la région de Magnésie en Anatolie (Asie mineure), ce qui explique le nom de magnétisme.

En 1819 une expérience réalisée par Hans Christian Oersted, a démontré qu'une boussole à proximité d'un fil conducteur est influencée si ce dernier est parcouru par un courant électrique. Cette influence a mis en lumière la découverte du champ magnétique.

### Objectif

- Étudier la distribution du champ magnétique créé par un fil conducteur parcouru par un courant électrique en fonction de la distance et l'intensité de courant.
- Vérifier que le champ magnétique est un vecteur.

### 6.1 ÉTUDE THÉORIQUE

#### 6.1.1 Champ créé par un fil conducteur

En approchant une boussole à proximité d'un fil conducteur parcouru par un courant électrique  $I$  nous pouvons remarquer l'influence du champ magnétique  $\vec{B}$  créé autour du conducteur. Ce champ magnétique est tangent à n'importe quel cercle centré sur le fil et situé sur un plan perpendiculaire au fil conducteur (voir figure 6.2).

Considérons une surface fermée par un contour  $\Gamma$ . La circulation du champ magnétique sur ce contour est proportionnelle à

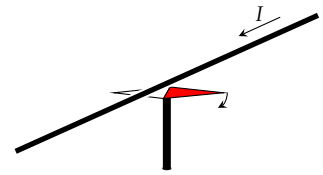


FIGURE 6.1: expérience d'Oersted

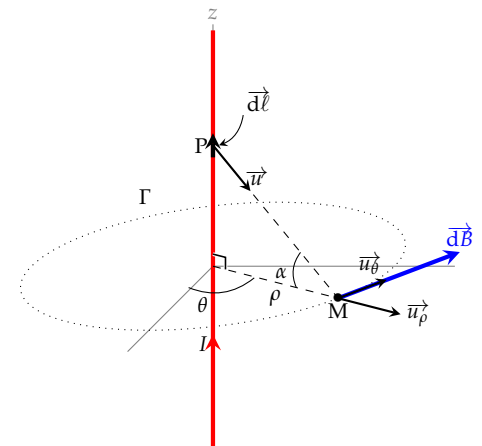


FIGURE 6.2: champ magnétique

courants traversants la surface (loi d'Ampère) :

$$\oint_{\Gamma} \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu I \quad (6.1)$$

où  $\mu$  la perméabilité magnétique du milieu et  $\vec{r}$  le vecteur position sur le contour  $\Gamma$ .

Considérons un fil conducteur infini parallèle à la direction  $Oz$  et  $\Gamma$  un cercle de rayon  $\rho$  centré sur le fil (figure 6.2). Un point  $M$  de position  $\vec{r}$  sur ce cercle est définie par les coordonnées cylindriques  $\rho$  et  $\theta$  :

$$\vec{r} = r\vec{u} = r(\sin(\alpha)\vec{k} + \cos(\alpha)\vec{u}_{\rho}) \quad (6.2)$$

Pour un déplacement sur le contour  $\Gamma$ , le module  $r$ , l'angle  $\alpha$  et le vecteur unitaire  $\vec{k}$  restent invariants :

$$d\vec{r} = r \cos(\alpha) d\vec{u}_{\rho} = \rho d\vec{u}_{\rho} = d\vec{\rho} \quad (6.3)$$

La position  $\vec{\rho}$  du point  $M$  sur la surface du contour est définie par l'équation :

$$\vec{\rho} = \rho \cos(\theta)\vec{i} + \rho \sin(\theta)\vec{j} \quad (6.4)$$

A partir des équations (6.3) et (6.4) nous pouvons déduire que :

$$d\vec{r} = [-\rho \sin(\theta)\vec{i} + \rho \cos(\theta)\vec{j}] d\theta \quad (6.5)$$

Si le sens du courant  $I$  est dans la direction  $\vec{k}$ , le vecteur  $\vec{B}$  sera orienté dans la direction  $d\vec{r}$  (règle de la main droite, voir figure 6.3) :

$$\vec{B} = -B \sin(\theta)\vec{i} + B \cos(\theta)\vec{j} \quad (6.6)$$

Il s'ensuit que

$$\begin{aligned} \oint_{\Gamma} \vec{B} \cdot d\vec{r} &= \int_0^{2\pi} [\rho B \sin^2(\theta) + \rho B \cos^2(\theta)] d\theta \\ &= \int_0^{2\pi} \rho B d\theta = 2\pi\rho B \end{aligned} \quad (6.7)$$

Ce dernier résultat et l'équation (6.1) nous permet de trouver :

$$B = \frac{\mu I}{2\pi\rho} \quad (6.8)$$

Considérons maintenant le champ magnétique  $d\vec{B}$  créé à la position  $\vec{r} = \vec{PM}$  par un élément infinitésimal  $d\vec{l}$  d'un fil conducteur rectiligne de longueur  $l$  (voir la figure 6.4).

1.  $\mu_0 = 12.566370614 \times 10^{-7} Tm/A$  la perméabilité magnétique du vide

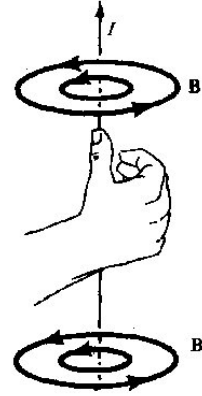


FIGURE 6.3: règle de la main droite

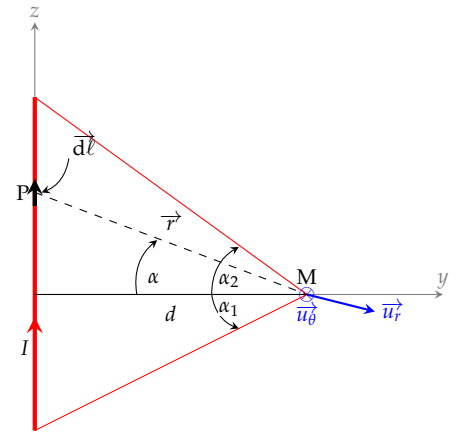


FIGURE 6.4: Champ magnétique créé par une portion élémentaire  $dl$  d'un fil conducteur de longueur finie

Ce champ est défini par la relation de Biot-Savart :

$$d\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi r^2} d\vec{l} \wedge \vec{u}_r \quad (6.9)$$

À l'aide de la figure 6.4, nous pouvons écrire que  $d\vec{l} = dz \vec{k}$  et  $\vec{u}_r = \cos \alpha \vec{j} + \sin \alpha \vec{k}$ . L'équation (6.9) peut être réécrite :

$$d\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi r^2} dz \vec{k} \wedge (\cos \alpha \vec{j} + \sin \alpha \vec{k}) \quad (6.10)$$

$$= \frac{\mu I}{4\pi r^2} dz \cos \alpha \vec{u}_\theta \quad (6.11)$$

D'où

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi r^2} \int dz \cos \alpha \vec{u}_\theta \quad (6.12)$$

La figure 6.4 montre bien que

$$z = d \tan \alpha \implies dz = d \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha} \quad (6.13)$$

$$r = \frac{d}{\cos \alpha} \quad (6.14)$$

Il s'ensuit que

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{4\pi d} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} d\alpha \cos \alpha \vec{u}_\theta \quad (6.15)$$

$$= \frac{\mu I}{4\pi d} (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1) \vec{u}_\theta \quad (6.16)$$

Dans le cas d'un fil conducteur de longueur infini, nous pouvons utiliser les limites  $\alpha_1 \rightarrow -\pi/2$  et  $\alpha_2 \rightarrow +\pi/2$ . D'où le résultat :

$$\vec{B} = \frac{\mu I}{2\pi d} \vec{u}_\theta \quad (6.17)$$

On retrouve le résultat donné dans l'équation 6.8.

### 6.1.2 Champ créé par deux fils conducteurs

Dans cette partie nous étudions la variation du champ magnétique créé entre deux fils conducteurs parallèles de longueurs infinies. Les deux conducteurs sont parcourus par la même intensité de courant électrique  $I$ . Nous distinguons deux cas, les courants électriques sont dans le même sens et dans deux sens opposés.

Considérons la situation présentée sur la figure 6.5. Les conducteurs sont aux positions 1 et 2 sur l'axe  $Ox$ .

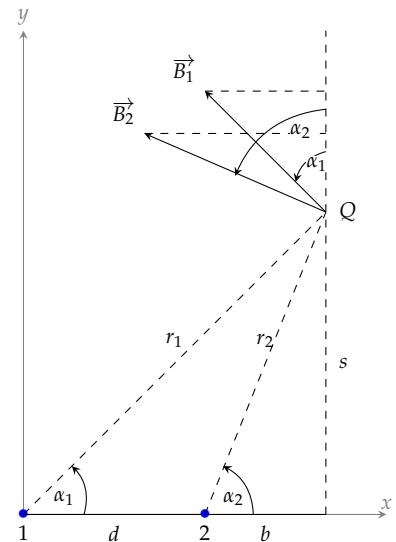


FIGURE 6.5: Champ magnétique créé par deux conducteurs de longueurs finies.

Le champ magnétique  $\vec{B}$  créé au point  $Q$  est une superposition des deux champs  $\vec{B}_1$  et  $\vec{B}_2$  créés par les conducteurs :

$$\vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad (6.18)$$

$$\Rightarrow B_x = B_{x1} + B_{x2} \text{ et } B_y = B_{y1} + B_{y2} \quad (6.19)$$

A l'aide de la figure 6.5, nous pouvons déduire que

$$B_x = B_1 \sin \alpha_1 + p B_2 \sin \alpha_2 \quad (6.20)$$

$$B_y = B_1 \cos \alpha_1 + p B_2 \cos \alpha_2 \quad (6.21)$$

avec  $p = +1$  si les courants électriques sont dans le même sens et  $p = -1$  s'ils sont dans des sens opposés.

L'équation (6.8) nous permet d'écrire :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1} \text{ et } B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2} \quad (6.22)$$

La figure 6.5 nous informe que

$$\sin \alpha_1 = \frac{s}{r_1} \text{ et } \cos \alpha_1 = \frac{d+b}{r_1} \quad (6.23)$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{s}{r_2} \text{ et } \cos \alpha_2 = \frac{b}{r_2} \quad (6.24)$$

Il s'ensuit que :

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi s} (\sin^2 \alpha_1 + p \sin^2 \alpha_2) \quad (6.25)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi s} \left( \frac{\cos^2 \alpha_1}{d+b} + p \frac{\cos^2 \alpha_2}{b} \right) \quad (6.26)$$

Dans le cas où le point  $Q$  est sur l'axe  $Ox$  ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ ) :

$$B_x = 0 \quad (6.27)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I}{2\pi s} \left( \frac{1}{d+b} + \frac{p}{b} \right) \quad (6.28)$$

## 6.2 ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

### 6.2.1 Champ $\vec{B}$ autour d'un conducteur.

### 6.2.2 Influence du courant électrique.

Dans cette partie nous étudions la variation de l'amplitude du champ magnétique  $\vec{B}$  en fonction du courant électrique  $I$ . Pour cela, nous allons suivre les étapes :



- Fixer la sonde de Hall à une distance  $\rho \simeq 1$  cm par rapport au centre du conducteur.
- Pour différentes valeurs de  $I$ , mesurer  $B$  et organiser les résultats dans le tableau suivant :

$I(A)$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$B(mT)$									

- Tracer la courbe  $B = f(I)$ .
- À partir de la courbe, déduire la valeur de  $\mu_0$
- Interpréter la courbe et discuter les résultats.

### 6.2.3 Influence de la distance.

Dans cette deuxième partie, nous allons étudier la variation de l'amplitude du champ magnétique  $\vec{B}$  en fonction de la distance  $\rho$  par rapport au centre du conducteur. Pour cela, nous allons suivre les étapes :

- Fixer une intensité de courant  $I = 100$  A.
- Pour différentes valeurs de  $\rho$ , mesurer  $B$  et organiser les résultats dans le tableau suivant :

$\rho$ (mm)	3	5	7	9	11	13	15
$\rho^{-1}$							
$B$ (mT)							

- Tracer la courbe  $B = f(\rho^{-1})$ .
- À partir de la courbe, déduire la valeur de  $\mu_0$
- Interpréter la courbe et discuter les résultats.

### 6.2.4 Champ $\vec{B}$ entre deux conducteurs

Dans cette partie, nous allons étudier la variation de la superposition des vecteurs champs magnétiques créée par deux fils conducteurs.

### 6.2.5 Courants dans la même direction

- Fixe une intensité de courant  $I = 107$  A.
- Pour différentes valeurs de  $x$  (voir figure 6.5), mesurer  $B$  et organiser les résultats dans le tableau suivant :

$x$ (mm)	5	10	15	20	25	...	70	75
$B^{(-)}$ (mT)								

### 6.2.6 Courants dans deux directions opposées

- Fixe une intensité du courant  $I = 107 \text{ A}$ .
- Pour différentes valeurs de  $x$  (voir figure 6.5), mesurer  $B$  et organiser les résultats dans le tableau suivant :

$x \text{ (mm)}$	5	10	15	20	25	...	70	75
$B^{(+)} \text{ (mT)}$								

- Tracer sur la même feuille la variation des champs  $B^{(-)}$  et  $B^{(+)}$  en fonction de  $x$ .
- Interpréter les courbes et discuter les résultats.

### 6.3 CONCLUSION

Donner une conclusion sur l'influence du courant et la distance sur le champ magnétique  $\vec{B}$ .

À partir de la comparaison des deux courbes  $B^{(-)}$  et  $B^{(+)}$ , écrire une conclusion sur la nature physique du champ magnétique.

## 7 TP N° 7 : Mesure de déphasage

La notion de déphasage existe dans tout type de phénomènes périodiques de mêmes fréquence. Cette notion peut ne présenter aucun intérêt pour les phénomènes de fréquences différentes. Si le phénomène n'est pas périodique on parle de décalage. Lorsqu'un dipôle électrique passif est soumis à une tension sinusoïdale, il peut créer un "décalage temporel" entre la variation de la tension et le courant qui le traverse. Ce décalage est appelé **déphasage**.

### Objectif

- Étudier le déphasage créé par une résistance, un condensateur et une bobine à l'aide d'un oscilloscope à double trace.

### 7.1 ÉTUDE THÉORIQUE

#### 7.1.1 Définition mathématique

Soit les deux fonctions sinusoïdales de même pulsation  $\omega$  :

$$i(t) = I \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (7.1)$$

$$u(t) = U \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (7.2)$$

avec  $I$  et  $U$  les amplitudes maximales,  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$  les phases initiales (ou les phases à l'origine).

Le déphasage de  $u$  par rapport à  $i$  est l'angle  $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  qui s'exprime en radians. Le déphasage  $\varphi$  est proportionnel au décalage temporel  $\Delta t$  des sinusoïdes (voire figure 7.1). Il est positif si le signal  $u$  est en avance (à gauche) par rapport à  $i$ .

#### 7.1.2 Représentation de Fresnel

À tout vecteur tournant à vitesse constante  $\omega$ , on peut associer une fonction sinusoïdale représentant l'ordonnée de l'extrémité

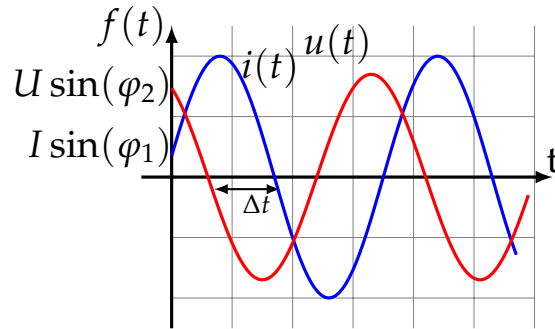


FIGURE 7.1: Déphasage entre l'intensité de courant  $i(t)$  et la tension électrique  $u(t)$ .

du vecteur. Réciproquement, à toute fonction sinusoïdale, on peut associer un vecteur tournant à vitesse angulaire constante  $\omega$ . Le vecteur de Fresnel est représenté dans la position qu'il occupe à  $t = 0$ . L'axe de référence des phases étant l'axe Ox.

Nous pouvons donc associer aux fonctions  $i(t)$  et  $u(t)$  les vecteurs  $\vec{i}(t)$  et  $\vec{u}(t)$ .

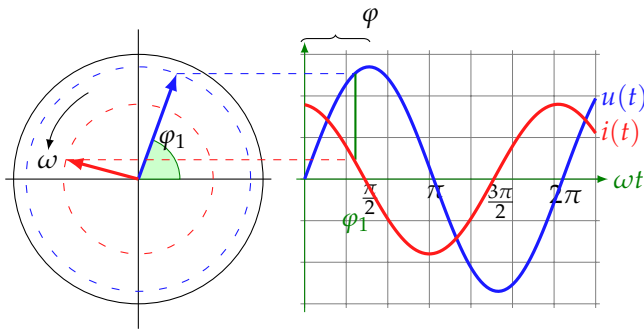


FIGURE 7.2: Représentation de Fresnel

### 7.1.3 Impédance et déphasage

Dans un circuit soumis à une tension continue  $u(t) = U$  et parcouru par un courant continu  $i(t) = I$ , le rapport  $\frac{U}{I}$  s'appelle résistance  $R$ . Si la tension  $u(t)$  est sinusoïdale, le courant l'est aussi et le rapport  $\frac{u(t)}{i(t)}$  s'appelle impédance qui se note  $Z$  et s'exprime en Ohm ( $\Omega$ ).

- Un conducteur ohmique de résistance  $R$  :  $Z_R = R$ .
- Une bobine d'inductance  $L$  :  $Z_L = j\omega L$ .
- Un condensateur de capacité  $C$  :  $Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$ .

### a Conducteur ohmique

Si un conducteur ohmique de résistance  $R$  est soumis à une tension instantanée  $u_R(t)$ , il sera parcouru par un courant d'intensité instantanée  $i(t)$ . La loi d'Ohm nous permet d'écrire :

$$u_R(t) = R i(t) \quad (7.3)$$

$i(t)$  et  $u_R(t)$  sont en phase, donc l'angle  $\varphi$  entre les vecteurs  $\vec{i}(t)$  et  $\vec{u}_R(t)$  est nul.

La représentation de Fresnel des vecteurs  $\vec{i}(t)$  et  $\vec{u}_R(t)$  est donnée dans la figure 7.3.

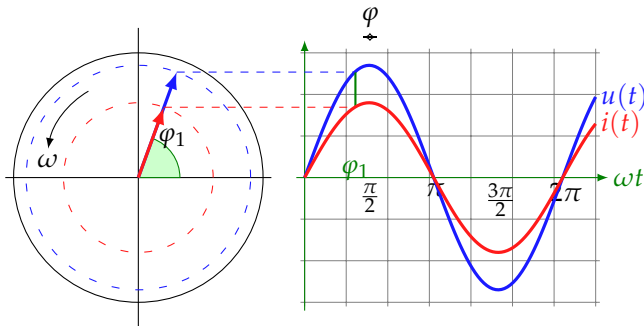


FIGURE 7.3: Représentation de Fresnel pour une résistance

### b Condensateur

Si un condensateur de capacité  $C$  est soumis à une tension instantanée  $u_C(t)$ , cette dernière sera en retard de  $\frac{\pi}{2}$  rad sur le courant d'intensité instantanée  $i(t)$ . On dit que  $u_C(t)$  est en déphasage par rapport à  $i(t)$  de  $-\frac{\pi}{2}$  rad. L'angle  $\varphi$  entre les vecteurs  $\vec{i}(t)$  et  $\vec{u}_C(t)$  vaut  $-90^\circ$ .

La représentation de Fresnel des vecteurs  $\vec{i}(t)$  et  $\vec{u}_C(t)$  est donnée dans la figure 7.4.

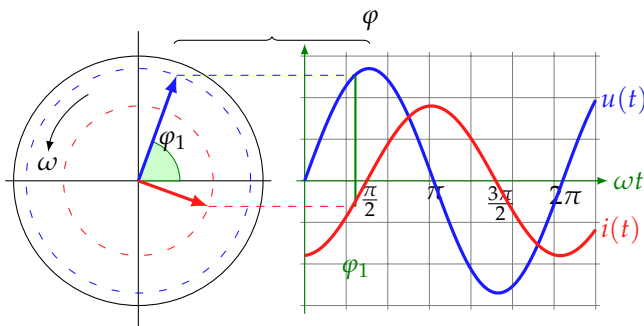


FIGURE 7.4: Représentation de Fresnel pour un condensateur

### c Bobine

Si une bobine idéale d'inductance  $L$  est soumise à une tension instantanée  $u_L(t)$ , cette dernière sera en avance de  $\frac{\pi}{2}$  rad sur le courant d'intensité instantanée  $i(t)$ . On dit que  $u_L(t)$  est en déphasage de  $\frac{\pi}{2}$  rad par rapport à  $i(t)$ . L'angle  $\varphi$  entre les vecteurs  $\vec{i}(t)$  et  $\vec{u}(t)$  vaut  $90^\circ$ .

La représentation de Fresnel des vecteurs  $\vec{i}(t)$  et  $\vec{u}_R(t)$  est donnée dans la figure 7.5.

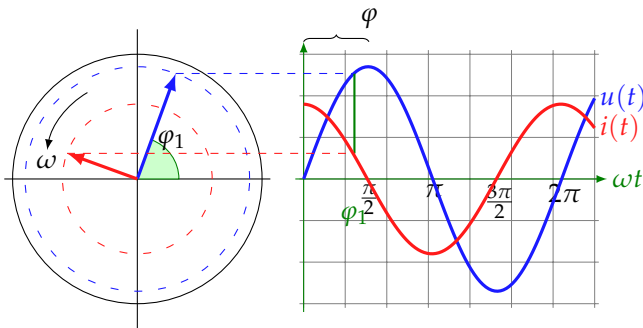


FIGURE 7.5: Représentation de Fresnel pour une bobine

## 7.2 ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Dans cette partie, nous allons faire la mesure de déphasage entre deux tensions sinusoïdales, à l'aide de l'oscilloscope à double trace.

Nous rappelons que pour un conducteur ohmique, le courant électrique  $i(t)$  est en phase avec la tension  $u_R(t)$ . Par conséquent, dans le circuit électrique présenté sur la figure 7.6 où un dipôle électrique d'impédance  $Z$  est relié en série avec une résistance  $R$  le déphasage de la tension  $e(t)$  par rapport au courant  $i(t)$  est égale au déphasage de  $e(t)$  par rapport à  $u_R(t)$ .

### 7.2.1 Mode temporel (balayage)

Le calcul de déphasage dans ce mode revient en fait à mesurer le décalage temporel  $\Delta t$  entre les deux signaux sinusoïdaux  $e(t)$  et  $u_R(t)$ , branchés aux deux voies CH1 et CH2, respectivement, de l'oscilloscope (voir figure 7.6). Soit :

$$u_R(t) = U_R \sin(\omega t) \quad (7.4)$$

$$u_Z(t) = U_Z \sin(\omega t + \varphi) \quad (7.5)$$

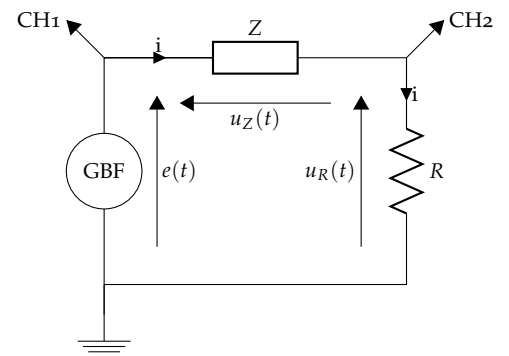


FIGURE 7.6: Circuit R.Z alimenté par un GBF et lié à un oscilloscope

$$e(t) = E \sin(\omega t + \phi) \quad (7.6)$$

$\phi$  représente le déphasage entre les deux signaux  $e(t)$  et  $u_R(t)$ , et  $\varphi$  le déphasage entre  $u_Z(t)$  et  $u_R(t)$ . La représentation de Fresnel des vecteur tensions est présentée dans la figure 7.8.

Si  $T$  est la période du signale  $e(t)$  (ou  $u_R(t)$ ), le calcul de déphasage  $\phi$  à partir du décalage temporel  $\Delta t$  s'effectue par la règle de trois

$$\left\{ \begin{array}{l} T \rightarrow 2\pi \\ \Delta t \rightarrow \phi \end{array} \right\} \Rightarrow \phi^{\text{rad}} = \frac{2\pi}{T} \Delta t = \omega \Delta t$$

Si on veut le résultat en degré on multiplie par 360 au-lieu de  $2\pi$

$$\phi^\circ = 360 \frac{\Delta t}{T} \quad (7.7)$$

### 7.2.2 Mode XY (figures de Lissajous)

Cette méthode consiste à éliminé le temps en tournant le rotacteur base de temps. Le signal affiché par l'oscilloscope prend la forme d'une ellipse, appelée figure de Lissajous :

L'équation de l'ellipse est donnée par la relation suivante :

$$\left(\frac{X}{a}\right)^2 + \left(\frac{Y}{b}\right)^2 - \frac{2XY}{ab} \cos(\phi) = \sin^2(\phi) \quad (7.8)$$

où  $\phi$  est le déphasage entre les deux signaux  $X = u_R(t)$  et  $Y = e(t)$ , définie par les relation :

$$\sin(\phi) = \frac{a}{b} \quad (7.9)$$

Alors on obtient le déphasage en mesurant les valeurs  $a$  et  $b$  représentées sur le graphe de la figure 7.9. Mais il est plus pratique d'utiliser l'un des deux méthodes de mesure présentées dans les graphes de la figure 7.10.

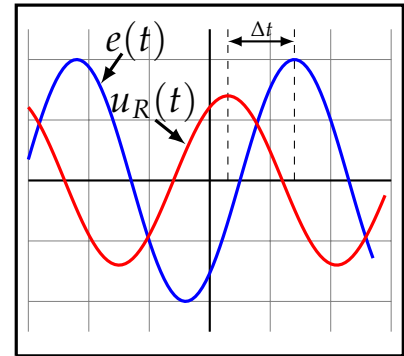


FIGURE 7.7: Les deux signaux  $e(t)$  et  $u_R(t)$  comme sur l'écran de l'oscilloscope.

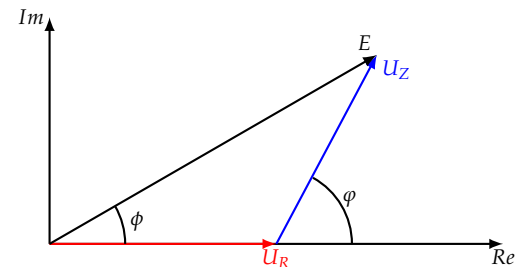


FIGURE 7.8: Représentation de Fresnel pour les tensions du circuit R.Z.

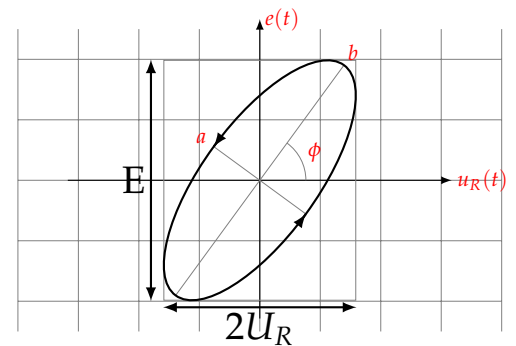


FIGURE 7.9: Figure de Lissajous des signaux  $e(t)$  et  $u_R(t)$ .

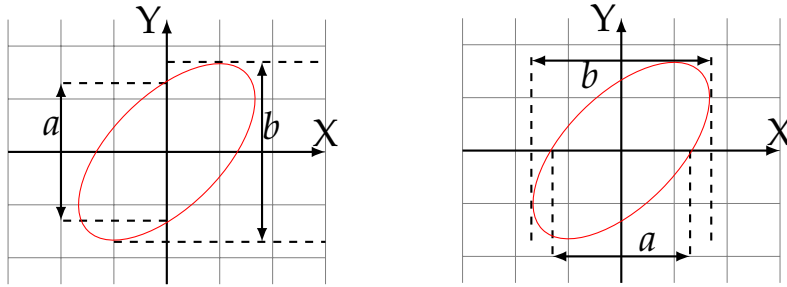


FIGURE 7.10: méthodes de mesure de déphasage à partir des des figures de Lissajous.

### 7.2.3 Manipulation N° 1

Réaliser le circuit de la figure 7.11

- Régler sur le GBF un signal sinusoïdal de fréquence 100 Hz.
- Régler le rotacteur TIME/DIV (Base de temps) sur le calibre 2 ms.
- Relier les points A et B aux voies CH1 et CH2, et le point C à la masse commune.
- Appuyer sur le bouton DUAL.
- Faire varier la fréquence et l'amplitude du GBF, puis observez les tensions  $u_{AC}$  et  $u_{BC}$  en mode temporel et en mode XY.
- Représenter sur une feuille millimétrée les courbes affichées par l'oscilloscope pour chacun des modes.
- Calculer et comparer les valeurs de déphasage  $\phi$  obtenues pour les deux modes.

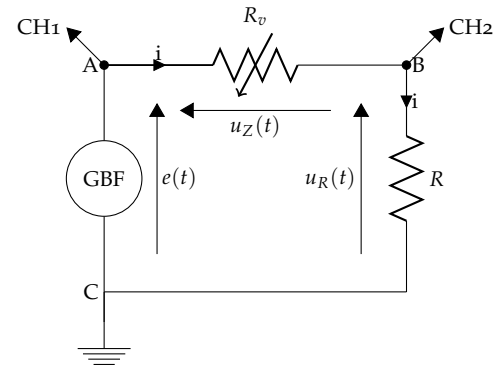


FIGURE 7.11: Circuit R.R.

### 7.2.4 Manipulation N° 2

Dans cette manipulation, remplacer dans le circuit précédent la résistance fixe  $R$  par un condensateur de capacité  $C = 1\mu\text{F}$ . Vous obtenez ainsi le circuit de la figure 7.12.

Régler le GBF sur une fréquence  $\sim 300$  Hz et suivez les même étapes de la manipulation précédente.

La représentation de Fresnel des tensions et des impédances est donnée dans la figure 7.13. Utiliser cette représentation pour trouver la capacité  $C$  du condensateur.

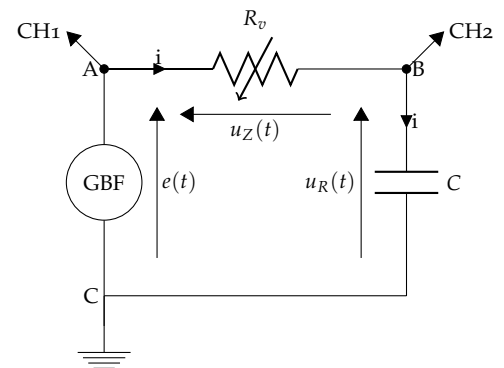


FIGURE 7.12: Circuit R.C.



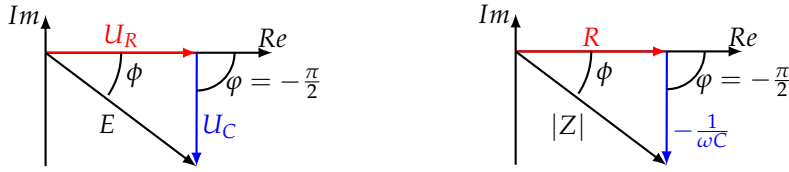


FIGURE 7.13: Représentation de Fresnel des tensions et impédances pour le circuit R.C.

7.2.5 Manipulation N° 3

Remplacer le condensateur par une bobine d'inductance de  $L = 15$  ou  $35\text{mH}$ . Vous obtenez ainsi le circuit de la figure 7.14.

Régler le GBF sur une fréquence  $\sim 1$  kHz et suivez les même étapes de la manipulation précédente.

La représentation de Fresnel des tensions et des impédances est donnée dans la figure 7.15. Utiliser cette représentation pour trouver la l'inductance  $L$  de la bobine.

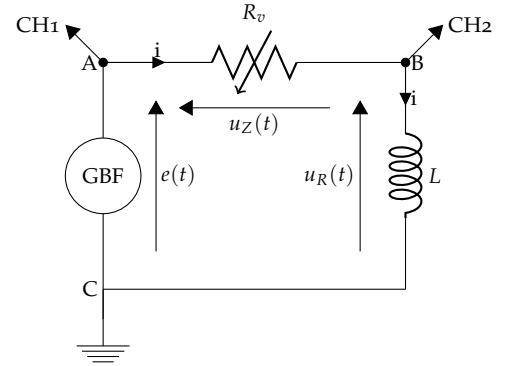


FIGURE 7.14: Circuit L.R.

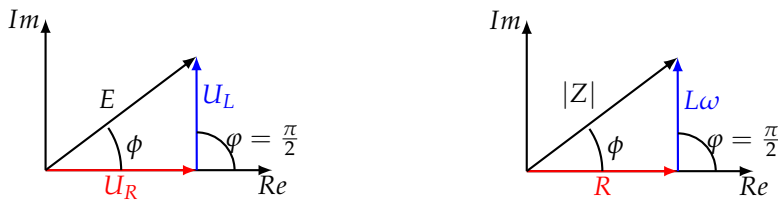


FIGURE 7.15: Représentation de Fresnel des tensions et impédances pour le circuit R.L.

7.2.6 Effet noyau de Fer

Introduisez à l'intérieur de la bobine un noyau de Fer et mesurez la nouvelle valeur de l'inductance. Comparez cette dernière avec la précédente.

7.3 CONCLUSION

Interpréter et discuter les résultats.



## 8 TP N° 8 : Transformateur monophasé.

Un transformateur électrique est un appareil qui permet de convertir une tension ou une intensité de courant alternative d'une valeur à une autre avec la même forme et la même fréquence.

Le transformateur possède un excellent rendement, c'est la raison pour laquelle il est fréquemment utilisé dans notre quotidien (pour charger un téléphone portable, pour alimenter un ordinateur et pour convertir les hautes tensions).

### Objectif

- Étudier le principe de fonctionnement d'un transformateur monophasé.

### 8.1 ÉTUDE THÉORIQUE

#### 8.1.1 Rapport de transformation

Le transformateur est essentiellement constitué de deux parties : un circuit magnétique et des enroulements de fils électriques.

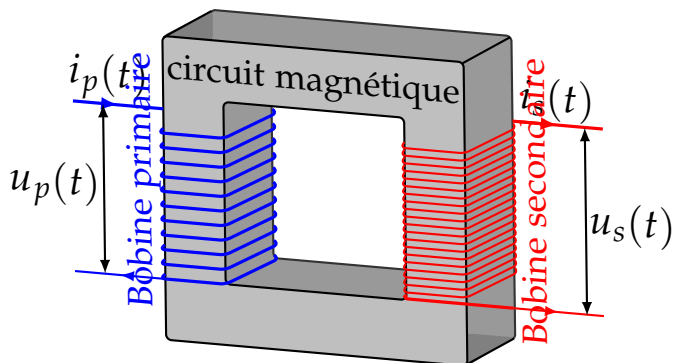


FIGURE 8.1: Transformateur monophasé

- Le circuit magnétique est un noyau ferromagnétique (isolé par les enroulements des fils conducteurs) qui s'aimante s'il est soumis à un champ magnétique variable au cours du temps.
- Les enroulements des fils électriques sont composés d'un enroulement primaire et un autre secondaire de nombres de spires différents.

### 8.1.2 Rapport de transformation

Considérons un transformateur monophasé composé de :

- Noyau ferromagnétique ou circuit magnétique K.
- Bobine primaire de nombre de spires  $N_p$  soumise à une tension primaire  $u_p(t)$  et parcourue par un courant électrique  $i_p(t)$ .
- Bobine secondaire de nombre de spires  $N_s$  soumise à une tension secondaire  $u_s(t)$  et parcourue par un courant électrique  $i_s(t)$ .

Le rapport de transformation est une relation entre les tensions (ou courants) d'entrée, de sortie et les nombres de spires des deux bobines. La formule de ce rapport est du type :

$$\frac{U_s}{U_p} = \alpha \frac{N_s}{N_p} \quad (8.1)$$

ou

$$\frac{I_p}{I_s} = \beta \frac{N_s}{N_p} \quad (8.2)$$

avec  $U_p$ ,  $U_s$ ,  $I_p$  et  $I_s$  sont les tensions et les courants efficaces ou maximales primaire et secondaire.  $\alpha$  et  $\beta$  des coefficient réels. Sachant que pour un transformateur idéal  $\alpha = \beta = 1$ .

### 8.1.3 Rendement d'un transformateur

Le rendement  $\rho$  d'un transformateur est défini comme le rapport de la puissance active au secondaire sur la puissance active au primaire.

$$\rho = \frac{P_s}{P_p} \quad (8.3)$$

Pour un transformateur idéal, le rendement est égale à 1 ( $\rho = 1$ ).

Un transformateur réel, bien qu'il a un rendement  $\rho < 1$ , peu avoir un excellent rendement en jouent sur : la forme du noyau

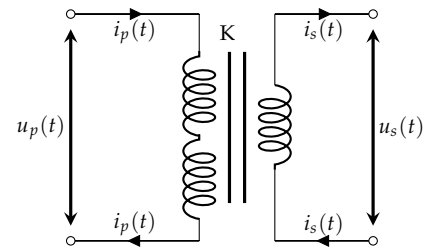


FIGURE 8.2: Notation d'un transformateur monophasé

(circuit magnétique), le matériau du circuit magnétique et les nombres des spires des deux bobines primaire et secondaire.

## 8.2 ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

### 8.2.1 Étude à vide

Dans cette manipulation, nous allons vérifier la relation donnée par l'équation (8.1).

Considérons un transformateur avec une bobine primaire de nombre de spire  $N_p$  soumise à une tension efficace  $U_p^{eff}$ . La bobine secondaire est vide (circuit ouvert  $\Rightarrow$  impédance infinie ( $Z = \infty$ )).

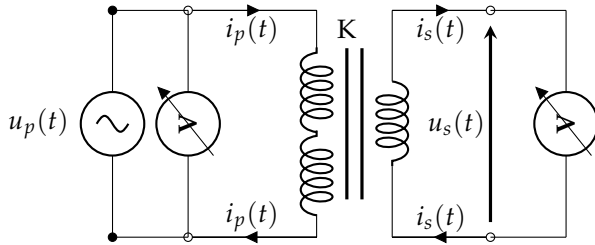


FIGURE 8.3: Transformateur à vide

Brancher un voltmètre à l'entrée (bobine primaire) du transformateur afin de mesurer la tension efficace primaire  $U_p^{eff}$ . Ensuite, branchez le voltmètre à la sortie (bobine secondaire) du transformateur pour mesurer la tension efficace secondaire  $U_s^{eff}$  (voire figure 8.3.). Relever les résultats dans le tableau suivant :

$U_G$	$N_p$	$N_s$	$U_p^{eff}$	$U_s^{eff}$	$\frac{N_p}{N_s}$	$\frac{U_p^{eff}}{U_s^{eff}}$	$\alpha$
6 V	1600	400					
6 V	400	1600					
12 V	1600	400					
12 V	400	1600					

avec  $U_G$  la sortie du générateur de tension.

Discuter les résultats.

## 8.2.2 Étude en charge

Dans cette manipulation, nous allons vérifier la relation donnée par l'équation (8.2).

L'entrée du transformateur est soumise maintenant à une tension efficace  $U_p^{eff}$ . À la sortie on branche une charge d'impédance  $R_2$  qui sera parcourue par un courant électrique  $i_s(t)$  et soumise à une tension efficace nominale  $U_s^{eff}$  (tension normale d'utilisation).

Les courants électriques sont faibles donc ils ne peuvent pas être mesurer par un simple ampèremètre. Pour cette raisons, nous allons branché une charge  $R_1$  en série avec le générateur de tension afin de déduire les valeurs efficaces  $I_p^{eff}$  et  $I_s^{eff}$  des intensités des courants d'entrée et de sortie, respectivement, à partir des tension  $U_1^{eff}$  et  $U_s^{eff}$  aux bornes des charge  $R_1$  et  $R_2$  (voir figure 8.4).

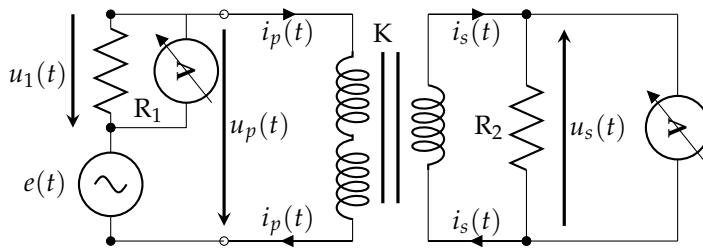


FIGURE 8.4: Transformateur chargé

La loi d'Ohm nous informe que :

$$I_p^{eff} = \frac{U_1^{eff}}{R_1} \quad \text{et} \quad I_s^{eff} = \frac{U_s^{eff}}{R_2} \quad (8.4)$$

nous pouvons déduire que

$$\frac{I_p^{eff}}{I_s^{eff}} = \frac{R_2}{R_1} \frac{U_1^{eff}}{U_s^{eff}} \quad (8.5)$$

Nous pouvons remarqué que pour  $R_1 = R_2 = R$  le rapport

$$\frac{I_p^{eff}}{I_s^{eff}} = \frac{U_1^{eff}}{U_s^{eff}} \quad (8.6)$$

Utiliser deux résistances variables ( $\times 10 \Omega$ ) et brancher deux voltmètres à bornes de  $R_1$  et  $R_2$ . Pour  $N_p = 1600$  et  $N_s = 400$

tours relever les tensions  $U_1^{eff}$  et  $U_s^{eff}$  et organiser les résultats dans le tableau suivant :

R	$\frac{N_p}{N_s}$	$U_p^{eff}$	$U_s^{eff}$	$\frac{U_p^{eff}}{U_s^{eff}}$	$\beta$
10 $\Omega$					
20 $\Omega$					

Discuter les résultats.

### 8.3 CONCLUSION

Donner une conclusion





## 9 *Forme économique*

Afin que les photocopies ne consomment pas beaucoup de papier, ainsi que pour réduire ses volumes nous avons proposer pour tous les TP une forme d'un document texte à deux colonnes. Chaque document doit être imprimé recto-verso sur des feuilles A3 ou A4. Nous avons constaté que ceci est plus pratique pour les étudiants.

