



ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

**MODULE N°: 5 ANALYSE DE CIRCUITS A
COURANT CONTINU**

SECTEUR : ELECTROTECHNIQUE

**SPECIALITE : ELECTRICITE DE
MAINTENANCE
INDUSTRIELLE**

NIVEAU : TECHNICIEN

ANNEE 2007

Document élaboré par :

Nom et prénom

EFP

DR

KISSIOVA-TABAKOVA
Raynitchka

CDC Génie
Electrique

DRIF

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-
-

SOMMAIRE

<i>Présentation du Module</i>	7
<i>RESUME THEORIQUE</i>	8
1. STRUCTURE DE LA MATIERE	9
1.1. Forme de la matière	9
1.2. Attraction entre atomes et molécules	10
1.3. Structure de l'atome	11
1.4. Classification des corps	12
2. METHODES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE	13
2.1. Electricité statique	13
2.1.1. Charge électrique	13
2.1.2. Loi de Coulomb	13
2.1.3. Potentiel	14
2.1.4. Production de l'électricité statique	15
2.2. Electricité dynamique	16
2.2.1. Courant électrique	16
2.2.2. Sens du courant électrique	17
2.2.3. Magnétisme et électromagnétisme	18
2.3. Production de l'électricité	19
2.3.1. Méthode chimique	19
2.3.2. Méthode électromagnétique	19
2.3.3. Méthode thermique	20
2.3.4. Méthode photoélectrique	20
2.3.5. Méthode piézoélectrique	20
2.4. Types de courant électrique	21
2.4.1. Courant continu	21
2.4.2. Courant alternatif	21
2.4.3. Courant pulsatif	22
2.5. Effets du courant électrique	23
2.5.1. Effet thermique	23
2.5.2. Effet chimique	23
2.5.3. Effet magnétique	23
3. CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS DE CIRCUIT A COURANT CONTINU	24
3.1. Conducteurs et câbles	24
3.1.1. Conducteurs	24
3.1.2. Câbles	25
3.2. Résistances	27
3.2.1. Types de résistances	27
3.2.2. Symboles	29
3.2.3. Puissance dissipée	29
3.2.4. Code des couleurs	30
3.3. Sources de tension	30
3.3.1. Types de sources	30
3.3.2. Symboles	32
3.4. Interrupteurs	32
3.5. Fusibles et disjoncteurs	35
3.6. Condensateurs	36
3.7. Inductances	39
4. DIFFERENTS GROUPEMENTS DES COMPOSANTS DE CIRCUIT A COURANT CONTINU	40
4.1. Montage en série	40
4.2. Montage en parallèle	41
4.3. Montage mixte	42
5. LOI D'OHM ET EXPRESSION DE LA PUISSANCE	43
5.1. Loi d'Ohm	43
5.2. Puissance électrique	44
5.2.1. Puissance disponible	45

5.2.2.	Puissance dissipée	45
6.	CARACTERISTIQUES DES CIRCUITS A COURANT CONTINU	46
6.1.	Groupement série	46
6.1.1.	Schématisation	46
6.1.2.	Caractéristiques électriques	47
6.1.3.	Résistance équivalente.....	48
6.1.4.	Inductance équivalente.....	48
6.1.5.	Capacité équivalente	49
6.2.	Groupement parallèle.....	50
6.2.1.	Schématisation	50
6.2.2.	Caractéristiques électriques	51
6.2.3.	Résistance équivalente.....	51
6.2.4.	Inductances en parallèle.....	53
6.2.5.	Capacité équivalente	53
6.3.	Groupement des piles	54
6.3.1.	Groupement série	54
6.3.2.	Groupement parallèle	54
6.4.	Groupement mixte.....	55
7.	CARACTERISTIQUES DES CONSTANTES DE TEMPS RC ET RL DANS DES CIRCUITS A COURANT CONTINU	56
7.1.	Circuit RC	56
7.1.1.	Charge d'un condensateur	56
7.1.2.	Constante de temps.....	57
7.1.3.	Décharge d'un condensateur.....	58
7.1.4.	Courbes de charge et de décharge d'un condensateur	58
7.2.	Circuit RL.....	60
7.2.1.	Réaction d'un circuit résistif.....	60
7.2.2.	Réaction d'un circuit inductif.....	61
7.2.3.	Constante de temps.....	62
8.	SIMPLIFICATION DES CIRCUITS A COURANT CONTINU	64
8.1.	Circuit série	64
8.1.1.	Résistance	64
8.1.2.	Courant	65
8.1.3.	Tension	65
8.1.4.	Puissance	66
8.1.5.	Résolution des circuits série	67
8.2.	Circuit parallèle	69
8.2.1.	Résistance	69
8.2.2.	Courant	70
8.2.3.	Tension	70
8.2.4.	Puissance	71
8.2.5.	Résolution des circuits parallèle	71
8.3.	Circuit mixte.....	74
9.	CODE DE COULEURS DES COMPOSANTS	80
9.1.	Code de couleurs des résistances.....	80
9.1.1.	Marquage à trois bandes	81
9.1.2.	Marquage à quatre bandes.....	81
9.1.3.	Marquage à cinq bandes	82
9.1.4.	Marquage à six bandes	82
9.2.	Code de couleurs des condensateurs	83
9.3.	Multiples et sous-multiples des unités de mesure	84
10.	VERIFICATION DE L'ETAT DES COMPOSANTS DU CIRCUIT	85
10.1.	Piles.....	85
10.2.	Accumulateurs	86
10.3.	Résistances.....	87
10.4.	Condensateurs.....	87
10.5.	Inductances.....	88
11.	LOIS DU MAGNETISME	88
11.1.	Notions de magnétisme	88

11.2.	Classification des matériaux magnétiques.....	89
11.2.1.	Matériaux ferromagnétiques.....	89
11.2.2.	Matériaux paramagnétiques.....	90
11.2.3.	Matériaux diamagnétique.....	90
11.3.	Pôles magnétiques.....	90
11.4.	Champ magnétique.....	90
11.5.	Électromagnétisme.....	91
11.6.	Principe de l'électroaimant.....	93
11.7.	Relais électromagnétique.....	94
12.	CARACTERISTIQUES DES APPAREILS DE MESURE EN COURANT CONTINU.....	95
12.1.	Appareils de mesure analogiques.....	96
12.1.1.	Principe de fonctionnement.....	96
12.1.2.	Classification des appareils de mesure analogiques.....	97
12.1.3.	Indications des appareils de mesure analogiques.....	98
12.1.4.	Caractéristiques métrologiques des appareils de mesure analogiques.....	98
12.1.5.	Interprétation des lectures des appareils de mesure analogiques.....	101
12.1.6.	Pratique des mesures.....	104
12.2.	Appareils numériques.....	105
12.2.1.	Propriétés des appareils numériques.....	105
12.2.2.	Caractéristiques des appareils de mesure numériques.....	106
13.	BRANCHEMENT DES APPAREILS DE MESURE.....	107
13.1.	Ampèremètres.....	107
13.2.	Voltmètres.....	108
13.3.	Ohmmètres.....	109
13.4.	Wattmètres.....	109
13.5.	Multimètre.....	111
13.5.1.	Types de multimètre.....	111
13.5.2.	Branchement du multimètre.....	111
14.	DEFINITION DE LA RESISTANCE INTERNE D'UNE SOURCE.....	115
	<i>GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES</i>	118
	TP1 – Groupement de composants.....	119
	TP 2 – Loi d'Ohm et expression de la puissance.....	123
	TP3 – Caractéristiques des constantes de temps RC et/ou RL des circuits.....	126
	TP4 – Simplification des circuits.....	132
	TP5 – Vérification de l'état des composants.....	138
	Bande de couleurs.....	140
	Bande de couleurs.....	142
	TP6 – Application des lois de magnétisme.....	143
	TP 7 : Mesure des valeurs des grandeurs électriques aux différents points d'un.....	147
	circuit.....	147
	TP8 – Mesure de la puissance dans un circuit à courant continu.....	152
	TP9 – Erreurs de mesure dans un circuit à courant continu.....	155
	TP10 – Définition de la résistance interne d'une source à courant continu.....	160
	Liste des références bibliographiques.....	167

MODULE : 5 ANALYSE DE CIRCUITS A COURANT CONTINU

Durée : 75 heures

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

*Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit
analyser des circuit à courant continu
selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.*

CONDITIONS D’EVALUATION

A partir :

- -de directives ;
- -d’un circuit mixte comprenant des résistances ;
- -du schéma du circuit.

A l’aide :

- -d’outils,
- d’instruments de mesure et
- d’équipements appropriés.

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

*Respect des règles de santé et de sécurité.
Utilisation appropriée des instruments et de l’équipement.
Travail soigné et propre.
Démarche de travail structuré.*

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

**CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

- | | |
|---|--|
| A) <i>Interpréter le schéma d'un circuit.</i> | ✓ <i>Utilisation appropriée de la terminologie.</i>
✓ <i>Décodage correct des symboles et des conventions.</i> |
| B) <i>Calculer les valeurs aux différents points d'un circuit.</i> | ✓ <i>Application correcte des lois.</i>
✓ <i>Exactitude des calculs.</i> |
| C) <i>Mesurer les valeurs aux différents points d'un circuit.</i> | ✓ <i>Exactitude des mesures.</i>
✓ <i>Respect systématique des mesures de protection.</i>
✓ <i>Exactitude du branchement aux points de mesure.</i> |
| D) <i>Justifier les résultats.</i> | ✓ <i>Calcul exact des écarts.</i>
✓ <i>Justification correcte des causes d'écarts.</i> |

Présentation du Module

« **Analyse de circuit à courant continu** » est le module qui donne aux stagiaires de la spécialité « Électricité de maintenance Industrielle » les notions de base des circuits à courant continu et les règles de mesure électrique. L'objectif de ce dernier est non seulement d'informer le stagiaire sur la matière mais aussi de lui proposer la suite adéquate des consignes à suivre afin d'obtenir des habilités durables au travail pour arriver à des manipulations sécurisées dans le domaine.

***Module 5 : ANALYSE DE CIRCUITS A
COURANT CONTINU***

RESUME THEORIQUE

1. STRUCTURE DE LA MATIERE

La nature et l'origine de l'électricité résident même dans l'organisation interne de la matière. C'est la raison pour laquelle une brève étude de la structure de la matière s'avère nécessaire.

1.1. Forme de la matière

La matière se présente sous deux formes d'existence : substance et champs. La substance est concrète, palpable pendant que le champ n'est pas détectable avec les sens humains. Les champs se manifestent par les forces qui lui sont spécifiques.

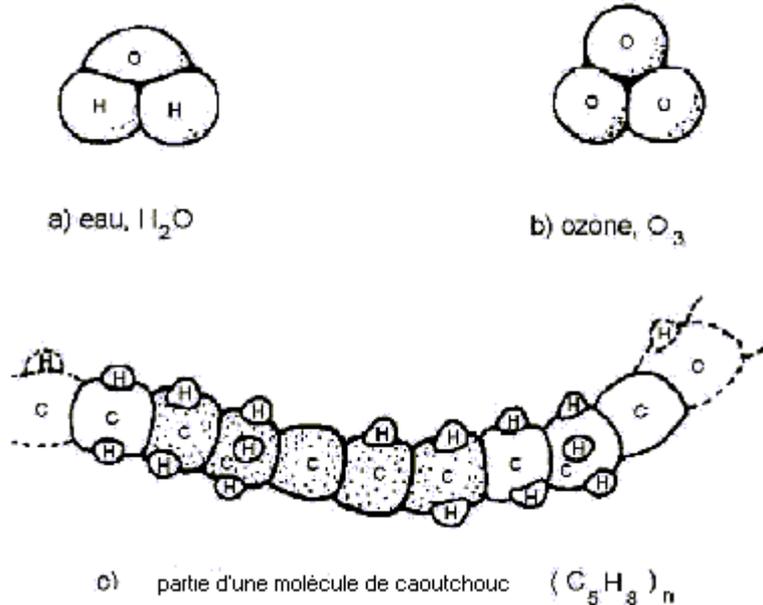
Les substances peuvent être simples (élémentaires) ou tout simplement éléments et composées. Dans la structure des substances composées on retrouve des éléments associés sous des divers rapports.

Les éléments peuvent être décomposés jusqu'au niveau des atomes. Les atomes ont une structure particulière et caractéristique pour chaque élément. Lorsque l'on subdivise on modifie la nature de l'élément. L'atome représente la plus petite particule qui conserve les propriétés d'origine d'un élément.

Les atomes s'associent d'après des mécanismes spécifiques et engendrent les molécules. La molécule est la plus petite particule à la base de la constitution d'une substance composée qui conserve les propriétés d'origine de celle-ci. Une molécule est un groupement d'au moins deux atomes, mais on a synthétisé des substances dont les molécules contiennent des milliers d'atomes.

Exemples : La molécule d'eau est formée de 2 atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène ; la molécule d'ozone est composée de 3 atomes d'oxygène. Enfin la molécule de caoutchouc contient une chaîne d'au

moins 5000 mille atomes de carbone et 8000 mille atomes d'hydrogène (fig. 1 - 1).



Structure des molécules

Fig. 1-1

1.2. Attraction entre atomes et molécules

Les atomes et les molécules s'attirent avec des forces pareilles à la force gravitationnelle; ces forces augmentent à mesure que les molécules se rapprochent et déterminent la forme sous laquelle se présente la substance : de gaz, de solide ou de liquide.

Les solides ont les atomes très rapprochés les uns des autres. Les forces d'attraction sont intenses, ce qui détermine leur rigidité connue et empêche tout déplacement d'atome dans sa structure. Les molécules constituant les gaz sont relativement espacées. Ainsi les forces d'attraction sont négligeables, ce qui permet leur mouvement indépendant.

L'état liquide correspond à une situation intermédiaire à ceux présentées auparavant.

1.3. Structure de l'atome

L'atome est constitué par un noyau très petit et lourd portant une charge positive (+) autour duquel tournent à grande vitesse les électrons porteurs de charges négatives (-). Ceux-ci gravitent sur des orbites occupant des couches concentriques. La charge totale des électrons neutralise la charge positive du noyau. Dans son ensemble l'atome est neutre du point de vue électrique.

Entre le noyau (+) et les électrons (-) s'exercent des forces d'attraction d'autant plus grandes que les électrons sont près du noyau.

Le noyau est composé de 2 sortes de particules : les protons et les neutrons. Les protons sont des particules possédant une charge positive de valeur absolue égale à la charge négative de l'électron. Les neutrons ne possèdent pas de charge électrique.

La masse du proton est à peu près égale à celle du neutron et environ 1840 fois plus grande que celle de l'électron.

Le nombre de protons est égal à celui d'électrons et caractéristique pour chacun des 110 éléments identifiés dans l'univers.

Un atome peut perdre ou accepter un ou plusieurs électrons ; ainsi il n'est plus en état neutre du point de vue électrique, et on l'appelle ion. Un ion positif est un atome qui a perdu d'électrons et un ion négative est un atome qui a accepté d'électrons.

Les électrons sont répartis en couches concentriques. Ceux appartenant à la couche extérieure s'appellent électrons de valence. Ils sont moins attirés par le noyau et ils peuvent quitter leur atome pour circuler dans l'espace libre autour des atomes. Ils deviennent des électrons libres. Leur vitesse est très grande

(1000km /s) et leur mouvement très désordonné, mais ils ne quittent pas la structure à laquelle ils appartiennent et celle-ci reste neutre.

Le déplacement d'électrons de manière ordonnée constitue le courant électrique.

Les électrons de valence jouent un rôle très important dans le courant électrique. Pour un élément avec de bonnes propriétés électriques comme l'aluminium le nombre d'électrons de valence est 3.

1.4. Classification des corps

Du point de vue électrique les corps se classent en 3 catégories : conducteurs, isolants et semi-conducteurs.

Les **conducteurs** opposent une faible résistance au passage du courant électrique. Ce sont les éléments qui possèdent au maximum 3 électrons de valence qui se déplacent facilement dans leur structure et une concentration élevée d'électrons libres. Tous les métaux sont des conducteurs, l'aluminium et le cuivre étant les plus utilisés.

Par contre les **isolants** sont des matériaux qui ne permettent pas le passage du courant. Le papier, le bois, le caoutchouc, le plastique, le verre, la porcelaine sont des exemples de matériaux utilisés comme isolants en électrotechnique. Les isolants sont d'habitude des substances composées qui ne permettent pas l'apparition des électrons libres, contrairement aux conducteurs qui sont des éléments purs.

Les **semi-conducteurs** présentent une situation intermédiaire entre les conducteurs et les isolants. Ces éléments se caractérisent par 4 électrons de valence ; leur concentration d'électrons libres dépende de la température. Le germanium et le silicium sont les semi-conducteurs les plus utilisés. En outre les semi-conducteurs ont déterminé un développement spectaculaire de l'électronique

car ils servent à la réalisation des composants comme : diodes, transistors, circuits intégrés.

2. METHODES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

Les phénomènes électriques sont produits par la charge électrique. En fonction de l'état cinétique de la charge, on identifie deux domaines distincts de l'électricité : statique et dynamique.

2.1. Electricité statique

L'électricité statique étudie les phénomènes électriques concernant la charge électrique en état de repos sur les objets. Un corps se charge d'électricité lorsqu'un déséquilibre apparaît entre le nombre d'électrons et de protons qu'il possède. Ce déséquilibre se produit au niveau atomique, mais il est mis en évidence sur le corps. Un corps chargé présente soit un surplus soit un déficit d'électrons et le processus suivant auquel il arrive en cet état s'appelle électrisation.

2.1.1. Charge électrique

Les corps peuvent être chargés négativement ou positivement d'après le surplus ou le déficit d'électrons acquis. La charge électrique s'exprime en coulombs et son symbole est C. Un coulomb représente la charge cumulée de $6,25 \times 10^{18}$ électrons.

La charge de l'électron vaut $-1,6 \times 10^{-19}$ C. De même toute charge électrique est un multiple entier de la charge élémentaire de l'électron qui est la plus petite charge identifiée dans l'univers.

2.1.2. Loi de Coulomb

L'existence des charges électriques a été mise en évidence à travers les forces spécifiques qui s'exercent entre celles-ci. Ces forces ont été étudiées par Charles-

Auguste Coulomb et les résultats de ces expériences ont été synthétisés par la loi qui porte son nom. L'équation de cette loi est la suivante :

$$F = \frac{k \times Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

où on a :

F = la force d'attraction ou de répulsion exercée entre les deux charges ponctuelles en Newton;

Q_1 = la première charge en Coulomb;

Q_2 = la deuxième charge en Coulomb;

d = la distance séparant les deux charges en mètres;

k = constante de proportionnalité qui dépend des propriétés électriques du milieu où se trouvent les charges.

Les forces de répulsion s'exercent entre charges de même polarité pendant que les forces d'attraction s'exercent sur les charges de polarité opposée. L'orientation des forces colombiennes est donnée par la droite des 2 corps ponctuels.

2.1.3. Potentiel

La charge électrique modifie les propriétés de son environnement de manière qu'elle exerce des forces de nature électrique sur toute autre charge qui y serait placée. Ces forces peuvent déplacer cette autre charge tout en effectuant un travail mécanique. On introduit une grandeur physique appelée potentiel électrique afin de caractériser le champ électrique dans un point de la manière suivante. Soit une charge électrique ponctuelle et fixe dans l'espace. Le potentiel électrique dans un point est le rapport entre le travail mécanique effectué pour déplacer une autre charge q du point considéré jusqu'à l'infini et la valeur de cette deuxième charge.

L'expression mathématique du potentiel électrique est :

$$V_A = \frac{W}{q}$$

V_A = le potentiel dans le point A

W = le travail mécanique des forces électriques pour déplacer la charge q
du point A à l'infini.

Le potentiel électrique est exprimé en Volts.

Une autre grandeur que nous rencontrerons très souvent c'est la **tension** électrique. Par définition la tension entre deux points est la différence des potentiels électriques correspondant aux deux points.

La tension électrique est appelée aussi *différence de potentiel* (d.d.p.) par des raisons évidentes ou encore *force électromotrice* (f.é.m.).

La relation mathématique de la tension est :

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

U_{AB} = la tension (d.d.p.) entre les points A et B

V_A = le potentiel dans le point A

V_B = le potentiel dans le point B

L'unité de mesure de la tension est la même que celle du potentiel, le Volt.

2.1.4. Production de l'électricité statique

- Électrisation par frottement

Suite à leur frottement, deux matières non-conductrices deviennent chargées: une positivement pour avoir perdu des électrons et l'autre négativement pour avoir récupéré ces électrons au cours du processus.

Ces le cas d'une baguette de verre frottée d'un morceau de soie ou de flanelle. En plus la polarité des charges produites dépend des matériaux.

- *Électrisation par contact*

Lorsqu'un corps chargé est mis en contact avec un autre qui ne l'est pas on constate que ce deuxième corps lui aussi se charge suite à un transfert de charge provenant du premier. La polarité des deux corps chargés suite à leur contact est la même.

- *Électrisation par influence*

Lorsqu'on place dans la proximité d'un corps chargé un autre qui ne l'est pas (sans qu'ils se touchent), on constate l'électrisation du corps neutre. Mais une fois le corps chargé éloigné, l'autre redevient neutre. On dit que le corps neutre s'est électrisé par influence. Sa charge est de polarité opposée à celle du corps déjà chargé. En fait l'électrisation par influence n'est pas due à un transfert de charge, mais plutôt à une concentration de charge de polarité opposée dans la zone située en face du corps chargé. L'électrisation par influence d'un corps ne dure que pendant le temps où il se trouve sous l'influence du corps chargé.

2.2. Electricité dynamique

L'électricité dynamique étudie les phénomènes concernant le déplacement de charges électriques dans un conducteur.

2.2.1. Courant électrique

Dans le cas des conducteurs les électrons de valence sont assez éloignés par rapport au noyau de l'atome auquel ils appartiennent afin que les forces d'attraction qui s'exercent sur eux soient négligeables.

Lorsque le conducteur est soumis à une action externe qui se manifeste par des forces exercées sur les électrons dans un sens bien déterminé, ceux-ci acquièrent un déplacement ordonné qui détermine un transport de charges électriques.

Ce déplacement ordonné d'électrons à travers un corps conducteur définit le **courant électrique**.

La grandeur qui caractérise le courant électrique s'appelle **l'intensité**. L'intensité est exprimée par le rapport entre la charge transportée par le courant à travers une section transversale du conducteur durant un certain temps et la valeur de cette période de temps.

La relation mathématique de l'intensité est :

$$I = \frac{Q}{t}$$

I = l'intensité du courant

Q = la charge transportée dans la période t par une section transversale du conducteur

L'intensité est exprimée en *ampères* (symbole A) et son instrument de mesure est *l'ampèremètre*.

L'apparition du courant électrique est liée à l'existence des forces (dans la plupart des cas électriques) qui s'exercent sur les électrons. Ces forces peuvent apparaître lorsqu'on réalise entre les extrémités du conducteur une différence de potentiel, autrement dit, si on applique une tension aux extrémités du conducteur.

2.2.2. Sens du courant électrique

Le sens **conventionnel** correspond au déplacement des charges positives, donc du pôle positif (+) au pôle négatif (-). Dans les gaz et les liquides on trouve des porteurs de charges positifs ayant en effet ce déplacement. Dans le cas des conducteurs les seuls porteurs de charge sont les électrons. Leur déplacement se fait dans le sens contraire au sens conventionnel.

Le sens **électronique** c'est le sens réel de déplacement des électrons, du pôle négatif (-) vers le pôle positif (+).

2.2.3. Magnétisme et électromagnétisme

Certains corps ont la propriété d'attirer le fer. On appelle cette propriété **magnétisme** et les corps, qui possèdent cette propriété, **aimants naturels**.

Il est possible de transférer cette propriété à des barres d'acier suite à un traitement spécial. On obtient ainsi des **aimants artificiels**. Ils sont temporaires ou permanents. On leur donne des formes diverses : barreau droit, barreau en fer de cheval, aiguille plate.

Un aimant produit l'orientation d'une aiguille magnétique lui aussi présentant deux pôles différents : un **pôle nord** et un **pôle sud**.

Entre les aimants exercent des forces de nature magnétique. Les pôles semblables de deux aimants se repoussent, les pôles contraires s'attirent.

On appelle **électroaimant** l'ensemble formé d'une bobine placée sur un noyau ferromagnétique. Lorsque le courant électrique circule dans la bobine, l'électroaimant présente un champ magnétique et exerce les forces magnétiques spécifiques.

On appelle champ magnétique la région de l'espace où un aimant exerce ces forces sur des objets de fer.

Lorsqu'on place de la limaille de fer sur une feuille de papier placée sur un barreau aimanté, on constate que les grains de limaille se disposent de façon régulière en formant un certain nombre de lignes courbes.

Ces chemins fermés s'appellent lignes de force ou lignes de flux. L'ensemble des lignes de force représente le spectre magnétique.

On remarque les propriétés suivantes pour les lignes de forces :

- Les lignes partent toujours d'un pôle nord et aboutissent à un pôle sud.
- Les lignes de force ne se croisent jamais.
- Les lignes de forces tendent à suivre le chemin le plus court et le plus facile.

2.3. Production de l'électricité

L'énergie électrique se distingue des autres formes d'énergie par la facilité de la transporter, de lui modifier les paramètres (tension, courant) aussi que par l'impossibilité de la stocker ce qui exige l'ajustement de la production à la consommation.

Les appareils servant à la production de l'énergie électrique s'appellent *générateurs électriques*. Un générateur électrique transforme une énergie d'un certain type (chimique, mécanique) en énergie électrique. Parmi les générateurs électriques on peut citer les piles, les accumulateurs, les alternateurs, etc.

2.3.1. Méthode chimique

Cette méthode de production de l'énergie électrique est utilisée dans le cas des *piles* et des *accumulateurs*.

Une pile est réalisée à l'aide de deux métaux différents appelés électrodes, plongés dans une solution acide appelée électrolyte. L'action chimique de l'électrolyte sur les électrodes engendre un pôle positif et un pôle négatif et une différence de potentiel entre ceux-ci. La valeur de cette différence de potentiel varie entre 1 V et 2,5 V en fonction des métaux et de l'électrolyte utilisé.

2.3.2. Méthode électromagnétique

C'est la méthode industrielle de production de l'énergie électrique, utilisée dans les machines tournantes telles que les *alternateurs* et les *dynamos*. L'énergie

mécanique est ainsi transformée en énergie électrique par l'intermédiaire de l'induction électromagnétique. Cette méthode sera présentée en détaille dans un chapitre ultérieur.

2.3.3. Méthode thermique

Cette méthode réalise la transformation de l'énergie thermique en énergie électrique en utilisant deux métaux différents ayant un point de jonction. Lorsque le point de jonction est chauffé, entre les extrémités libres des métaux apparaît une différence de potentiel de valeur faible (de l'ordre des millivolts) et proportionnelle à la température du point de jonction.

L'ensemble des deux métaux à un point de jonction qui transforme les variations de la température en variation de la tension s'appelle *thermocouple*. Parmi ses applications on trouve la mesure des températures élevées.

2.3.4. Méthode photoélectrique

Cette méthode consiste en transformation de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Elle est due à la propriété de certains métaux d'acquérir une différence de potentiel entre deux surfaces lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière. Cette différence de potentiel engendre un déplacement de ses électrons.

La *photopile* c'est l'application la plus connue de cette méthode. La tension produite par la photopile est faible, mais suite à un groupement de plusieurs unités on obtient une puissance suffisante.

2.3.5. Méthode piézoélectrique

Lorsqu'on soumet le quartz à des compressions et des tractions successives on constate l'apparition d'une différence de potentiel entre ses deux faces. Ce phénomène retrouve d'importantes applications parmi lesquelles on doit citer les

balanciers électroniques, les microphones à cristal ou la production et la détection des ultrasons.

2.4. Types de courant électrique

Le courant électrique représente le déplacement ordonné des porteurs de charges (les électrons dans le cas des conducteurs). La manière d'après laquelle ce déplacement se produit détermine le type du courant.

Les principaux types de courant sont : le courant continu, le courant alternatif et le courant pulsatif.

2.4.1. Courant continu

C'est un courant de valeur et de sens demeurant constants. Les piles et les accumulateurs sont les principales sources de courant continu. La représentation graphique d'un courant continu est montrée sur la fig.2 - 1.

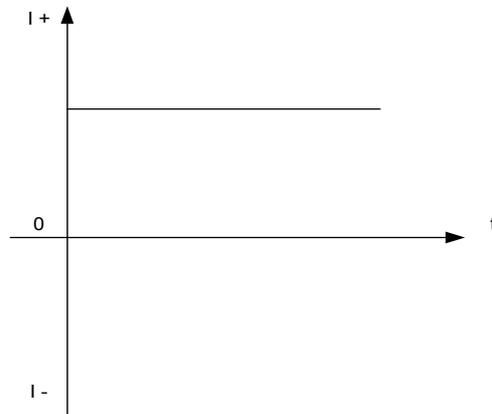


Fig. 2-1

2.4.2. Courant alternatif

C'est un courant dont la valeur et le sens changent périodiquement. Il passe d'une valeur maximale positive à une valeur négative maximale tout en passant par le

zéro. Puis il retourne à zéro et à sa valeur positive maximale et le cycle recommencent.

La fig. 2 - 2 présente le graphique d'un courant alternatif. Il est produit de manière industrielle par les alternateurs.

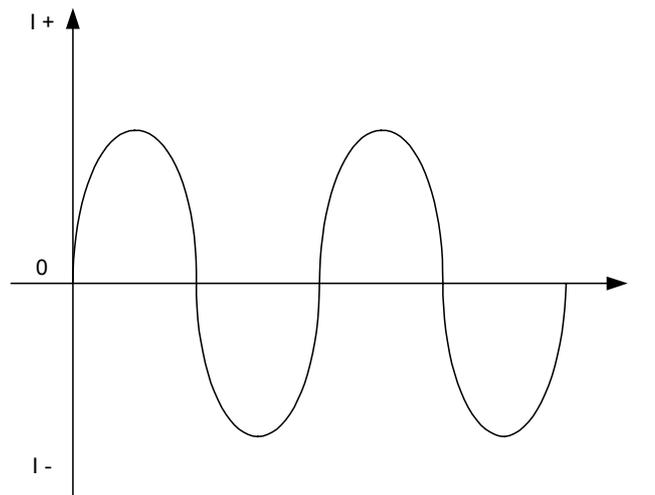


Fig. 2-2

2.4.3. Courant pulsatif

C'est un courant dont la valeur change périodiquement, mais dont le sens reste toujours le même.

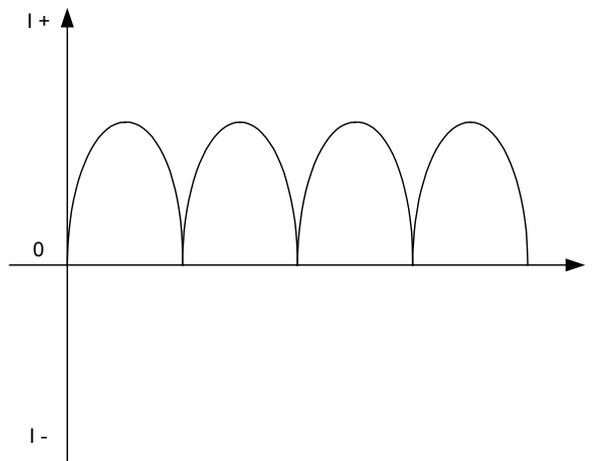


Fig. 2-3

La fig. 2 - 3 présente le graphique d'un tel courant. Le courant pulsatif est obtenu par le redressement du courant alternatif.

2.5. Effets du courant électrique

Toute application du courant électrique utilise un de ses effets. Bien que nombreux et variés ils peuvent être regroupés en trois types : thermique, chimique et magnétique.

2.5.1. Effet thermique

L'effet thermique consiste en la production de la chaleur par un courant dans le conducteur traversé par celui-là (effet Joule). Cet effet est utilisé dans certains appareils électroménagers (chaufferettes, fer à repasser, cuisinières etc.) et dans la production de la lumière dans les ampoules électriques (le filament porté à la température d'incandescence émet de la lumière). Il s'avère fort nuisible dans la plus grande partie des cas en étant la cause de la surchauffe des conducteurs.

2.5.2. Effet chimique

L'effet chimique est caractéristique seulement au courant continu et consiste en la décomposition par celui-ci des différents composants chimiques (l'électrolyse). Cet effet a beaucoup d'applications parmi lesquelles on peut citer : la galvanoplastie (plaquage avec de l'or, de l'argent ou du chrome), le raffinage de métaux légers tels que l'aluminium, le magnésium, le cuivre.

2.5.3. Effet magnétique

L'effet magnétique consiste en la production d'un champ magnétique autour d'un conducteur parcouru par un courant électrique. La plupart des appareils électriques, tels que relais, transformateurs, machines tournantes, mettent à profit cet effet du courant. Comme conséquences nuisibles de cet effet on peut mentionner

l'interférence sur les ondes radios observée à la proximité d'une ligne de haute tension.

3. CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS DE CIRCUIT A COURANT CONTINU

Les appareils électriques, électroniques ou électromécaniques sont tous des consommateurs d'énergie électrique qui leur est fournie dans le cadre d'un circuit électrique.

Un circuit électrique est composé :

- d'un générateur de force électromotrice ;
- d'un ou plusieurs récepteurs d'énergie électrique ;
- d'un système de transmission de l'énergie électrique ;
- d'accessoires pour la commande ou la protection du circuit.

3.1. Conducteurs et câbles

Le système de transmission de l'énergie électrique est constitué par l'ensemble d'éléments conducteurs servant au transport du courant électrique des générateurs électriques aux récepteurs. Ce système est constitué par les conducteurs, les câbles et les raccords.

3.1.1. Conducteurs

Les fils conducteurs, bref les conducteurs, sont réalisés en matériel conducteur. Bien que l'argent est le meilleur conducteur, le cuivre et l'aluminium sont les plus utilisés à cause de leur meilleur prix.

Selon l'application, on retrouve diverses formes pour la section du conducteur : circulaire (qui est la plus utilisée), carrée ou plate. Afin d'améliorer leur souplesse est la résistance mécanique certains conducteurs sont réalisés en enroulant ensemble plusieurs conducteurs de sections très petites, appelés torons.

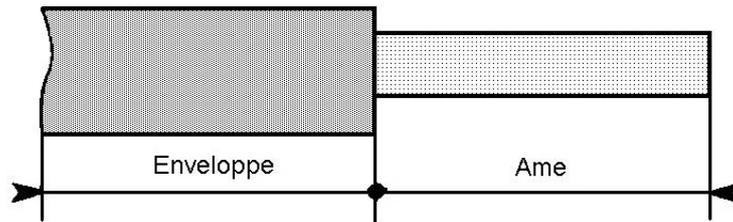


Fig. 3-1

Les conducteurs sont habituellement isolés (fig. 3 - 1). L'isolation, appelé aussi enveloppe, diffère d'une application à l'autre. Elle peut être une couche fine d'émail ou laque, caoutchouc, papier ou un isolant d'origine minérale: verre, porcelaine ou mica.

Le diamètre des conducteurs est standardisé. On peut utiliser une jauge de mesure pour l'évaluer.

3.1.2. Câbles

Un câble comporte plusieurs conducteurs électriquement distincts et solidaires sous un ou plusieurs revêtements protecteurs (gaine, tresse, armure) (fig. 3 – 2). Un câble facilite l'installation des conducteurs et assure une meilleure protection contre les facteurs extérieurs (humidité, chaleur), ce qui augmente la sécurité des installations électriques.

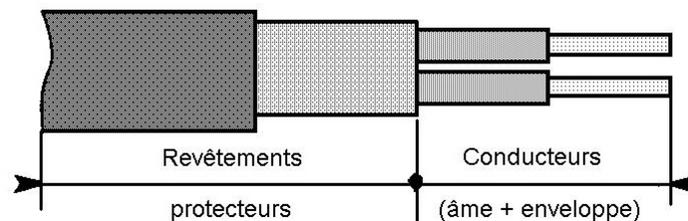


Fig. 3-2

Le câble est constitué de l'âme et de l'enveloppe.

L'âme du câble doit avoir :

- une bonne conductibilité; on utilise le cuivre recuit à l'aluminium ;
- une résistance mécanique suffisante pour éviter sa rupture ;
- souplesse pour faciliter son transport et sa mise en place dans les conduits.

L'âme d'un câble est massive lorsqu'il ne comprend qu'un fil (jusqu'à 6mm²), ou câblée lorsqu'il est formé de plusieurs torons.

L'enveloppe est en matière isolante ayant des propriétés :

- électriques : rigidité électrique élevée pour assurer un bon isolement ;
- physiques et chimiques : résistance à la chaleur, au froid, au vieillissement ;
- résistance à l'humidité, à la corrosion et à la combustion ;
- mécaniques : résistance à la rupture par traction.

Pour assurer une résistance accrue à la rupture on réalise des câbles armés recouverts d'une gaine non métallique résistante à la corrosion. On peut placer ces câbles à l'extérieur, dans des endroits humides et même sous terre.

Les câbles possèdent plus de deux conducteurs et sont fabriqués dans une large gamme de sections.

Un type spécial de câble est le câble coaxial, utilisé pour la transmission des signaux en électronique. La gaine métallique forme le premier conducteur. Elle est reliée à la masse assurant la protection du conducteur intérieur contre les champs magnétiques extérieurs.

Pour le repérage on utilise un code des couleurs présenté sur la fig. 3 - 3. Il est recommandé toutefois de vérifier la polarité des conducteurs avant toute intervention.

jaune vert		conducteur de protection (double coloration)				conducteur neutre	
CANALISATIONS MOBILES				CANALISATIONS FIXES			
APPAREILS		CABLES SOUPLES		MONOPHASES	CIRCUITS	CONDUCTEUR H07 V-U (ou R ou K) H07 V-RA	CABLES MULTICONDUCTEURS
MONOPHASES							
TRIPHASES Sans conducteur de protection (classes 0, 0I, II ou III) Valable seulement pour la série H05 RR-F de 0,75 à 2,5 mm ²							
Avec conducteur de protection (classe I)							
* Ou neutre si le moyen de connexion permet d'identifier la position des conducteurs					* Couleur quelconque sauf bleu clair, vert, jaune ou double couleur.		

D'après formulaire UTE

Fig. 3-3

3.2. Résistances

Les résistances sont des dipôles passifs dans lesquels toute l'énergie électrique mise en jeu est convertie en chaleur par effet Joule.

3.2.1. Types de résistances

D'après leur construction on distingue :

- des résistances bobinées;
- des résistances au carbone.

Les **résistances bobinées** sont fabriquées en enroulant un fil métallique ou un ruban métallique autour d'un noyau isolant. La valeur de la résistance est déterminée par la longueur du fil et par la résistivité du matériel.

Le domaine des valeurs des résistances bobinées commence de quelques ohms et arrive jusqu'à plusieurs milliers d'ohms. La puissance de ces résistances, c'est-à-dire la quantité de chaleur qu'elles peuvent évacuer sans subir de dommage, se situe entre cinq et plusieurs centaines de watts.

Les **résistances au carbone** sont réalisées de particules de carbone au graphite mélangé à un matériel isolant en poudre (fig. 3 – 4). La proportion de ces éléments dans le mélange détermine la valeur de la résistance. Quant aux valeurs de celle-ci, on les retrouve de 1 à 22 000 000 ohm. Les valeurs de la puissance des résistances au carbone sont normalisées dans les cadres de 0,1 W; 0,125 W; 0,25 W; 0,5 W; 1 W et 2 W.

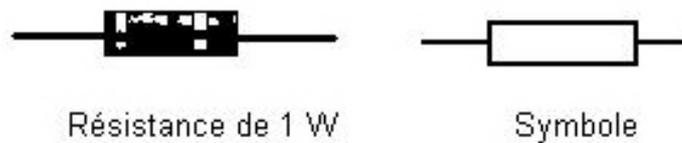


Fig. 3-4

Les résistances présentées auparavant se caractérisent par la valeur fixe de leur résistance. La technique moderne emploie fréquemment des résistances variables, pour lesquelles on peut faire varier la valeur de leur résistance. Selon leur usage, elles sont appelées :

- rhéostats ou
- potentiomètres.

Les **rhéostats** sont des résistances variables utilisées pour régler le courant dans un circuit. Leur gabarit est supérieur à celui des potentiomètres et leur diamètre peut atteindre 150, voire 200 mm. L'élément résistif d'un rhéostat est représenté par un seul fil. Les rhéostats sont munis de deux ou trois bornes. L'une d'elles est raccordée au contact mobile et l'autre (les autres) à une extrémité (aux extrémités) de l'élément résistif.

Les **potentiomètres** sont des résistances variables utilisées pour le réglage de la tension d'un circuit. Ils ont trois bornes et leur diamètre ne dépasse pas 12 mm.

L'élément résistif est réalisé en carbone. La fig. 3 - 5 présente les types de potentiomètres les plus utilisés : unitour et multitour, de dimension plus réduites mais offrant une plage de réglage plus précise.

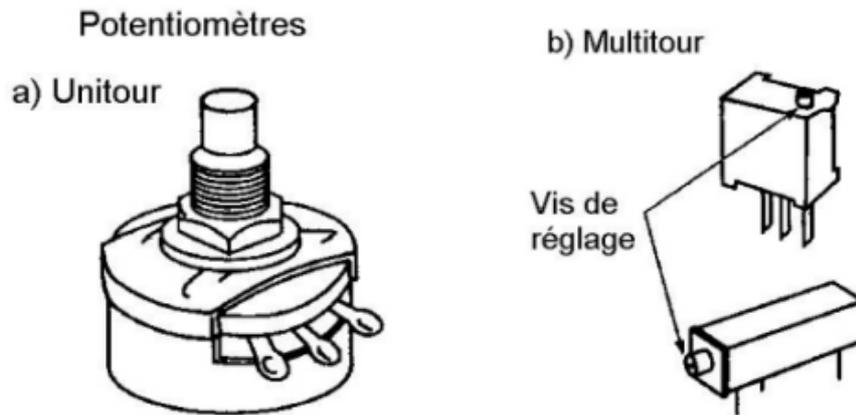


Fig. 3-5

3.2.2. Symboles

Les symboles utilisés pour la représentation des résistances dans les schémas sont présentés dans la fig. 3 - 6.

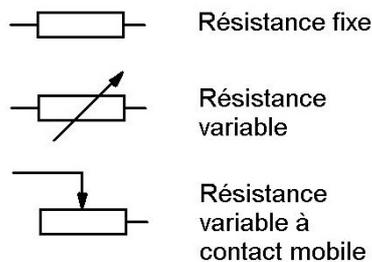


Fig. 3-6

3.2.3. Puissance dissipée

La puissance dissipée (ou de dissipation) des résistances est une caractéristique très importante pour celles-ci. Elle indique la capacité d'évacuation de chaleur d'une résistance due au passage du courant électrique. La puissance de dissipation s'exprime en Watts.

En outre, plus une résistance est grande, plus sa puissance de dissipation augmente. En pratique on accorde une grande attention à ce paramètre en utilisant un facteur de sécurité égal à 2 lors de l'utilisation des résistances au carbone. Cela veut dire qu'on emploiera une résistance avec une puissance de dissipation de 2 W, si les calculs indiquent l'utilisation d'une résistance de 1 W.

La tolérance de la valeur de la résistance indique le pourcentage de variation possible entre la valeur réelle et sa valeur indiquée. Les producteurs fournissent sur le marché des résistances dont la tolérance se situe entre 1 et 20 %. Pour la plus part des circuits on accepte l'utilisation des résistances d'une tolérance de 10%.

3.2.4. Code des couleurs

Le marquage des résistances s'effectue d'après leur type :

- Les résistances bobinées sont assez grandes pour qu'on puisse inscrire sur leur boîtier leur valeur ohmique et leur tolérance.
- Les résistances au carbone, qui sont de petites dimensions, sont marquées d'après un code des couleurs des résistances qui sera le sujet d'une leçon prochaine.

3.3. Sources de tension

La source de tension est un appareil qui fournit la force électromotrice nécessaire pour engendrer le courant électrique dans un circuit électrique.

3.3.1. Types de sources

Les sources de courant continu peuvent être une pile, un accumulateur, une pile solaire, une dynamo, un thermocouple ou un dispositif piézo-électrique.

- *Pile*

La pile est un générateur électrique qui transforme directement l'énergie chimique en énergie électrique. Elle est constituée par deux métaux différents immergés

dans une solution acide appelée électrolyte. Actuellement l'électrolyte n'est plus liquide mais plutôt pâteux et les piles s'appellent sèches.

La tension des piles ne dépasse pas 1,6 V. Lorsqu'on groupe de manière convenable plusieurs piles on peut obtenir des tensions plus élevées.

Les piles sont identifiées par des lettres allant de la plus faible « AAA » à la plus puissante comme capacité énergétique « D ».

Les piles ont des applications multiples. Les piles au carbone – zinc sont utilisées dans les jouets, lampes de poches, etc. Pour les appareils photo ou les petits moteurs sont préférées les piles alkalino-manganèse en raison de leur longue vie. Grâce à leur petite taille et à leur tension constante, les piles à mercure et à argent sont utilisées pour les montres électroniques, les prothèses auditives.

- Accumulateur

Les accumulateurs appelés aussi piles secondaires, diffèrent des piles primaires dans le sens que leur processus est réversible. Ainsi un accumulateur complètement déchargé peut être rechargé, en faisant circuler un courant inverse, à l'aide d'une source extérieure de tension appelée chargeur, ce qui conduit à reconstituer ses électrodes. C'est un grand avantage qui rend les accumulateurs utilisables dans beaucoup de domaines comme sources d'énergie auxiliaire ou d'urgence, ou encore comme sources dans les appareils mobiles comme les automobiles, les voitures électriques, les avions.

Selon l'application on distingue deux types d'accumulateurs :

- *L'accumulateur au plomb* se caractérise par une grande capacité électrique et une durée de service en quelque sorte réduite. Il est utilisé pour les appareils mobiles.
- *L'accumulateur au nickel - cadmium* peut fournir de grandes puissances pendant de courtes périodes de temps. Il est très fiable et peut durer plus de 15 ans sans entretien ce qui le rend convenable comme source d'énergie auxiliaire ou d'urgence.

Les batteries sont des groupements de piles primaires ou secondaires raccordées ensembles pour fournir une tension plus élevée ou une capacité énergétique plus grande. Ce regroupement est enfermé dans un boîtier.

3.3.2. Symboles

Les symboles normalisés utilisés pour les piles et pour les batteries sont représentés sur la fig. 3 – 7.

Dans les deux symboles, le trait court représente la borne négative alors que le trait long désigne la borne positive.

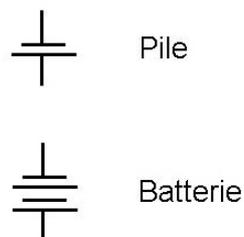


Fig. 3-7

3.4. Interrupteurs

La commande des circuits électriques est réalisée, soit manuellement, soit automatiquement, avec des dispositifs spécifiques. Pour la commande manuelle les dispositifs utilisés sont classés en deux catégories :

- interrupteurs;
- commutateurs.

L'interrupteur est un dispositif de commande capable d'ouvrir et de fermer un circuit électrique. En position ouverte le circuit commandé l'est de même, la circulation du courant est interrompue. En position fermée le circuit devient lui aussi fermé et la circulation du courant devient possible.

Les interrupteurs sont caractérisés par le nombre de pôles et par les directions qu'ils comportent. On parle d'interrupteurs unipolaires, bipolaires et tripolaires lorsqu'ils contrôlent une, deux ou trois lignes porteuses de courant.

En outre un interrupteur, soit unipolaire, bipolaire ou tripolaire, peut diriger le courant vers différents éléments de circuit. On l'appelle alors interrupteur à simple direction ou à double direction.

Remarque : Ne pas confondre les notions de direction et de position !

La fig. 3 - 8 montre quelques interrupteurs comportant différentes combinaisons de pôles et de directions.

L'interrupteur unipolaire à simple direction (« SPST ») ne peut ouvrir ou fermer qu'un seul circuit à l'intermédiaire d'une lame mobile qui assure la connexion dans le circuit. Il possède deux positions, MARCHE et ARRÊT, mais il n'est qu'à une direction.

L'interrupteur unipolaire à double direction (« SPDT ») par contre possède trois positions, ce qui lui confère deux directions et il peut commander deux circuits : le premier branché entre la connexion centrale A et la borne A1 et le deuxième entre la même connexion centrale A et la borne A2.

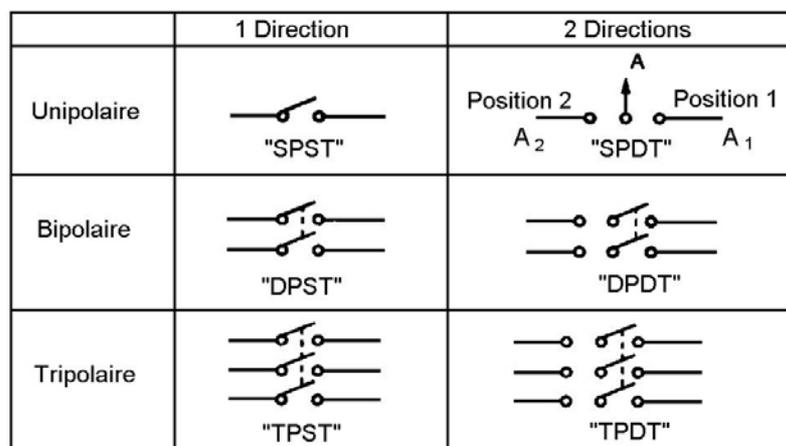


Fig. 3-8

L'interprétation des directions pour les interrupteurs bipolaires et tripolaires est de même manière. Ce qui change c'est le nombre de fils d'un même circuit que l'on peut commander. Ainsi, on compte deux fils pour les interrupteurs bipolaires et trois pour les interrupteurs tripolaires

L'interrupteur rotatif est caractérisé par la multitude de positions disponibles. Les fabricants mettent à la disposition des utilisateurs interrupteurs rotatifs unipolaires et multipolaires. La fig. 3 - 9 montre quelques exemples.

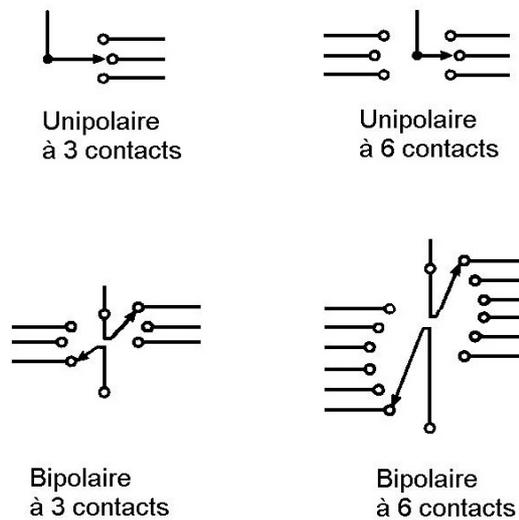


Fig. 3-9

Les interrupteurs présentés ci-dessus restent dans leur position jusqu'à une nouvelle manipulation.

L'interrupteur instantané assure la commande du circuit seulement le temps de leur actionnement. Des qu'il est relâché l'interrupteur revient à sa position sous l'action d'un ressort.

Il y a deux types d'interrupteurs instantanés :

- normalement ouvert (N.O.), ou encore à fermeture;
- normalement fermé (N.F.), ou encore à ouverture.

Le type N.O., normalement ouvert, se ferme quand on actionne l'interrupteur et s'ouvre à nouveau dès qu'il est relâché. Pour le type N.F. les choses se passent dans le sens contraire.

3.5. Fusibles et disjoncteurs

Afin d'assurer la protection des personnes et des appareils électriques, les circuits électriques doivent être munis de *dispositifs de protection*. Les fusibles et les disjoncteurs sont les dispositifs de protection utilisés couramment pour provoquer l'ouverture du circuit lors de l'apparition d'une surcharge ou d'un court-circuit.

Le **fusible** représente un conducteur calibré introduit dans le circuit à protéger qui, en cas de défaut (surcharge ou encore court-circuit), s'échauffera jusqu'à sa température de fusion.

Quand l'élément d'un fusible a fondu il faut le remplacer par un autre de même capacité.

Généralement on utilise des coupe-circuit à cartouches fusibles calibrés et non rechargeables.

Il existe deux classes de fusibles d'usage courant :

- **aM**, fusible conçu pour protéger les circuits contre les fortes surcharges et les courts-circuits. Ce sont des fusibles à action lente qui peuvent supporter une surintensité pendant un très court laps de temps et sont utilisés pour la protection des moteurs triphasés;
- **gI**, fusible conçu pour protéger les circuits contre les faibles et les fortes surcharges et bien évidemment contre les courts-circuits. Ce sont des fusibles à action rapide qui réagissent dès que le courant limite a été dépassé, et aussi ceux d'usage général.

Le **disjoncteur** est un interrupteur automatique qui coupe le circuit lorsque l'intensité du courant qui la traverse dépasse une valeur prédéterminée. Il est doué de pouvoir de coupure.

Le déclenchement peut être :

- *instantané*, lorsque le dispositif qui provoque l'ouverture est magnétique;
- *temporisé* lorsque le dispositif est thermique.

Le disjoncteur possède un grand avantage sur le fusible : lorsqu'il déclenche, il suffit de le réenclencher et le basculer en position MARCHE. C'est pourquoi dans les installations domestiques ou industrielles il remplace le fusible malgré son coût plus élevé.

On classe les disjoncteurs selon leur principe de fonctionnement. Ainsi on trouve des disjoncteurs :

- magnétiques,
- thermiques
- magnéto-thermiques.

3.6. Condensateurs

Les condensateurs sont des dispositifs capables d'accumuler de l'énergie électrique lorsqu'ils sont chargés.

La propriété des condensateurs, une fois chargés, d'accumuler de l'énergie électrique dans leurs champs électriques est exprimée par une grandeur caractéristique appelée capacité. Le symbole de la capacité est C et son unité de mesure est le farad, symbolisé par la lettre F. Le farad étant une unité trop grande il s'avère nécessaire d'utiliser ses sous - multiples : le microfarad (μF) et le picofarad (pF).

Un condensateur est constitué de deux plaques métalliques séparées par un isolant, aussi appelé diélectrique (fig. 3 – 10).

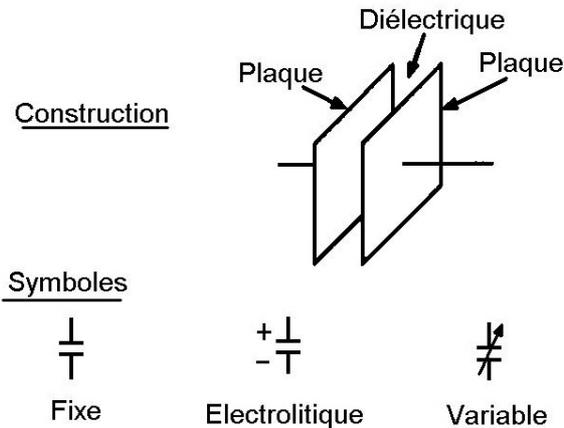


Fig. 3-10

La capacité d'un condensateur est déterminée par les facteurs suivants :

- la surface des plaques;
- la distance entre les plaques;
- la nature du diélectrique utilisé.

Les condensateurs sont classés généralement d'après le type du diélectrique utilisé. Il existe ainsi des condensateurs à l'air, au papier, à la céramique etc.

Les condensateurs sont réalisés sous diverses formes : tubulaire, plate, disque etc.

En plus tous les condensateurs sont dans une des deux catégories suivantes : fixes et variables.

Les condensateurs appartiennent aussi à une des deux groupes suivants : *polarisé* ou *non polarisé*.

Les condensateurs au papier, au mica ou à la céramique entrent dans le groupe des condensateurs non polarisés, cela veut dire qu'ils n'ont pas une polarité assignée à leurs électrodes.

Remarque : Quoique le condensateur au papier soit non polarisé, souvent il est doté d'une bande noire à l'une de son extrémité. Cette bande n'indique pas la polarité, mais l'électrode

reliée à la feuille extérieure du condensateur qu'il est recommandé à être branché à la polarité moins élevée.

Dans le groupe des condensateurs polarisés, on trouve les condensateurs électrolytiques. Celui doit recevoir un potentiel plus positif sur une électrode que sur l'autre, autrement il sera détruit. Une des électrodes est clairement identifiée.

Dans le cas d'un condensateur axial, un trait portant le signe «-», pointe dans la direction de l'électrode qui doit être branché au potentiel inférieur. De plus près de la broche opposée, le condensateur est légèrement déformé par une rayure, toujours présente du côté de la broche assignée à la polarité plus élevée.

Dans le cas du condensateur radial, le trait comportant le même signe «-» indique l'électrode négative.

La tolérance d'un condensateur exprime en pourcentage la marge d'erreur de sa capacité indiquée par le fabricant. Elle appartient à une plage de valeurs qui commence par $\pm 1\%$ et peut aller jusqu'à $\pm 20\%$.

Les principaux paramètres des condensateurs sont :

- la *tension nominale*, qui indique la valeur maximum de la différence de potentiel que l'on peut appliquer à ses bornes sans causer le claquage de son diélectrique.
- le *coefficient de température*, qui exprime le taux de variation de la capacité avec la température. Dans la plupart des cas ce coefficient est positif, mais il existe aussi des condensateurs dont le coefficient est négatif (leur capacité diminue avec l'élévation de la température), et même nul ce qui traduit la stabilité de la capacité par rapport à la variation de la température.

Le marquage des condensateurs au mica et des condensateurs à la céramique est effectué conformément au *code des couleurs des condensateurs*. Celui-ci sera présenté dans une leçon prochaine.

Dans un *condensateur plane* on peut admettre que le champ électrostatique est uniforme ($E = U / e$). Il existe une **valeur maximale E_{max} du module E** , appelé **champ de claquage ou champ disruptif**, pour laquelle il y a arrachement des électrons du réseau cristallin. L'isolant devient alors brusquement conducteur et le condensateur est détruit. Ce champ disruptif dépend évidemment de la nature du diélectrique. Il en résulte une limitation de la tension de charge qui est mentionnée sur les condensateurs du commerce ($U_{max} = E_{max} \cdot e$).

3.7. Inductances

L'inductance est définie comme la propriété d'un circuit de s'opposer à toute variation du courant qui le traverse. Le composant fabriqué de manière à posséder la propriété d'inductance s'appelle inductances, bobines ou encore bobines d'inductance ou selfs.

La fig. 3 - 11 présente les différents types des inductances et leurs symboles.

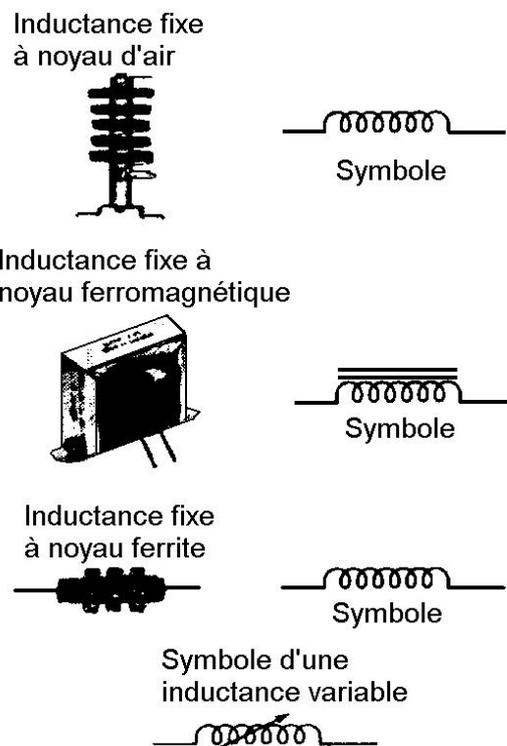


Fig. 3-11

La valeur d'inductance d'une bobine dépend des facteurs suivants :

- dimensions et forme de la bobine ;
- nombre de spires ;
- nombre de couches de fil ;
- type de matériel du noyau.

4. DIFFERENTS GROUPEMENTS DES COMPOSANTS DE CIRCUIT A COURANT CONTINU

Afin de pouvoir utiliser les récepteurs d'énergie électrique, il faut les brancher dans des circuits électriques. Nous connaissons maintenant les différents composants de circuit passifs et actifs. Le raccord entre ces composants conduit à la réalisation des circuits électriques, ce qui permet la circulation du courant et la consommation de l'énergie électrique.

Les montages en série, en parallèle et mixte (en série - parallèle) composent la plus part des circuits, d'où l'importance particulière qu'on donne à leur étude.

4.1. Montage en série

On dit que les composants d'un circuit électrique (ou encore des appareils, dispositifs, récepteurs électriques) sont branchés en série lorsqu'ils sont connectés dans un ordre successif, n'offrant qu'un seul chemin au passage du courant.

Pour un **groupement série** la borne d'un composant est connectée avec la borne du suivant, afin de réaliser une chaîne (fig. 4 – 1).

Un groupement série est alimenté par les deux bornes qui restent non occupées et représente l'ensemble.

La **tension** d'alimentation du groupement se distribue sur tous les composants de manière que la *somme des tensions* à leurs bornes est *égale à celle d'alimentation*.

Le courant dans tous les composants du groupement série est le même, ce qui évident du fait qu'il n'y a qu'un seul chemin pour le passage du courant.

Lorsqu'on considère un groupement série alimenté par une source, la *somme des puissances* absorbées par les composants est *égale* à la *puissance* fournie par la *source*.

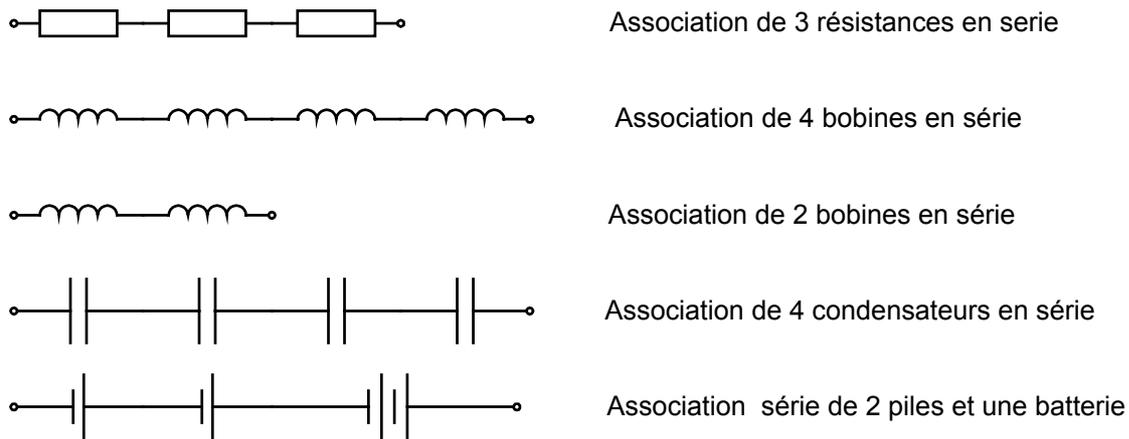


Fig. 4-1

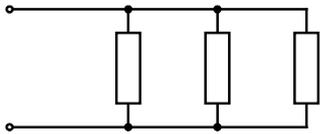
4.2. Montage en parallèle

On dit que les composants d'un circuit électrique (ou encore des appareils, dispositifs, récepteurs électriques) sont **branchés en parallèle** lorsque leurs bornes sont connectées aux deux mêmes points (fig. 4 – 2).

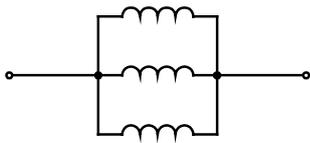
On trouve ainsi, aux bornes de chacun des composants la *même différence de potentiel* ce qui est la tension d'alimentation du groupement.

La *somme des courants* circulant dans les composants du groupement parallèle est *égale au courant d'entrée* dans le groupement (soit le courant débité par la source). Cette remarque qui tient de l'évidence car le courant qui entre dans le groupement parallèle se ramifie pour emprunter tous les chemins qui lui sont offerts par les composants du groupement.

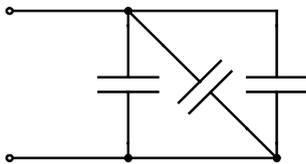
Lorsqu'on considère le groupement parallèle alimenté par une source, la *somme des puissances* absorbées par les composants est *égale* à la *puissance* fournie par la *source*.



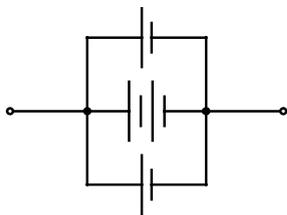
Association de 3 résistances en parallèle



Association de 3 bobines en parallèle



Association de 3 condensateurs en parallèle



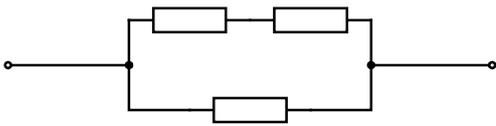
Association de 2 piles et une batterie en parallèle

Fig. 4-2

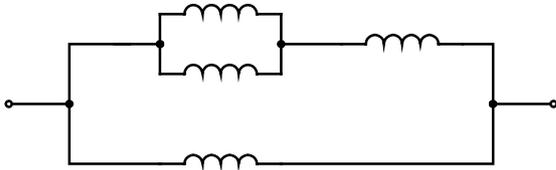
4.3. Montage mixte

Un circuit *mixte* est réalisé de composants dont *certain*s sont reliés *en série* tandis que *d'autres* sont associés *en parallèle*. Ainsi on peut dire qu'un circuit mixte comporte des groupements séries de composants associés en parallèle et des groupements parallèles de composants associés en série (fig. 4 – 3).

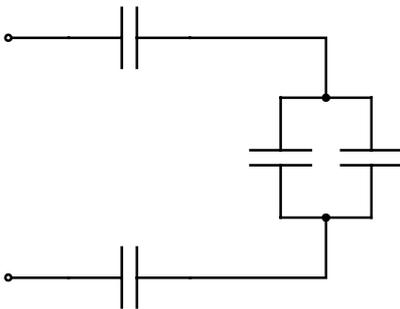
L'étude d'un circuit mixte s'appuie sur les notions relatives aux montages en série et parallèle.



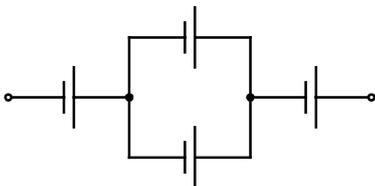
Association mixte de 3 résistances



Association mixte de 4 bobines



Association mixte de 4 condensateurs



Association mixte de 4 sources

Fig. 4-3

5. LOI D'OHM ET EXPRESSION DE LA PUISSANCE

La loi découverte par le physicien allemand Ohm au début du XIX-ème siècle, plus précisément en 1828, est la plus utilisée dans la résolution des problèmes en électricité et en électronique. Elle vise la relation existante entre les trois paramètres électriques d'un circuit ou composant : tension, courant et résistance.

5.1. Loi d'Ohm

Georg Simon Ohm a trouvé suite à ses recherches sur les éléments de Volta qu'il existe une relation précise entre les trois paramètres électriques : tension, courant et résistance. Si on maintient la résistance du circuit fixe, l'augmentation de la

tension de la source se traduit par une augmentation du courant dans le circuit, à cause de la « pression » accrue exercée sur les électrons.

La synthèse des observations faites auparavant est présentée par la formule suivante :

$$R = U / I$$

Où : R = la résistance exprimée en ohms (Ω)

I = le courant exprimé en ampères (A),

U = la tension exprimée en volts (V),

L'énoncé de cette loi est donc : ***On appelle une résistance idéale le quotient R de la tension U aux bornes de cette résistance par le courant I qui la parcourt.***

Dans la pratique on utilise souvent aussi les deux autres expressions :

$$I = U / R$$

Et

$$U = R \cdot I$$

5.2. Puissance électrique

Un récepteur électrique est un dispositif destiné à consommer de l'énergie électrique. Sa capacité de consommer de l'énergie électrique est caractérisée par un quatrième paramètre électrique très important, appelé la **puissance** électrique. La puissance électrique est exprimée par le rapport entre l'énergie électrique consommée par le récepteur dans un temps déterminé et la valeur de cette même durée.

La puissance est symbolisée par la lettre P et son unité de mesure est le watt (W).

L'énergie électrique consommée dans les récepteurs provient d'une source. Le récepteur est caractérisé par une résistance. Par ailleurs, lorsqu'un courant circule

dans une résistance, le déplacement des électrons d'un atome à l'autre provoque un dégagement de chaleur. Cette puissance dissipée par la résistance sous forme de chaleur, est égale à la puissance fournie par la source si on néglige les pertes inévitables, comme celles dans les conducteurs de liaison.

La puissance dissipée par la résistance est d'autant plus grande que le courant y circulant est grand ; en outre l'augmentation de la tension à ses bornes se traduit par une augmentation proportionnelle du courant qui circule dans cette même résistance.

On peut conclure que la puissance électrique dissipée par une résistance est proportionnelle au courant qui la parcourt et à la tension à ses bornes, ce qui s'exprime par la formule mathématique suivante :

$$P = U \times I \quad \text{ou} \quad P = E \times I$$

5.2.1. Puissance disponible

Considérons une source de f.é.m. E qui débite dans un circuit un courant d'intensité I . La puissance débitée par la source dans le circuit, donc disponible à la consommation des récepteurs contenus par celui-ci, est :

$$P = E \times I$$

5.2.2. Puissance dissipée

Soit une résistance R branchée dans un circuit parcouru par un courant d'intensité I . Si la tension à ses bornes est U , on a conclu que la puissance dissipée est :

$$P = U \times I$$

Il existe des relations équivalentes à celle-ci qui, d'après le cas s'avère très utiles dans les applications :

- *Remplacement du courant*

Si on remplace le courant I par son expression déduite de la loi d'Ohm, on obtient :

$$P = U \times I$$

$$P = I \times R \times I$$

$$P = R \times I^2$$

- Remplacement de la tension

Si on remplace la tension U par son équivalence fournie par la loi d'Ohm, on obtient :

$$P = U \times I$$

$$P = U \times \frac{U}{R}$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

6. CARACTERISTIQUES DES CIRCUITS A COURANT CONTINU

Afin de réaliser des circuits électriques les composants doivent être raccordés d'une certaine manière. Selon les besoins, les composants sont groupés dans la plupart des cas en série, en parallèle ou mixte, d'où la nécessité de les connaître.

6.1. Groupement série

On dit que les composants d'un circuit électrique sont branchés en série lorsqu'ils sont connectés dans un ordre successif, ce qui ne permet au courant électrique qu'un seul chemin pour son passage.

6.1.1. Schématisation

Le montage série comprend trois résistances (fig. 6 – 1). On remarque leur branchement bout à bout, la fin d'une avec le début de la suivante.

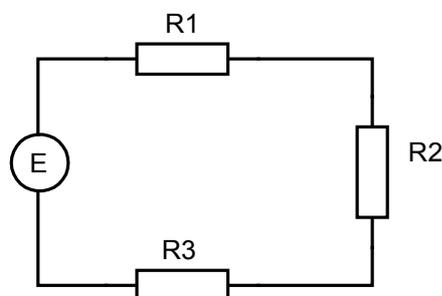


Fig. 6-1

Les représentations graphiques différentes (fig. 6 – 2) pour les circuits série ne doivent pas tromper sur le type du groupement. Si on veut arriver d'un point de branchement du circuit à l'autre, on constate qu'il n'y a qu'un seul chemin.

Remarque : Le groupement série présente un désavantage assez important qui réside du fait que si l'un des composants du circuit s'ouvre ou se détériore, le courant ne peut plus circuler. Ainsi dans le cas d'un ensemble de lampes montées en série, la détérioration d'une seule d'entre elles conduit à l'interruption du fonctionnement de toutes les autres. Par contre on met à profit cette caractéristique du circuit série pour le branchement des dispositifs de protection dans les circuits.

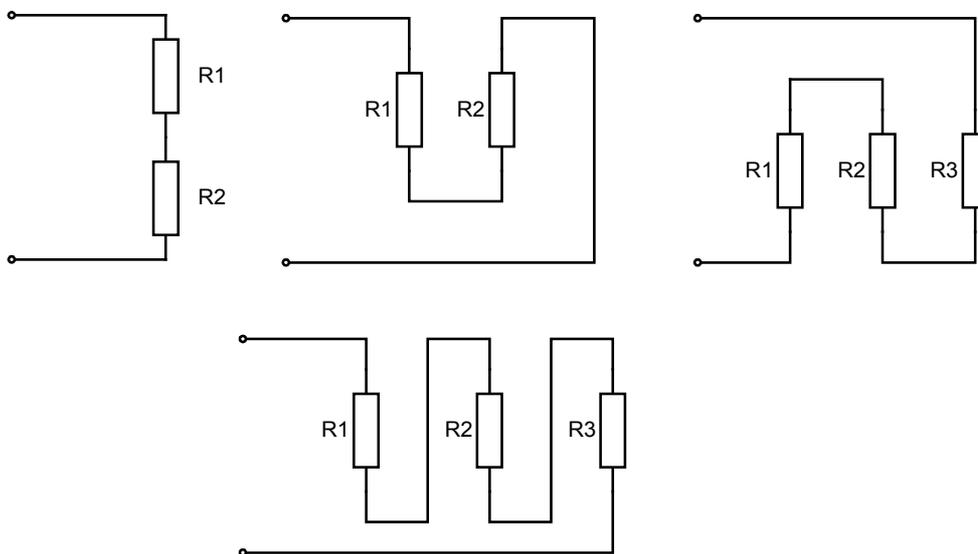


Fig. 6-2

6.1.2. Caractéristiques électriques

Le **courant** dans un montage série est le même à travers tous les éléments du circuit. L'ouverture du circuit dans un point quelconque produit l'interruption du courant. L'intensité du courant dans l'une des résistances est égale à l'intensité totale du circuit.

La **tension** aux bornes de chaque composant dépend de ses caractéristiques, mais la somme des tensions aux bornes de tous les composants est égale à la tension de la source.

La figure 6 - 3 présente l'illustration des caractéristiques courant et tension pour un circuit série.

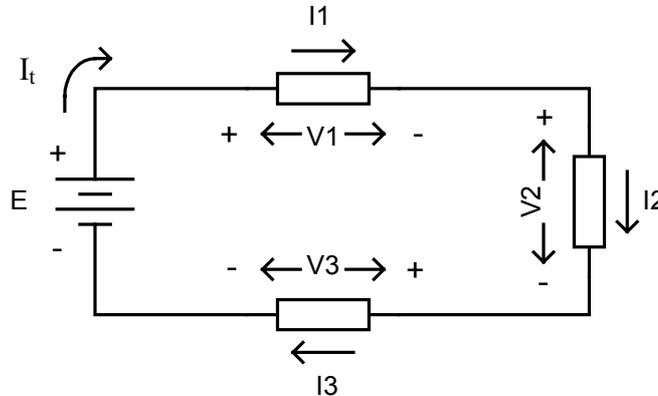


Fig. 6-3

Remarque : Dans la représentation schématique des circuits électriques, on utilise le sens conventionnel du courant, soit du pôle positif vers le pôle négatif.

6.1.3. Résistance équivalente

Si on considère un groupement série de résistances, la résistance de l'ensemble que l'on appelle **résistance équivalente** (R_{eq}), est égale à la somme des résistances du groupement série.

L'équation qui exprime le groupement série est la suivante :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

6.1.4. Inductance équivalente

Dans le cas des inductances l'équivalence d'un groupement série est similaire à celle des résistances, donc **l'inductance équivalente** (L_{eq}) d'un ensemble d'inductances branchées en série est égale à la somme des inductances du groupement.

L'équation qui exprime le groupement série des inductances est :

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

6.1.5. Capacité équivalente

Le branchement des condensateurs en série revient à une augmentation de l'épaisseur de l'isolant, ce qui a pour effet la diminution de la capacité équivalente. La **capacité équivalente** (C_{eq}) d'un groupement série de condensateurs est calculée avec la formule suivante :

$$1/C_{eq} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n$$

Exemple:

La fig. 6 - 4 résume le calcul de la résistance, inductance et capacité équivalente dans le cas simple d'un groupement série de deux éléments.

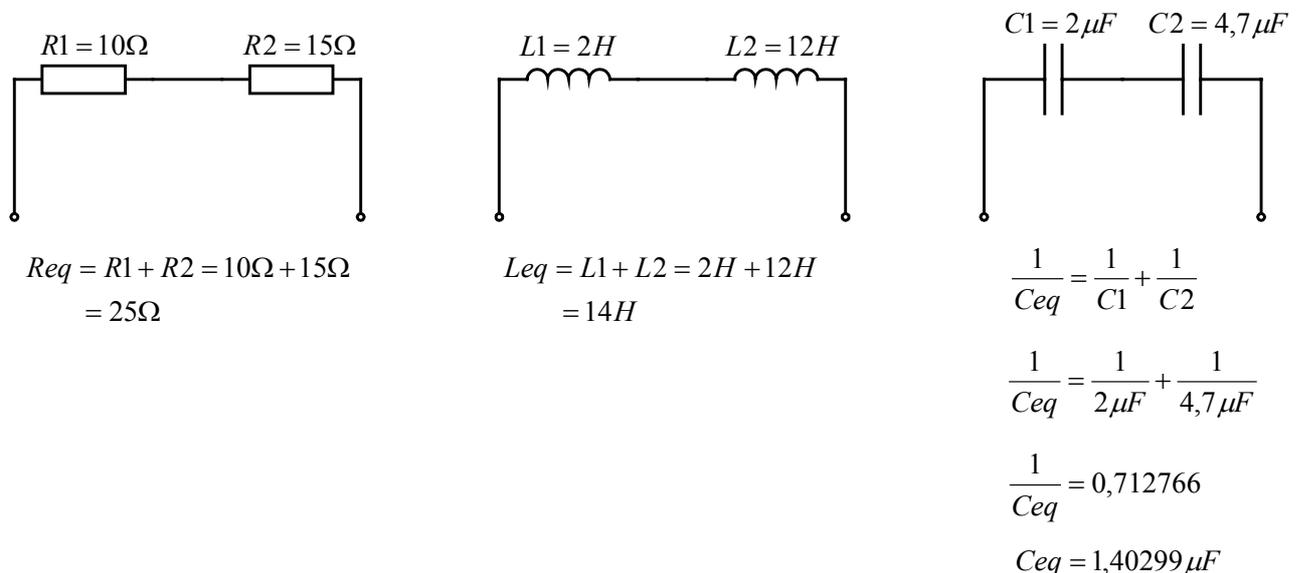


Fig. 6-4

6.2. Groupement parallèle

Un groupement d'éléments est considéré comme *parallèle* lorsque tous ceux-ci sont connectés directement aux bornes de la source. Aux bornes de chaque élément la tension est la même, celle de la source.

6.2.1. Schématisation

La fig. 6 - 5 montre un branchement de trois résistances en parallèle. Cette représentation graphique bien que la plus courante, n'est pas la seule.

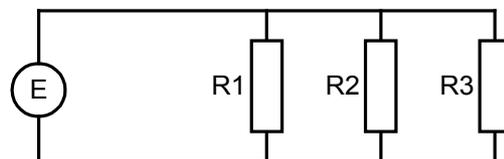


Fig. 6-5

La fig. 6 - 6 présente autres représentations graphiques pour illustrer le groupement parallèle.

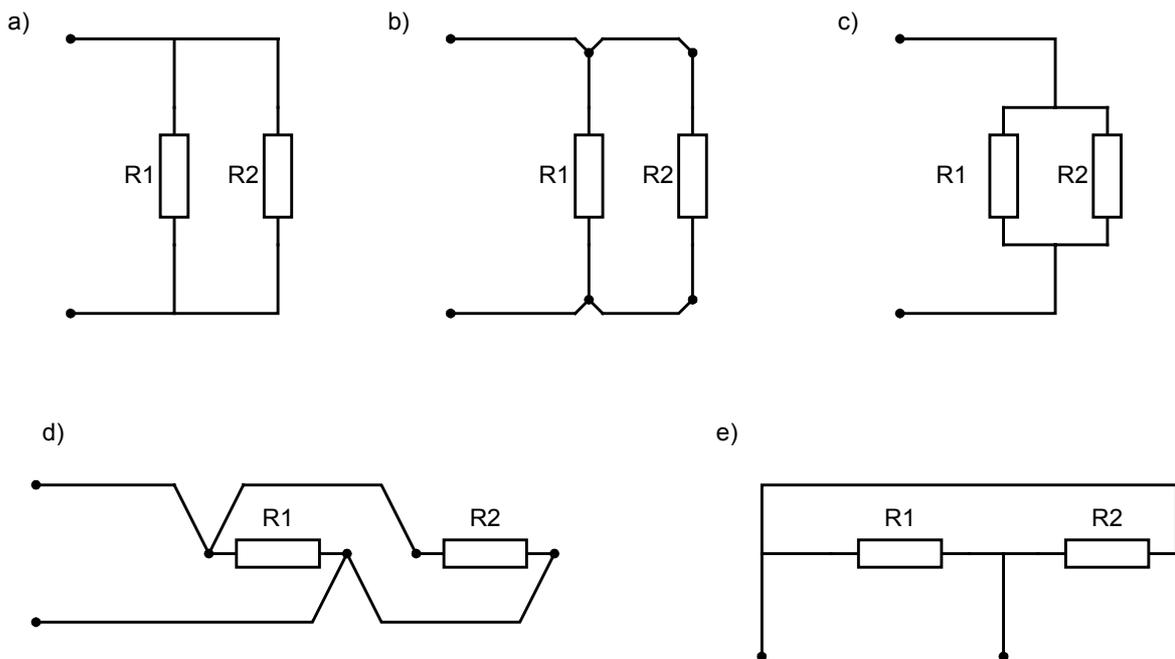


Fig. 6-6

6.2.2. Caractéristiques électriques

Le **courant total** fourni par la source se divise dans chacune des branches du groupement parallèle. En conséquence le courant total est la somme des courants dans chacune des branches.

L'équation qui illustre ce type de groupement est la suivante :

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

La **tension** aux bornes de tous les éléments d'un groupement parallèle est la même que celle de la source. Ainsi plusieurs récepteurs qui fonctionnent sous la même tension seront branchés en parallèle.

L'équation des tensions pour le groupement parallèle est :

$$E = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

La fig. 6 – 7 résume le comportement du **courant** et de la **tension** pour un groupement parallèle.

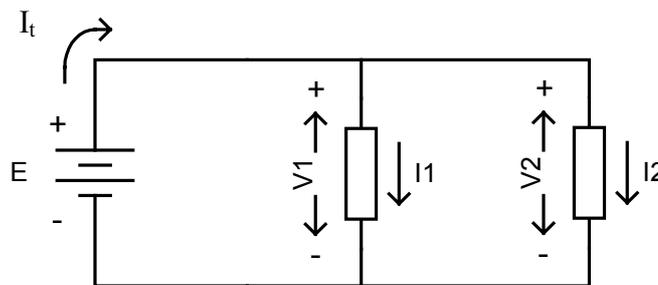


Fig. 6-7

6.2.3. Résistance équivalente

Un branchement parallèle offre plusieurs chemins à la circulation du courant. C'est pourquoi la **résistance équivalente** du groupement est toujours inférieure à la plus petite des résistances qui le compose.

Pour déterminer la valeur de la résistance équivalente d'un groupement parallèle, on a recours à une nouvelle grandeur appelée **conductance** (G), qui n'est que l'inverse de la résistance. Autant que la résistance exprime la propriété du matériel de s'opposer au passage du courant, la conductance exprime la facilité à laisser le courant à passer à travers celui-ci. La conductance s'exprime en siemens (S) et correspond à l'équation suivante :

$$G = 1 / R$$

La **conductance équivalente** G_{eq} d'un groupement parallèle de résistances est égale à la somme des conductances des résistances qui le composent. L'équation qui illustre le groupement parallèle est :

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

Quant à la résistance équivalente elle n'est que l'inverse de la conductance équivalente :

$$R_{eq} = 1/G_{eq}$$

On peut exprimer directement la résistance équivalente du groupement en fonction des résistances qui le composent. On trouve ainsi l'équation suivante :

$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$$

Pour le groupement de deux résistances on emploie souvent la formule qui exprime directement la valeur de la résistance équivalente, ce qui permet de simplifier les calculs:

$$R_{eq} = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2)$$

Remarque : Lorsque les résistances du groupement sont de valeur égale la résistance équivalente sera égale à la valeur d'une résistance divisée par le nombre de résistances du circuit.

6.2.4. Inductances en parallèle

Comme pour les résistances, **l'inductance équivalente** d'un groupement parallèle d'inductances se calcule par la formule des inverses. L'équation qui exprime le groupement parallèle des inductances est :

$$1/L_t = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + \dots + 1/L_n$$

6.2.5. Capacité équivalente

Lorsqu'on branche des condensateurs en parallèle on augmente la surface plane, ce qui a pour effet une augmentation de la capacité de l'ensemble. Ainsi la **capacité équivalente** d'un groupement parallèle est supérieure à la plus grande capacité qui compose l'ensemble.

L'équation illustrant le groupement parallèle des condensateurs est la suivante :

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

La fig. 6 - 8 résume le calcul de la résistance, inductance et capacité équivalente dans le cas simple d'un groupement parallèle de deux éléments.

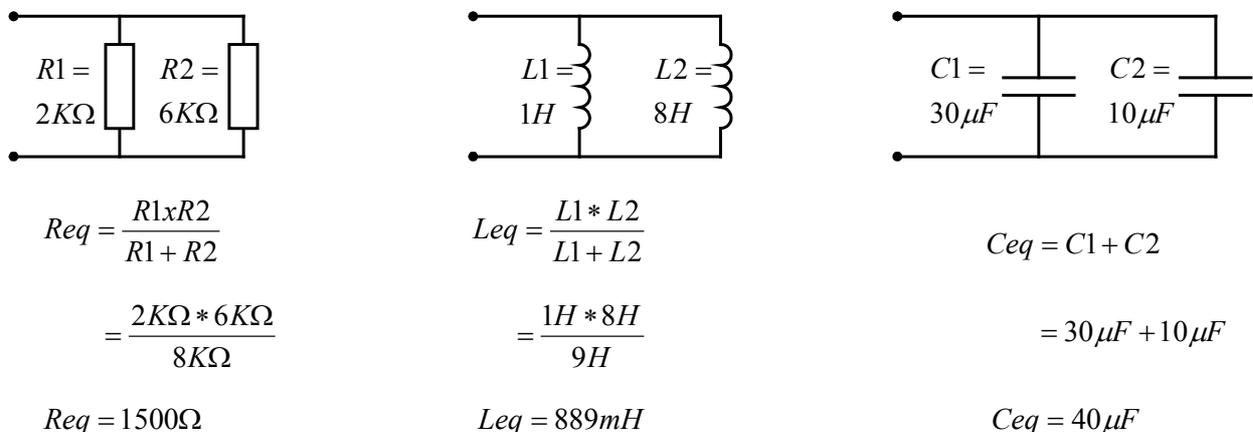


Fig. 6-8

6.3. Groupement des piles

Une pile est caractérisée par sa **force électromotrice** (E) et par sa **résistance interne** (r). On réalise un groupement de piles lorsqu'on désire à obtenir une tension d'alimentation supérieure ou une capacité énergétique plus grande.

6.3.1. Groupement série

Deux sources associées en série admettent une **source équivalente** : la force électromotrice de la source équivalente vaut la somme des forces électromotrices des sources associées et sa résistance interne est égale à la somme des résistances interne de celles-ci.

Les relations mathématiques de cette équivalence sont les suivantes :

$$\begin{aligned} E_{\text{eq}} &= E_1 + E_2 && \text{- pour la f.é.m.} \\ r_{\text{eq}} &= r_1 + r_2 && \text{- pour la résistance interne} \end{aligned}$$

Remarque : Ce résultat peut être généralisé pour un nombre quelconque de sources.

Dans le cas d'un groupement série de sources identiques (de caractéristiques E et r), la force électromotrice (E_{eq}) et la résistance interne (r_{eq}) de l'ensemble vaut la force électromotrice d'une source multipliée par le nombre de sources du groupement, respectivement la résistance interne multipliée par le même nombre.

$$\begin{aligned} \text{Donc : } E_{\text{eq}} &= n \times E && \text{- pour la f.é.m.} \\ r_{\text{eq}} &= n \times r && \text{- pour la résistance interne} \end{aligned}$$

6.3.2. Groupement parallèle

Bien qu'il existe les relations d'équivalence d'un groupement parallèle de sources différentes, nous allons présenter seulement le cas concernant les *sources identiques*, d'ailleurs le plus souvent rencontré dans la pratique.

Dans le cas d'un groupement parallèle de sources identiques (de caractéristiques E et r), la force électromotrice (E_{eq}) et la résistance interne (r_{eq}) de l'ensemble vaut la force électromotrice d'une source, respectivement la résistance interne divisée par le même nombre.

Donc : $E_{eq} = E$ - pour la f.é.m.
 $r_{eq} = r/n$ - pour la résistance interne

6.4. Groupement mixte

La plupart des circuits associent en parallèle des groupements série de composants ou encore des groupements parallèles de composants disposés en série : ce sont des **groupements mixtes**.

La fig. 6 - 9 présente quelques exemples simples de groupement mixtes de résistances.

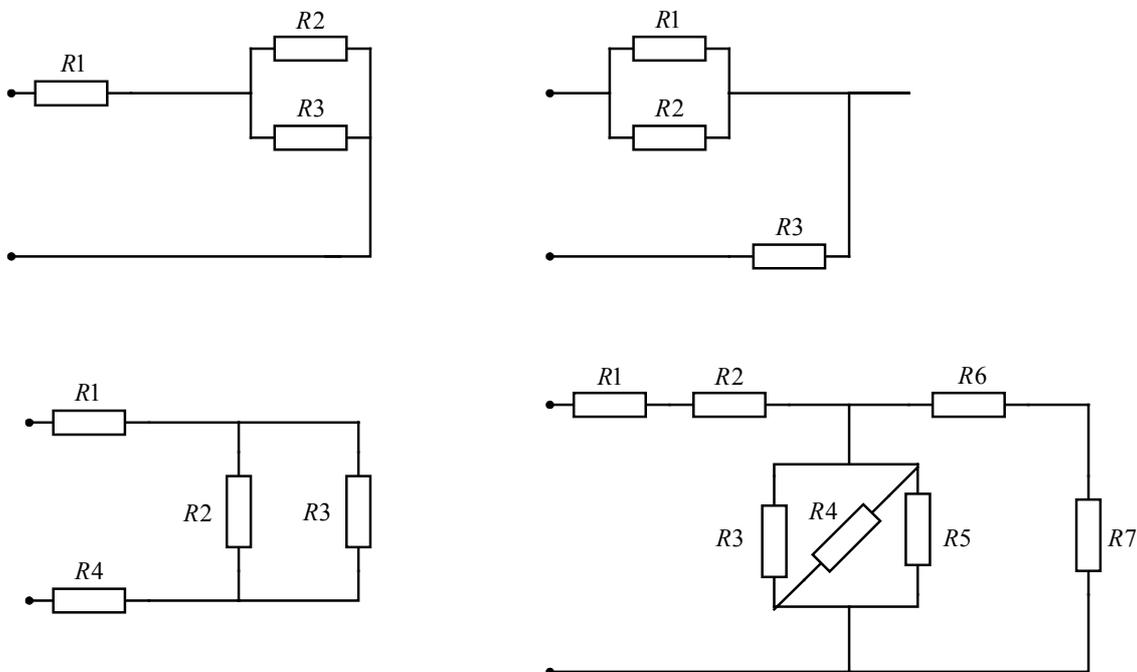


Fig. 6-9

Le calcul de la résistance équivalente d'un groupement mixte s'effectue en utilisant les relations concernant les groupements en série et en parallèle. On procède à la décomposition du circuit ainsi qu'à sa transfiguration par étapes : on identifie un groupement série ou parallèle et on effectue l'équivalence appropriée en calculant la valeur de la résistance et en redessinant le circuit avant de reprendre la procédure.

7. CARACTERISTIQUES DES CONSTANTES DE TEMPS RC ET RL DANS DES CIRCUITS A COURANT CONTINU

Le comportement des condensateurs et des bobines dans les circuits de courant continu est différent de celui d'une résistance et cela se manifeste d'une façon très prononcée à la mise en fonction et à l'arrêt du circuit quand on observe ce que nous appellerons les *états transitoires*.

7.1. Circuit RC

Le circuit, composé d'un condensateur et d'une résistance, branchés en série avec une source d'alimentation à courant continu est appelé circuit RC (fig. 7 – 1).

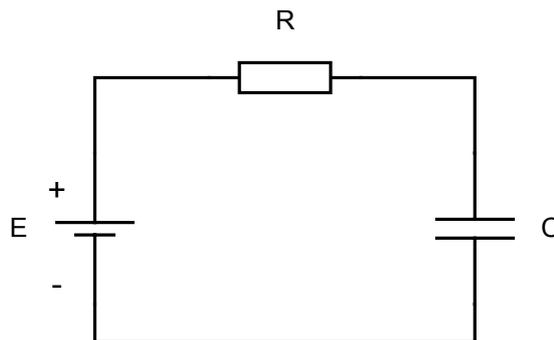


Fig. 7-1

7.1.1. Charge d'un condensateur

Soit le circuit RC, présenté sur la fig. 7 - 1. Considérons que la charge du condensateur est nulle au début, donc au moment où il sera branché dans le circuit.

Lorsqu'on ferme le circuit RC, les électrons de la plaque reliée à la borne positive de la source sont transférés à la plaque négative jusqu'à ce que la différence de potentiel entre les deux armatures du condensateur soit égale à la tension de la source. La vitesse de déplacement des électrons diminue à cause de l'opposition générée par la résistance. On dit que la charge du condensateur ne se fait pas instantanément ; il y a un délai avant que la tension aux bornes du condensateur atteigne la valeur de la tension de la source, ce qui correspond à la fin du processus.

7.1.2. Constante de temps

La **constante de temps** (τ) d'un circuit RC est exprimée par le produit entre la résistance et la capacité des deux éléments du circuit :

$$\tau = R \times C$$

où τ = constante de temps du circuit, en secondes (s)

R = la résistance du circuit RC, en ohm (Ω)

C = la capacité du condensateur du circuit RC, en farad (F)

La constante de temps représente le temps nécessaire pour que la tension aux bornes du condensateur atteigne 63,2% de la tension de la source.

On appelle « demi temps » T_0 le temps (en s) pour lequel la charge du condensateur augmente (diminue) à moitié.

$$T_0 = 0,7 \tau$$

La période de charge représente le temps nécessaire pour charger le condensateur. On admet que le condensateur est chargé à la valeur de la tension de la source après une période égale à cinq constante de temps (5τ).

Remarque : A l'instant où le condensateur est chargé, la circulation des électrons s'arrête et le courant devient nul. Si on débranche le condensateur de la source, il reste chargé et la tension à ses bornes est égale à celle de la source.

7.1.3. Décharge d'un condensateur

Lorsque le condensateur, chargé à la tension de la source, est relié à une résistance (fig. 7 – 2), les électrons en excès sur l'armature négative se déplacent vers la plaque positive à travers la résistance. Le procédé demande un délai identique au celui de la charge. Ainsi après une période égale à la constante de temps (τ) la tension diminue de 63,2% de sa valeur initiale maximale et après une période de 5τ le condensateur est presque complètement déchargé.

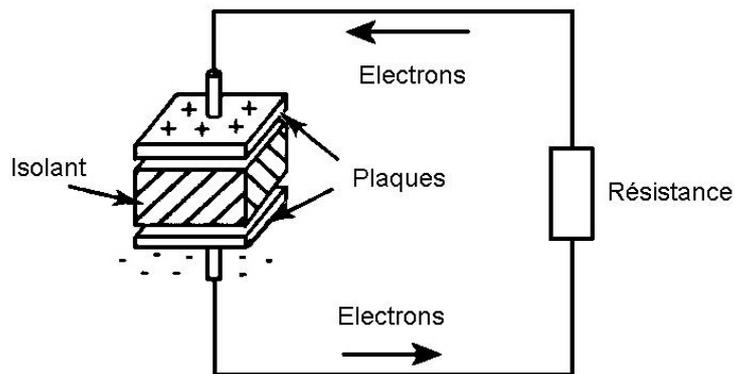


Fig. 7-2

7.1.4. Courbes de charge et de décharge d'un condensateur

Il est intéressant de remarquer que les courbes de charge et de décharge du condensateur ne sont pas linéaires (fig. 7 – 3).

Au début de la période de charge ou de décharge, le condensateur se charge ou se décharge très rapidement et la tension à ses bornes varie de même. A la fin du processus, la variation de la tension est beaucoup plus faible pour une unité de temps.

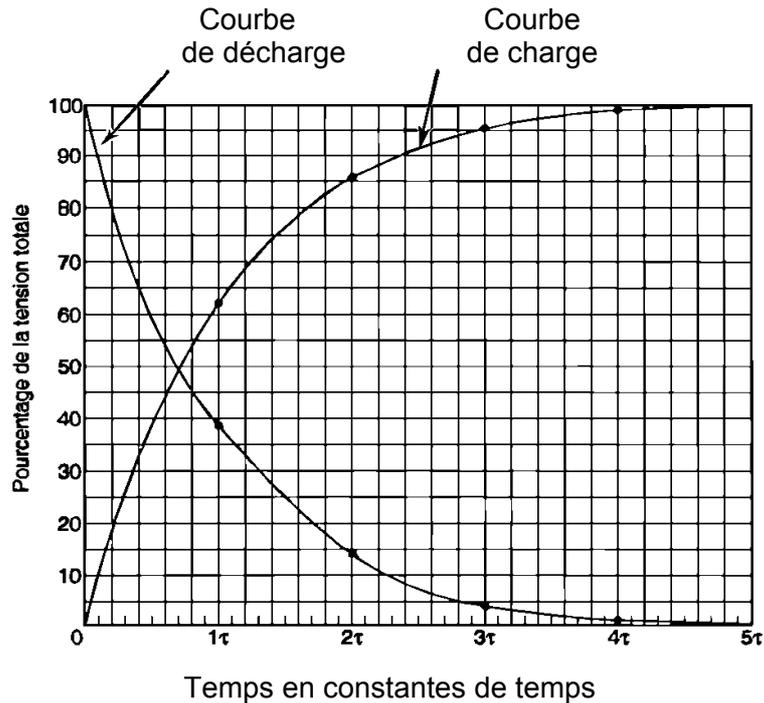


Fig. 7-3

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de la tension aux bornes d'un condensateur en pour cent par rapport à la tension de la source E pour chaque valeur de la constante du temps.

	Charge	Décharge
1τ	63,2 %	36,8 %
2τ	86 %	14 %
3τ	96 %	4 %
4τ	98 %	2 %
5τ	99 %	1 %

Exemple :

Calculer la constante de temps d'un circuit RC si la résistance est égale à $150 \text{ k}\Omega$ et la capacité du condensateur est $20 \text{ }\mu\text{F}$. Evaluer ensuite la période de charge du condensateur.

Pour déterminer la constante de temps du circuit il suffit d'utiliser sa formule de définition :

$$\begin{aligned}\tau &= R \times C \\ \tau &= 150\text{k}\Omega \times 20 \mu\text{F} \\ \tau &= 1 \text{ s}\end{aligned}$$

Quant à la période de charge :

$$\begin{aligned}T &= 5 \tau \\ T &= 5 \times 1\text{s} \\ T &= 5 \text{ s}\end{aligned}$$

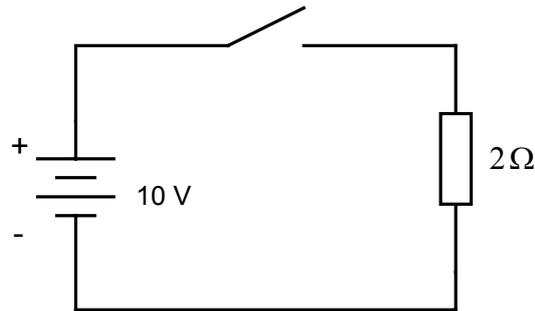
7.2. Circuit RL

Le circuit, composé d'une bobine et d'une résistance, branché en série à une source d'alimentation à courant continu est appelé circuit RL.

Un circuit composé d'une résistance et d'une bobine se comporte sensiblement de manière différente d'un circuit qui comprend seulement la résistance. C'est à cause de la propriété de la bobine de retarder l'établissement du courant dans le circuit lorsque le courant tend à augmenter et à maintenir le courant lorsqu'il tend à diminuer (*la loi de Lenz*). Ce comportement est dû au phénomène d'auto-induction (self - induction) et s'explique ainsi : *la variation du courant dans la bobine produit une variation correspondante du flux magnétique qui induit dans celle-ci une tension d'une polarité opposée dans le cas de l'augmentation du courant et de même polarité si le courant diminue.*

7.2.1. Réaction d'un circuit résistif

L'établissement du courant, par l'intermédiaire d'un interrupteur, dans un circuit composé d'une résistance et d'une source de tension de courant continu (fig. 7 – 4) est instantané.



$$I = \frac{E}{R} = \frac{10V}{2\Omega} = 5A$$

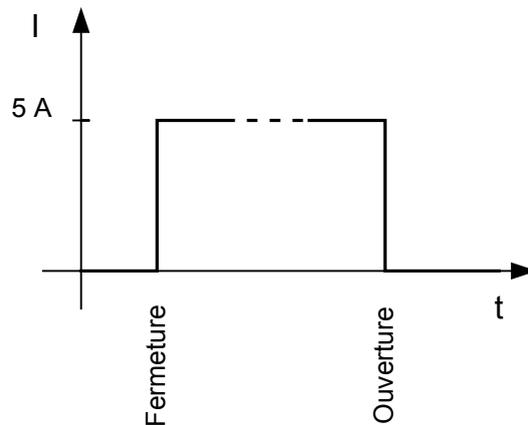


Fig. 7-4

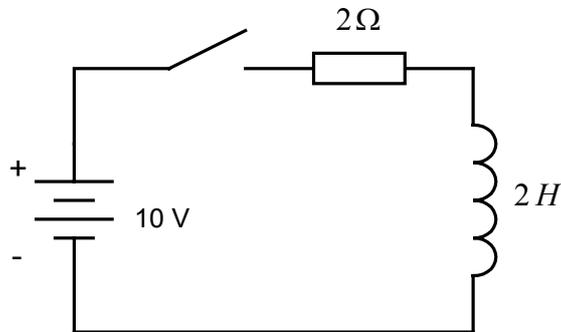
Il est de même lors de l'ouverture du circuit. On peut conclure que la résistance ne fait que s'opposer au passage du courant.

7.2.2. Réaction d'un circuit inductif

Si on ajoute au circuit précédent une *bobine* (fig. 7 – 5), lors de la fermeture du circuit, on remarque une période de transition pour l'établissement du courant à sa valeur nominale, qui est égale à celle du circuit en l'absence de la bobine. Il sera de même lors de l'ouverture de l'interrupteur : une période de transition est nécessaire afin que le courant s'annule.

Cela s'explique par le phénomène de *l'auto-induction*. Lors de la fermeture du circuit le courant augmente, ce qui engendre une augmentation du flux dans la

bobine, qui induit une tension en celle-ci de polarité inverse à celle de la source. Cette tension s'oppose à l'établissement du courant dans le circuit (la loi de Lenz).



$$I = \frac{E}{R} = \frac{10V}{2\Omega} = 5A$$

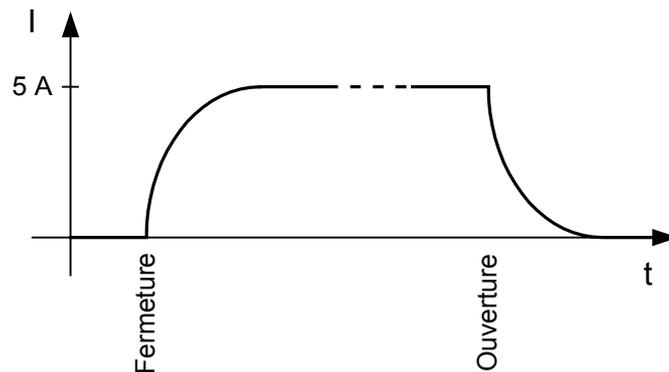


Fig. 7-5

A l'inverse, lors de l'ouverture du circuit, le courant diminue et la variation correspondante du flux induit dans la bobine une tension de polarité identique à celle de la source. Cette tension induite occasionne un retard de l'annulation du courant.

7.2.3. Constante de temps

La **constante de temps** (τ) d'un circuit RL s'exprime par le rapport entre l'inductance et la résistance des deux éléments du circuit. Sa formule de calcul est donc :

$$\tau = L / R$$

où τ = constante de temps du circuit, en secondes (s)

L = inductance de la bobine, en henrys (H)

R = résistance du circuit RC, en ohm (Ω)

La fig. 7 - 6 présente les courbes d'établissement du courant dans un circuit inductif lors de la fermeture et de l'ouverture du circuit.

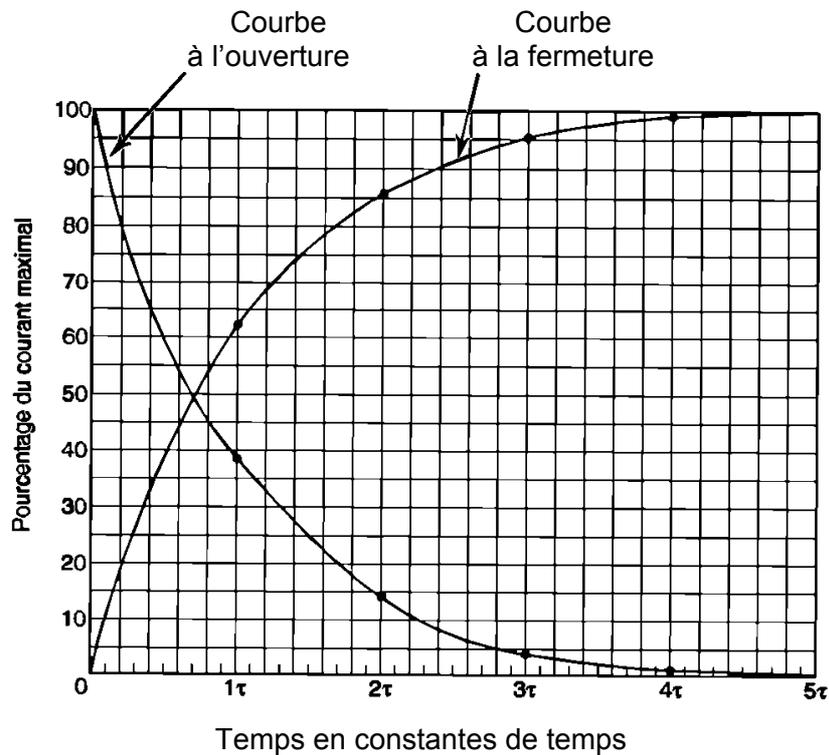


Fig. 7-6

Tout comme dans le circuit RC, la constante de temps du circuit inductif représente le temps nécessaire pour que le courant dans le circuit atteigne 63,2% de son maximum.

Dans un circuit inductif, le courant atteint presque sa valeur maximale après une période égale à cinq fois la constante de temps (5τ).

Il est de même lors de l'ouverture du circuit : la constante de temps représente la durée après laquelle le courant diminue de 63,2%.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs du courant qui traverse une inductance en pour cent par rapport au courant nominal du circuit I pour chaque valeur de la constante du temps.

	Charge	Décharge
1τ	63,2 %	36,8 %
2τ	86 %	14 %
3τ	96 %	4 %
4τ	98 %	2 %
5τ	99 %	1 %

8. SIMPLIFICATION DES CIRCUITS A COURANT CONTINU

Dans le chapitre 4, on a décrit les divers groupements des composants les caractéristiques des circuits à courant continu. Ci-dessous seront présentées des techniques appropriées pour la simplification et la résolution des circuits.

8.1. Circuit série

On parle d'un *branchement série* de composants, lorsque ceux-ci sont connectés dans un ordre successif, n'offrant qu'un seul chemin au passage du courant. Ci – dessous il est présenté un court rappel des caractéristiques des circuits série.

8.1.1. Résistance

Dans un circuit série, la résistance équivalente (R_{eq}) est égale à la somme de chaque résistance formant le circuit. On peut écrire donc:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n$$

8.1.2. Courant

Dans un circuit série, le courant est identique dans tous les points du circuit, conséquence de l'existence d'un seul chemin pour la circulation des électrons.

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 \dots = I_n$$

8.1.3. Tension

Dans un circuit série, la somme des chutes de tensions aux bornes des composants est égale à la tension de la source.

$$E = U_1 + U_2 + U_3 \dots + U_n$$

La **loi de maille** établie par Kirchhoff est en relation avec les tensions. L'énoncé de cette loi est le suivant : *La somme algébrique des différences de potentiel dans une boucle fermée est égale à zéro.*

Lorsqu'on parle de somme algébrique il faut établir la convention d'après laquelle on attribue le signe aux différences de potentiel.

Ainsi la polarité d'une tension aux bornes d'une résistance est la suivante : la borne d'entrée du courant a un potentiel supérieur à celle de sortie (fig. 8 - 1).

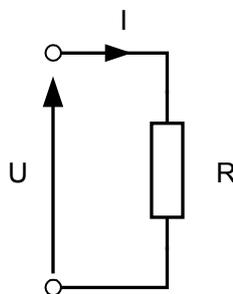


Fig. 8-1

Lorsqu'on applique la loi de maille, il faut parcourir la boucle fermée à partir d'un point dans un sens préétabli. Voici un exemple d'application de la loi de maille pour un circuit série.

Exemple :

Soit le circuit, présenté sur la fig. 8 - 2. Déterminer la tension aux bornes de la résistance du circuit.

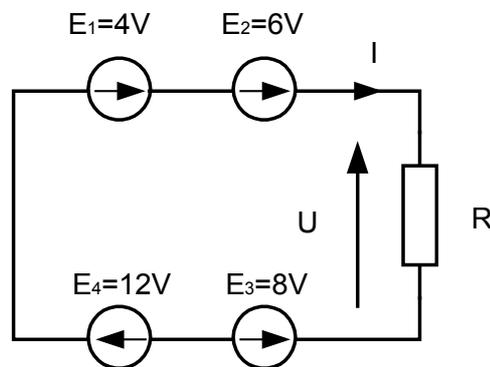


Fig. 8-2

On peut appliquer la loi de maille de Kirchhoff, ce qui donne :

$$E_1 + E_2 - E_3 - U + E_4 = 0$$

$$U = E_1 + E_2 - E_3 + E_4$$

$$U = 4 \text{ V} + 6\text{V} - 8\text{V} + 12\text{V} = 14\text{V}$$

8.1.4. Puissance

La puissance dissipée par les résistances provient toujours d'une source. Dans un **circuit série**, la *puissance totale fournie par la source est égale à la somme des puissances dissipées par chacune des résistances* :

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n$$

8.1.5. Résolution des circuits série

Résoudre un circuit électrique signifie déterminer les paramètres électriques du circuit lorsqu'on connaît sa composition, les caractéristiques des composants et des sources.

La résolution du circuit série (fig. 8 – 3) nécessite à calculer :

- la résistance équivalente ;
- le courant circulant dans le circuit ;
- les tensions aux bornes de chacune des résistances ;
- la puissance dissipée par chacune des résistances ;
- la puissance fournie par la source.

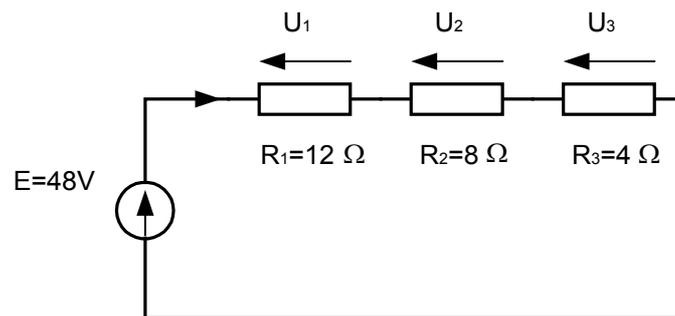


Fig. 8-3

- *Calcul de la résistance équivalente*

La résistance équivalente d'un groupement série est la somme de chacune des résistances du groupement. Donc :

$$\begin{aligned}R_{eq} &= R_1 + R_2 + R_3 \\R_{eq} &= 12\ \Omega + 8\ \Omega + 4\ \Omega \\R_{eq} &= 24\ \Omega\end{aligned}$$

- *Calcul du courant*

Après le remplacement du groupement série par la résistance équivalente, on obtient le circuit suivant (fig. 8 – 4) :

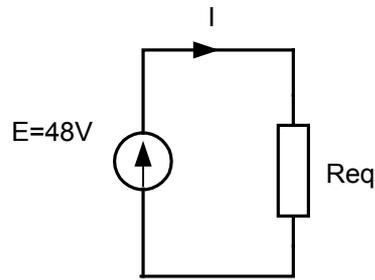


Fig. 8-4

On applique la loi d'Ohm pour le calcul du courant dans le circuit :

$$I = E / R_{eq}$$

$$I = 48 \text{ V} / 24 \Omega$$

$$I = 2 \text{ A}$$

- *Calcul des chutes de tension*

On applique de nouveau la loi d'Ohm pour le calcul des tensions aux bornes des résistances.

$$U_1 = R_1 \times I$$

$$U_2 = R_2 \times I$$

$$U_3 = R_3 \times I$$

$$U_1 = 12 \Omega \times 2 \text{ A}$$

$$U_2 = 8 \Omega \times 2 \text{ A}$$

$$U_3 = 4 \Omega \times 2 \text{ A}$$

$$U_1 = 24 \text{ V}$$

$$U_2 = 16 \text{ V}$$

$$U_3 = 8 \text{ V}$$

- *Calcul des puissances dissipées par les résistances*

Il suffit d'appliquer une des expressions de la puissance d'une résistance. Soit :

$$P_1 = U_1 \times I$$

$$P_2 = U_2 \times I$$

$$P_3 = U_3 \times I$$

$$P_1 = 24 \text{ V} \times 2 \text{ A}$$

$$P_2 = 16 \text{ V} \times 2 \text{ A}$$

$$P_3 = 8 \text{ V} \times 2 \text{ A}$$

$$P_1 = 48 \text{ W}$$

$$P_2 = 32 \text{ W}$$

$$P_3 = 16 \text{ W}$$

On pourrait également utiliser la formule de la puissance en fonction de la résistance et du courant :

$$P = R \times I^2$$

ou encore celle en fonction de la tension et de la résistance :

$$P = U^2 / R .$$

Le résultat aurait été le même.

- *Calcul de la puissance fournie par la source*

La puissance fournie par la source s'exprime par la formule:

$$P_t = E \times I$$

$$P_t = 48 \text{ V} \times 2 \text{ A}$$

$$P_t = 96 \text{ W}$$

On peut effectuer une vérification de l'exactitude du calcul en comparant la valeur trouvée pour la puissance de la source avec la somme des puissances dissipées par chacune des résistances.

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_t = 48 \text{ W} + 32 \text{ W} + 16 \text{ W}$$

$$P_t = 96 \text{ W}$$

8.2. Circuit parallèle

On parle d'un *branchement parallèle* de composants, lorsque ceux-ci sont connectés à deux mêmes bornes, voir directement aux bornes de la source. La différence de potentiel aux bornes des composants du groupement parallèle est égale à la valeur de la tension de la source. Ci-dessous il est présenté un court rappel des caractéristiques des circuits parallèles.

8.2.1. Résistance

Dans un circuit parallèle, la **résistance équivalente** (R_{eq}) est égale à l'inverse de la somme de chacune des conductances formant le circuit. On peut écrire donc:

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3 \dots + G_n$$

$$G_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \dots + 1/R_n$$

$$R_{eq} = 1/G_{eq}$$

8.2.2. Courant

Dans un **circuit parallèle**, le *courant total* fourni par la source est égal à la somme des courants dans chaque branche du circuit :

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 \dots + I_n$$

La **loi du nœud**, formulée par Kirchhoff, démontre cette caractéristique des circuits parallèle. L'énoncé de la loi du nœud est le suivant : *La somme algébrique des courants arrivant (+) et sortant (-) à un nœud d'un circuit est égale à zéro.*

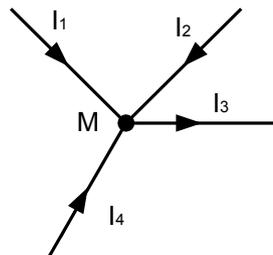


Fig. 8-5

La fig. 8 - 5 donne l'exemple de cette loi. Dans le nœud M :

$$I_1 + I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

$$I_2 = I_3 + I_4$$

8.2.3. Tension

Dans un circuit parallèle, la *tension aux bornes de chacune des résistances* est égale à la tension de la source :

$$E = U_1 = U_2 = U_3 \dots = U_n$$

8.2.4. Puissance

La puissance consommée dans les résistances du groupement est fournie par la source. Alors, de même que pour le circuit série, la puissance fournie par la source est égale à la somme des puissances dissipées par chacune des résistances du circuit parallèle.

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n$$

8.2.5. Résolution des circuits parallèle

Sur la fig. 8 - 6 est présenté un circuit parallèle à résoudre. Les caractéristiques des composants et de la source sont :

$$E = 24 \text{ V} ; \quad R_1 = 12 \Omega ; \quad R_2 = 8 \Omega ; \quad R_3 = 4 \Omega.$$

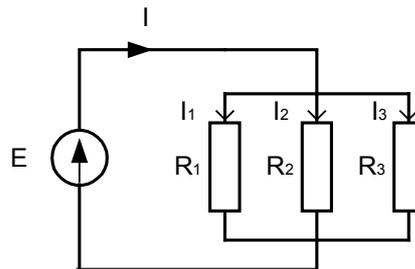


Fig. 8-6

Pour la résolution du circuit il faut calculer :

- la résistance équivalente ;
 - le courant fourni par la source ;
 - le courant dans chaque branche du circuit ;
 - la puissance dissipée par chacune des résistances ;
 - la puissance fournie par la source.
-
- *Calcul de résistance équivalente*

Pour le groupement parallèle la résistance équivalente (fig. 8 – 7) est égale à l'inverse de la somme de chacune des conductances du circuit :

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3$$

$$G_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

$$G_{eq} = 1/12 \Omega + 1/8 \Omega + 1/4 \Omega$$

$$G_{eq} = 0,458 \text{ S}$$

$$R_{eq} = 1/G_{eq}$$

$$R_{eq} = 2,182 \Omega$$

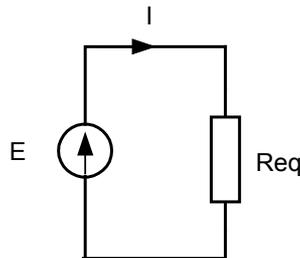


Fig. 8-7

- Calcul du courant fourni par la source

Suite au remplacement du groupement parallèle par la résistance équivalente, on obtient le circuit apparaissant sur la fig. 8 - 7. Pour le calcul du courant dans le circuit on n'a qu'à appliquer la loi d'Ohm :

$$I = E / R$$

$$I = 4,5 / 2,182$$

$$I = 2,062 \text{ A}$$

- Calcul du courant dans chaque branche du circuit

La tension aux bornes du groupement est égale à la tension de la source. On calcule les courants dans les branches du circuit en appliquant la loi d'Ohm :

$$I_1 = E / R_1$$

$$I_2 = E / R_2$$

$$I_3 = E / R_3$$

$$I_1 = 4,5 \text{ V} / 12 \Omega$$

$$I_2 = 4,5 / 8 \Omega$$

$$I_3 = 4,5 / 4 \Omega$$

$$I_1 = 0,375 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,562 \text{ A}$$

$$I_3 = 1,125 \text{ A}$$

Remarque : La somme des courants dans chaque branche est bien égale au courant fourni par la source.

- Calcul de la puissance dissipée par chacune des résistances

On peut calculer la puissance dissipée par les résistances en utilisant n'importe laquelle des trois formules présentées, car on connaît les trois paramètres électriques : courant, tension et résistance.

En appliquant la formule de la puissance :

$$P_1 = E \times I_1$$

$$P_2 = E \times I_2$$

$$P_3 = E \times I_3$$

$$P_1 = 4,5 \text{ V} \times 0,375 \text{ A}$$

$$P_2 = 4,5 \text{ V} \times 0,562 \text{ A}$$

$$P_3 = 4,5 \text{ V} \times 1,125 \text{ A}$$

$$P_1 = 1,687 \text{ W}$$

$$P_2 = 2,529 \text{ W}$$

$$P_3 = 5,062 \text{ W}$$

On pourrait également utiliser la formule de la puissance en fonction de la résistance et du courant :

$$P = R \times I^2$$

ou encore celle en fonction de la tension et de la résistance :

$$P = U^2 / R.$$

Le résultat aurait été le même.

- Calcul de la puissance fournie par la source

La puissance fournie par la source est exprimée par la formule:

$$P_t = E \times I$$

$$P_t = 4,5 \text{ V} \times 2,062 \text{ A}$$

$$P_t = 9,278 \text{ W}$$

On peut effectuer une vérification de l'exactitude du calcul en comparant la valeur déterminée pour la puissance fournie par la source avec la somme des puissances dissipées par chacune des résistances.

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_t = 1,687 \text{ W} + 2,529 \text{ W} + 5,062 \text{ W}$$

$$P_t = 9,278 \text{ W}$$

8.3. Circuit mixte

La plupart des circuits comprennent des composants groupés tantôt en parallèle, tantôt en série. Il s'agit des circuits mixtes. La résolution de tels circuits fait donc appel à la connaissance associée aux circuits série et parallèle. Si la procédure de résolution des circuits série et parallèle s'applique sans aucune particularité en toutes situations, pour les circuits mixtes on ne peut pas définir une méthode applicable à la lettre. Il faut agir selon le circuit en tenant compte de sa configuration particulière.

Pour toutes les résolutions on peut décrire les étapes suivantes:

- Prendre connaissance des données et des exigences du problème : tension d'alimentation, valeurs des résistances, paramètres à déterminer (courants, tensions, puissances, etc.).
- Examiner attentivement le circuit afin d'identifier les groupements série et parallèle.
- Restreindre un à un les groupements identifiés et dessiner après chaque transfiguration le circuit équivalent.

Remarque : Il est possible de résoudre le même problème par différentes voies toutes menant à la solution correcte. Le choix de la voie la plus efficace n'est qu'un problème d'exercice.

Pour le circuit mixte montré sur la fig. 8 - 8, composé de huit résistances (dont les valeurs sont indiquées sur la figure) et branché à une source de tension de 76V, calculer :

- la valeur de la résistance équivalente R_{eq} ;
- l'intensité du courant fourni par la source I ;
- l'intensité du courant et la chute de tension dans chacune des résistances ;
- la puissance dissipée par chacune des résistances ;
- la puissance fournie par la source.

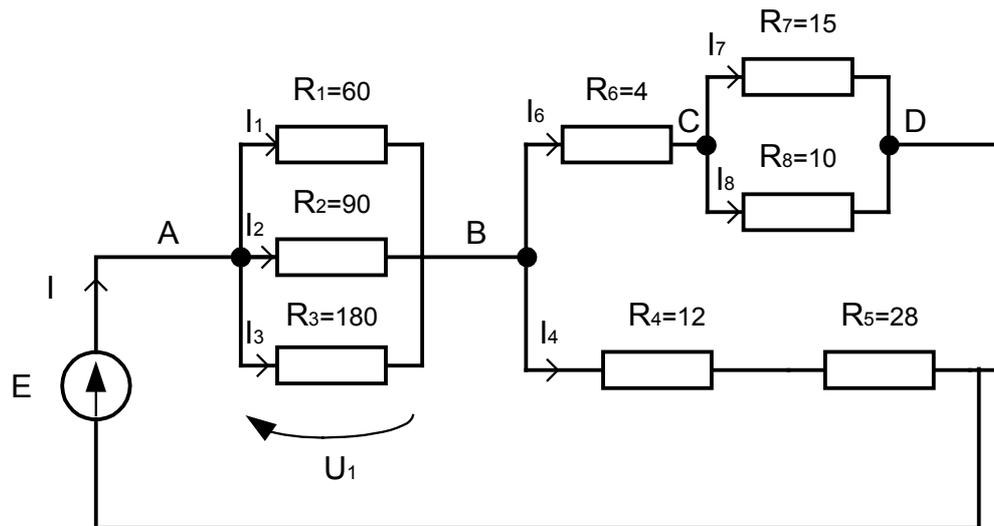


Fig. 8-8

- Calcul de la résistance équivalente

Après l'analyse du circuit, on remarque :

- le groupement parallèle des résistances R_1 , R_2 et R_3 ;
- le groupement série des résistances R_4 et R_5 ;
- le groupement parallèle des résistances R_7 et R_8 .

Calcul de R_{eq1} :

$$1 / R_{eq1} = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$$

$$1 / R_{eq1} = 1 / 60 + 1 / 90 + 1 / 180$$

$$R_{eq1} = 30 \Omega$$

Calcul de R_{eq2} :

$$R_{eq2} = R_4 + R_5$$

$$R_{eq2} = 12 + 28$$

$$R_{eq2} = 40 \Omega$$

Calcul de R_{eq3} :

$$1 / R_{eq3} = 1 / R_7 + 1 / R_8$$

$$1 / R_{eq3} = 1 / 15 + 1 / 10$$

$$R_{eq3} = 6 \Omega$$

La fig. 8 - 9 présente le circuit après les transfigurations (décompositions) successives qui accompagnent les équivalences des groupements mentionnés.

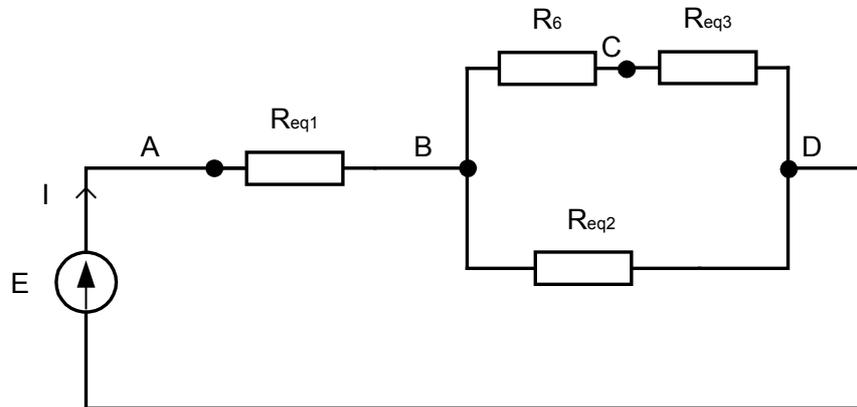


Fig. 8-9

On remarque l'association série des résistances R_6 et R_{eq3} en parallèle avec R_{eq2} .

Calcul de R_{eq4} :

$$R_{eq4} = R_6 + R_{eq3}$$

$$R_{eq4} = 4 + 6$$

$$R_{eq4} = 10 \Omega$$

La transformation suivante (fig. 8 - 10) présente l'association parallèle des résistances R_{eq2} et R_{eq4} en série avec R_{eq1} .

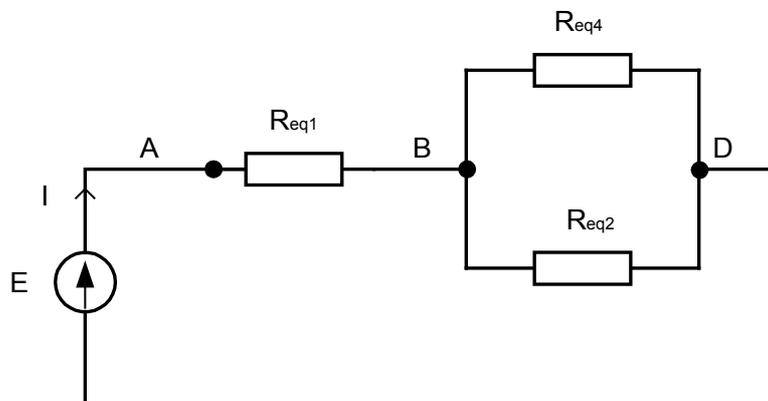


Fig. 8-10

Calcul de R_{eq5} :

$$1 / R_{eq5} = 1 / R_{eq4} + 1 / R_{eq2}$$

$$1 / R_{eq5} = 1 / 10 + 1 / 40$$

$$R_{eq5} = 8 \Omega$$

La résistance équivalente du circuit d'après la dernière transfiguration (fig. 8 – 11) est :

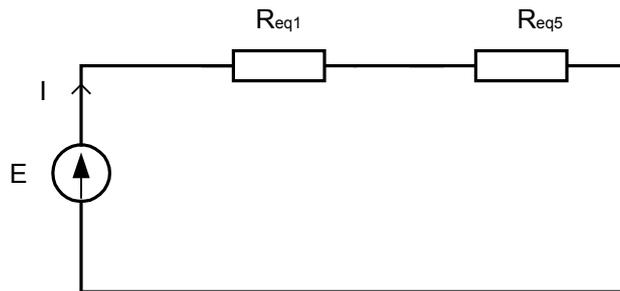


Fig. 8-11

Calcul de R_{eq} :

$$R_{eq} = R_{eq1} + R_{eq5}$$

$$R_{eq} = 30 + 8$$

$$R_{eq} = 38 \Omega$$

- *Calcul du courant fourni par la source*

Pour déterminer le courant fourni par la source il suffit d'appliquer la loi d'Ohm dans le circuit équivalent qui comprend la résistance R_{eq} .

$$I = E / R_{eq}$$

$$I = 76 \text{ V} / 38 \Omega$$

$$I = 2 \text{ A}$$

- *Calcul du courant et de la chute de tension dans chacune des résistances*

La chute de tension U_1 aux bornes du groupement parallèle des résistances R_1 , R_2 et R_3 est :

$$U_1 = I \times R_{eq1}$$

$$U_1 = 2 \text{ A} \times 30 \ \Omega$$

$$U_1 = 60 \text{ V}$$

On a appliqué la loi d'Ohm pour la résistance équivalente R_{eq1} parcourue par le courant I , comme on voit dans la fig. 8 – 9.

Pour le calcul des courants du groupement, comme on connaît la tension à ses bornes et la valeur de chaque résistance il suffit d'appliquer encore la loi d'Ohm.

$$I_1 = U_1 / R_1$$

$$I_2 = U_1 / R_2$$

$$I_3 = U_1 / R_3$$

$$I_1 = 60 \text{ V} / 60 \ \Omega$$

$$I_2 = 60 \text{ V} / 90 \ \Omega$$

$$I_3 = 60 \text{ V} / 180 \ \Omega$$

$$I_1 = 1 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,667 \text{ A}$$

$$I_3 = 0,333 \text{ A}$$

Si on applique la loi des mailles à la boucle fermée A – B – D (fig. 8 – 10), on obtient la valeur de la tension U_{B-D} :

$$U_{A-B} + U_{B-D} - E = 0$$

$$U_{A-B} = U_1$$

$$U_{B-D} = E - U_1$$

$$U_{B-D} = 76 \text{ V} - 60 \text{ V}$$

$$U_{B-D} = 16 \text{ V}$$

On calcule le courant I_4 et les tensions U_4 et U_5 (fig. 8 – 8) en appliquant la loi d'Ohm :

$$I_4 = U_{B-D} / R_{eq2}$$

$$U_4 = I_4 \times R_4$$

$$U_5 = I_4 \times R_5$$

$$I_4 = 16 \text{ V} / 40 \ \Omega$$

$$U_4 = 0,4 \text{ A} \times 12 \ \Omega$$

$$U_5 = 0,4 \text{ A} \times 28 \ \Omega$$

$$I_4 = 0,4 \text{ A}$$

$$U_4 = 4,8 \text{ V}$$

$$U_5 = 11,2 \text{ V}$$

Pour le courant I_6 et la tension U_6 (fig. 8 – 9) on utilise toujours la loi d'Ohm :

$$I_6 = U_{B-D} / R_{eq4}$$

$$U_6 = I_6 \times R_6$$

$$I_6 = 16 \text{ V} / 10 \ \Omega$$

$$U_6 = 1,6 \text{ A} \times 4 \ \Omega$$

$$I_6 = 1,6 \text{ A}$$

$$U_6 = 6,4 \text{ A}$$

La tension au groupement parallèle des résistances R_7 et R_8 , U_{C-D} (fig. 8 – 8) et les courants dans ces résistances sont les derniers à calculer :

$$U_{C-D} = I_6 \times R_{eq3}$$

$$I_7 = U_{C-D} / R_7$$

$$I_8 = U_{C-D} / R_8$$

$$U_{C-D} = 1,6 \text{ A} \times 6 \Omega$$

$$I_7 = 9,6 \text{ V} / 15 \Omega$$

$$I_8 = 9,6 \text{ V} / 10 \Omega$$

$$U_{C-D} = 9,6 \text{ V}$$

$$I_7 = 0,64 \text{ A}$$

$$I_8 = 0,96 \text{ A}$$

- *Calcul des puissances dissipées par chacune des résistances*

Connaissant pour chacune des résistances, la valeur ohmique, le courant et la tension, on peut calculer la puissance dissipée en utilisant n'importe laquelle des trois formules possibles :

$$P_1 = U_1 \times I_1$$

$$P_2 = U_1 \times I_2$$

$$P_1 = 60 \text{ V} \times 1 \text{ A}$$

$$P_2 = 60 \text{ V} \times 0,667 \text{ A}$$

$$P_1 = 60 \text{ W}$$

$$P_2 = 40,02 \text{ W}$$

$$P_3 = U_1 \times I_3$$

$$P_4 = U_4 \times I_4$$

$$P_3 = 60 \text{ V} \times 0,333 \text{ A}$$

$$P_4 = 4,8 \text{ V} \times 0,4 \text{ A}$$

$$P_3 = 19,98 \text{ W}$$

$$P_4 = 1,92 \text{ W}$$

$$P_5 = U_5 \times I_4$$

$$P_6 = U_6 \times I_6$$

$$P_5 = 11,2 \text{ V} \times 0,4 \text{ A}$$

$$P_6 = 6,4 \text{ V} \times 1,6 \text{ A}$$

$$P_5 = 4,48 \text{ W}$$

$$P_6 = 10,24 \text{ W}$$

$$P_7 = U_{C-D} \times I_7$$

$$P_8 = U_{C-D} \times I_8$$

$$P_7 = 9,6 \text{ V} \times 0,64 \text{ A}$$

$$P_8 = 9,6 \text{ V} \times 0,96 \text{ A}$$

$$P_7 = 6,144 \text{ W}$$

$$P_8 = 9,216 \text{ W}$$

- *Calcul de la puissance fournie par la source*

Pour calculer la puissance de la source il suffit d'appliquer la formule de la puissance :

$$P_t = E \times I$$

$$P_t = 76 \text{ V} \times 2 \text{ A}$$

$$P_t = 152 \text{ W}$$

On peut faire une vérification de l'exactitude des calculs, en procédant à un bilan de puissances par le calcul de la somme des puissances dissipées par chacune des résistances :

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$$

$$P_t = 60\text{W} + 40,02\text{W} + 19,98\text{W} + 1,92\text{W} + 4,48\text{W} + 10,24\text{W} + 6,144\text{W} + 9,216\text{W}$$

$$P_t = 152 \text{ W}$$

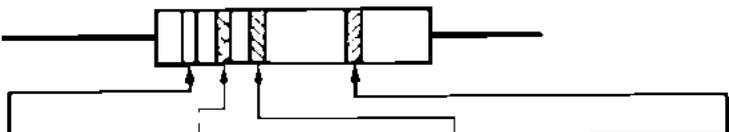
9. CODE DE COULEURS DES COMPOSANTS

9.1. Code de couleurs des résistances

Pour réaliser la codification des résistances on a introduit un système de bandes de couleurs imprimées sur une extrémité de leur boîtier qui constitue le code de couleurs des résistances (fig. 9 – 1). Ce code est utilisé pour le marquage des résistances au carbone qui sont de petites dimensions. Les résistances bobinées sont assez grandes pour qu'on puisse inscrire sur leur boîtier la valeur de la résistance et la tolérance.

La codification est basée sur le principe qu'on peut exprimer tout nombre assez près de sa valeur réelle en arrondissant cette valeur selon les deux premiers chiffres qui le composent. Lorsqu'il s'agit de résistances de précision élevée, on garde les premiers trois chiffres pour exprimer la valeur à codifier.

Le marquage des résistances à l'aide du code de couleur utilise 4 bandes de couleurs pour les résistances de tolérance supérieure à 2%, et 6 bandes pour les résistances de tolérance 2% ou encore mieux. On trouve aussi des résistances ayant un marquage de 3 ou 5 bandes.



	1 ^{re} bande	2 ^e bande	3 ^e bande	4 ^e bande
Couleur	Premier chiffre	Deuxième chiffre	Multiplicateur décimal (nombre de zéros)	Tolérance (%)
Noir	0	0	10 ⁰	(Aucun)
Brun	1	1	10 ¹	(0)
Rouge	2	2	10 ²	(00)
Orange	3	3	10 ³	(000)
Jaune	4	4	10 ⁴	(0000)
Vert	5	5	10 ⁵	(00000)
Bleu	6	6	10 ⁶	(000000)
Violet	7	7	10 ⁷	(0000000)
Gris	8	8	10 ⁸	(00000000)
Blanc	9	9	10 ⁹	(000000000)
Or			10 ⁻¹	(0,1)
Argent			10 ⁻²	(0,01)
				2 %
				5 %
				10 %

Code des couleurs pour résistances au carbone

Fig. 9-1

9.1.1. Marquage à trois bandes

L'interprétation du marquage se fait de gauche à droite : les premiers deux indiquent les deux chiffres de la valeur de la résistance, la troisième indique un facteur de multiplication décimal. La tolérance des résistances marquées avec trois bandes est implicite, de 20%.

9.1.2. Marquage à quatre bandes

Les significations des premiers trois bandes sont les mêmes que dans le cas du marquage à trois bandes : de gauche à droite, les premiers deux bandes indiquent les deux chiffres de la valeur de la résistance, la troisième indique un facteur de multiplication décimal; la quatrième indique la tolérance en pourcentage.

Les résistances habituellement utilisées ont une tolérance de 5% et portent ainsi un marquage à quatre bandes.

Note : Si la quatrième bande n'est pas indiquée, la résistance a une tolérance de 20 %.

Exemple :

Soit une résistance à quatre bandes de couleurs vert, jaune, rouge et or.
L'interprétation est la suivante: vert = 5, jaune = 4, rouge = 2 zéro et or = 5%.

La valeur de la résistance est $5400 \Omega \pm 5\%$, elle se situe dans la plage

$$5400 - 270 = 5130 \Omega \quad \text{et} \quad 5400 + 270 = 5670 \Omega$$

9.1.3. Marquage à cinq bandes

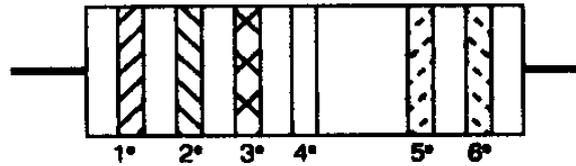
La présence d'une cinquième bande est nécessaire lorsqu'on veut indiquer le coefficient de fiabilité.

Le coefficient de fiabilité représente le taux de défaillance, exprimé en pourcentage, par 1000 heures d'opération.

9.1.4. Marquage à six bandes

Dans le cas où la tolérance est de 2% ou encore plus faible, on utilise une sixième bande pour le marquage: les premières 3 bandes pour indiquer les 3 chiffres de la valeur de la résistance, la quatrième pour le multiplicateur, la cinquième pour la tolérance et la sixième pour le coefficient de fiabilité (fig. 9 – 2).

Remarque : Pour mesurer la valeur ohmique de la résistance on utilise l'ohmmètre, appareil de mesure qui sera l'objet d'une leçon prochaine.



Couleur	1 ^e bande	2 ^e bande	3 ^e bande	Multiplicateur		5 ^e tolérance		
Noir	0	0	0	10 ⁰				
Brun	1	1	1	10 ¹		1 %		
Rouge	2	2	2	10 ²		2 %		
Orange	3	3	3	10 ³				
Jaune	4	4	4	10 ⁴				
Vert	5	5	5	10 ⁵				
Bleu	6	6	6	10 ⁶				
Violet	7	7	7	10 ⁷				
Gris	8	8	8	10 ⁸				
Blanc	9	9	9	10 ⁹				
Or				10 ⁻¹		5 %		
Argent				10 ⁻²		10 %		

Fig. 9-2

9.2. Code de couleurs des condensateurs

Le code de couleurs des condensateurs a été établi pour le marquage des condensateurs à céramique et au mica. Le marquage indique la capacité du condensateur, la tolérance et le coefficient de température (fig. 9 – 3).

On utilise les mêmes couleurs que pour le codage des résistances, mais les valeurs codées sont exprimées en picofarads (pF), car il s'agit de petits condensateurs. La figure ci-jointe montre le marquage des deux types de condensateurs mentionnés.

Remarque : Lorsque aucune tension nominale n'a pas été spécifiée, elle est habituellement de 400 à 600V.

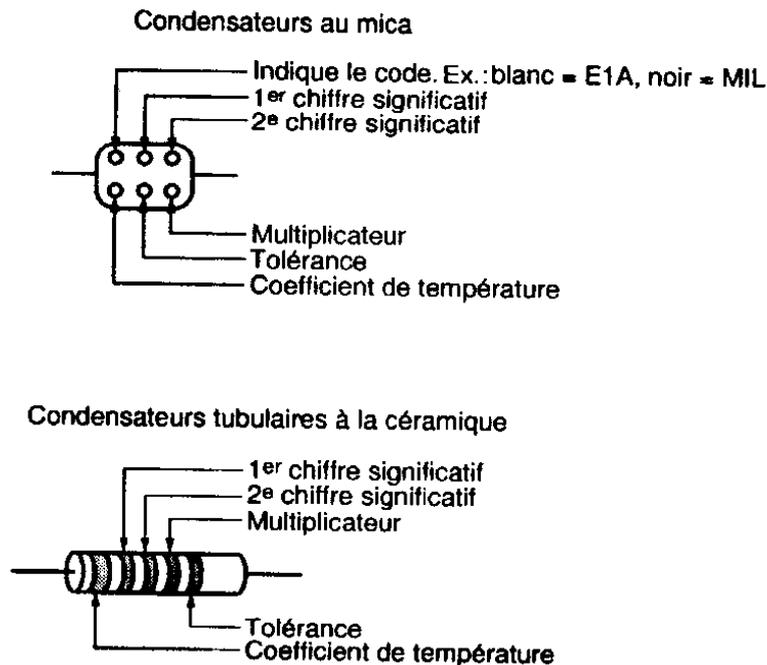


Fig. 9-3

9.3. Multiples et sous-multiples des unités de mesure

Dans de nombreuses applications électriques et électroniques, les unités de base (le volt, l'ampère, l'ohm, le farad, le henry etc.) s'avèrent trop petites ou encore trop grandes.

Par exemple, les résistances peuvent atteindre des valeurs de millions d'ohms pendant qu'il y a des condensateurs dont la capacité n'est que de quelques millièmes de farads, ou encore des courants inférieurs à une millième d'ampère. Dans ces cas ou dans des cas semblables, il convient d'utiliser des multiples ou des sous-multiples de ses unités.

Le tableau sur la fig. 9 - 4 contient les principaux multiples et sous-multiples des unités de mesure avec des exemples illustrant leur utilisation.

Préfixe	Symbole	Multiplicateur	Rapport avec l'unité de base	Exemple
Téra	T	10^{12}	1 000 000 000 000	8 TW = 8×10^{12} W = 8 000 000 000 000 W
Giga	G	10^9	1 000 000 000	9 GW = 9×10^9 W = 9 000 000 000 W
Méga	M	10^6	1 000 000	7 M Ω = 7×10^6 Ω = 7 000 000 Ω
Kilo	k	10^3	1 000	3 k Ω = 3×10^3 Ω = 3 000 Ω
Mili	m	10^{-3}	0,001	5 mA = 5×10^{-3} A = 0,005 A
Micro	μ	10^{-6}	0,000 001	4 μ A = 4×10^{-6} A = 0,000 004 A
Nano	n	10^{-9}	0,000 000 001	6 nF = 6×10^{-9} F = 0,000 000 006 F
Pico	p	10^{-12}	0,000 000 000 001	2 pF = 2×10^{-12} F = 0,000 000 000 002 F

Fig. 9-4

10. VERIFICATION DE L'ETAT DES COMPOSANTS DU CIRCUIT

La vérification de l'état des composants comporte la détermination de leurs caractéristiques principales nécessaires pour l'utilisation.

10.1. Piles

La constitution, l'identification et les applications des piles ont été présentées dans une leçon antérieure. On rappelle que ce qu'on a désigné comme pile primaire c'est une seule cellule productrice d'énergie. Les piles utilisées sont appelées sèches car l'électrolyte qu'elles utilisent n'est plus liquide, mais plutôt pâteux.

Les caractéristiques essentielles d'une pile sont :

- la **tension** exprimée en volt, qui est déterminée par la nature de l'électrolyte et de ses électrodes ;
- la **capacité énergétique** en ampères-heures, qui est déterminée par la dimension des électrodes et la quantité d'électrolyte.

On sait que la tension d'une pile ne dépasse pas 1,6 V. Lorsqu'une application exige une tension supérieure à cette valeur, on y arrive en réalisant un groupement de plusieurs piles.

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de différentes piles sèches.

Type de piles	Tension à vide (volts)	Tension minimale (volts)	Taux de décharge	Stockage (années)	Durée de vie (années)
Carbone-zinc	1,5	0,8	Bas	1 à 3	2 à 3
Alkalino-manganèse	1,5	0,8	Bas	4 à 5	3 à 4
Mercure	1,35	0,9	Bas	5 à 7	4 à 5
Argent	1,6	0,9	Bas	4 à 5	4 à 5

10.2. Accumulateurs

Le caractère réversible du processus chimique, qui se déroule dans un accumulateur, le différencie significativement d'une pile. Ainsi une pile déchargée n'est plus utilisable, pendant qu'un accumulateur l'est. Une source extérieure qui fait circuler un courant de sens inverse dans l'accumulateur le recharge et le rend réutilisable.

Dans une leçon antérieure nous avons déjà présenté les deux types d'accumulateurs et leurs utilisations.

On y peut ajouter l'élément nickel cadmium, qui est un élément sec, donc à électrolyte pâteux. L'élément nickel-cadmium est de faible puissance, ce qui le différencie de l'accumulateur nickel-cadmium et de l'accumulateur au plomb. On le retrouve sous différents formats (AAA, AA, C et D).

Type d'accumulateurs	Tension à vide (volts)	Tension minimale (volts)	Taux de décharge	Stockage (années)	Durée de vie (années)
Element nickel-cadium	1,25	1,0	Bas	10 à 36	3 à 5
Plomb	2,2	1,7	Haut	2 à 4	5 à 20
Nickel-cadium	1,3	1,0	Très haut	4 à 6	10 à 20

Les caractéristiques des accumulateurs sont présentées dans le tableau ci-dessus.

10.3. Résistances

Au cours de deux chapitres antérieurs, nous avons présenté les propriétés, les principaux types, les caractéristiques des résistances et leur code de couleurs.

Leur valeur ohmique est un des facteurs (à côté de l'intensité du courant et de la durée) qui détermine la quantité de chaleur produite par la circulation d'un courant par effet thermique. Cette chaleur conduit à un réchauffement de la résistance, processus qui se déroule en parallèle avec son évacuation.

La puissance de dissipation c'est la caractéristique qui traduit la capacité de la résistance d'évacuer la chaleur qui s'y dégage. Lorsque la puissance de dissipation est excédentaire la résistance risque de se détériorer. D'ailleurs c'est la cause la plus fréquente conduisant à la défection des résistances. Une résistance détériorée présente une valeur ohmique infinie, car une interruption de la continuité dans sa structure se produit suite à son claquage. Ainsi la vérification d'une résistance porte sur la mesure de sa valeur ohmique.

D'autre part on sait que les fabricants offrent sur le marché les résistances avec une certaine tolérance (située entre 1 et 20%) ; pour connaître sa valeur réelle, on mesure la résistance avec des moyens spécifiques conçus dans ce but comme l'ohmmètre ou les ponts de mesure.

10.4. Condensateurs

La construction, les caractéristiques, les principaux types et l'utilisation des condensateurs ont été déjà présentés. Ce composant est souvent rencontré dans les circuits électriques et électroniques. Il s'avère nécessaire de vérifier son état et de mesurer ses paramètres.

L'appareil de mesure permettant de mesurer la valeur de la capacité d'un condensateur c'est le capacimètre. Les mesures à l'aide du capacimètre donnent la valeur réelle de la capacité d'un condensateur, qui n'est exactement la valeur marquée. On admet une certaine marge d'erreur dans l'expression de la capacité. C'est ce qu'on appelle la tolérance, qui s'exprime en pourcentage. Les valeurs de la tolérance dépendent du type de condensateur, de la technologie de production, etc. et elle peut atteindre les 20%.

10.5. Inductances

Les inductances, appelées aussi bobines, sont des composants souvent utilisés en électrotechnique dans la constitution d'appareils et machines électriques : relais, machines tournantes, transformateurs, circuits électroniques etc. Elles sont réalisées afin de présenter une inductance élevée, caractéristique spécifique qui exprime la propriété de s'opposer à toute variation du courant dans le circuit ou encore celle de produire le champ magnétique.

Les bobines sont réalisées en matériel conducteur à faible résistivité (fil de cuivre). Elles présentent aussi une résistance qu'on souhaite très faible, qui est la source de leur réchauffement non désirable et source principale de leur claquage.

La vérification d'une inductance (bobine) porte sur la détermination de leur résistance interne. Lorsque sa valeur est très grande, voir infinie, l'inductance n'est plus fonctionnelle.

11. LOIS DU MAGNETISME

11.1. Notions de magnétisme

Certains corps ont la propriété d'attirer le fer; on appelle cette propriété **magnétisme** et les corps qui possèdent cette propriété, **aimants naturels**.

Il est possible de transférer cette propriété à des barres d'acier suite à un traitement spécial. On obtient ainsi des **aimants artificiels**. Ils sont **temporaires** ou **permanents**. On leur donne des formes diverses : barreau droit, barreau en fer de cheval, aiguille plate.

Un aimant produit l'orientation d'une aiguille magnétique car lui aussi présente deux pôles différents : **un pôle nord** et **un pôle sud**.

Entre les aimants s'exercent des forces de nature magnétique. Les pôles semblables de deux aimants se repoussent, les pôles contraires s'attirent.

On appelle **électroaimant** l'ensemble formé d'une bobine placée sur un noyau ferromagnétique. Lorsque le courant électrique circule dans la bobine l'électroaimant présente un champ magnétique et exerce les forces magnétiques spécifiques.

11.2. Classification des matériaux magnétiques

Les matériaux se différencient selon leur comportement magnétique. La propriété qui caractérise la facilité avec laquelle les lignes du champ magnétique s'établissent dans le matériel s'appelle **perméabilité**. Celle-ci est semblable à la conductivité en électricité : le cuivre est un bon conducteur, il laisse facilement circuler le courant; l'acier est perméable, il permet une grande concentration de lignes de champs.

11.2.1. Matériaux ferromagnétiques

Les matériaux ferromagnétiques possèdent une perméabilité élevée (supérieure à 100) ce qui leur permet de s'aimanter facilement. Dans cette catégorie on retrouve : le fer, le nickel, le cobalt et différents alliages, tel que l'acier au silicium, le permalloy, l'alnico, etc.

11.2.2. Matériaux paramagnétiques

Les matériaux paramagnétiques ont une perméabilité légèrement à peine supérieure à 1. Les aimants exercent peu ou pas d'attraction sur eux. Les principaux matériaux retrouvés dans cette catégorie sont : le platine, le magnésium, l'aluminium et le verre.

11.2.3. Matériaux diamagnétique

Les matériaux diamagnétiques présentent une valeur de la perméabilité inférieure à 1. Ils sont très légèrement repoussés par les aimants. Dans cette catégorie on dénombre le cuivre, l'or, l'argent, le zinc, l'antimoine, le bismuth, le mercure.

11.3. Pôles magnétiques

Les **pôles** se situent à chaque extrémité de l'aimant; à ces points la force magnétique est la plus intense. L'aiguille de la boussole est réalisée en aimant permanent. L'extrémité qui pointe vers le Pôle Nord géographique est appelée pôle nord pendant que l'autre extrémité a été désignée comme pôle Sud. Ces appellations sont valables pour tous les aimants.

Si l'on approche les pôles de même nature de deux aimants on constate leur répulsion. Par contre, si l'on rapproche leurs pôles de nature contraire, les aimants s'attirent. C'est la loi des pôles.

Remarque : Les pôles d'un aimant sont inséparables ; si on coupe un aimant en deux, chaque morceau qui en résulte possédera un pôle nord et un pôle sud et sera un aimant.

11.4. Champ magnétique

On appelle **champ magnétique** la région de l'espace où peuvent s'exercer les forces magnétiques sur des objets de fer. Lorsqu'on place de la limaille de fer sur une feuille de papier placée sur un barreau aimanté, on constate que les grains de

limaille se disposent de façon régulière en formant un certain nombre de lignes courbées. Ces chemins fermés s'appellent lignes de force ou lignes de flux. L'ensemble des lignes de force représente le spectre magnétique.

On remarque les propriétés suivantes pour les lignes de forces :

- Les lignes partent toujours d'un pôle nord et aboutissent à un pôle sud.
- Les lignes de force ne se croisent jamais.
- Les lignes de forces tendent à suivre le chemin le plus court et le plus facile.

Le flux magnétique est défini comme le nombre de lignes de force traversant une surface. L'unité de mesure du flux est le weber (Wb), qui correspond à 10⁸ de lignes de forces.

La densité magnétique désigne le nombre de lignes de force par mètre carré traversant une surface perpendiculaire aux lignes de force. Elle s'exprime en tesla (T).

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb} / 1 \text{ m}^2$$

11.5. Électromagnétisme

L'électromagnétisme étudie les effets magnétiques engendrés par la circulation du courant électrique dans un conducteur. L'effet magnétique du courant électrique a été mis en évidence dès le début du XIX-ème par le physicien danois Oersted. Celui-ci a observé la présence d'un champ magnétique autour d'un conducteur parcouru par un courant, qui oriente l'aiguille d'une boussole placée dans sa proximité, perpendiculairement.

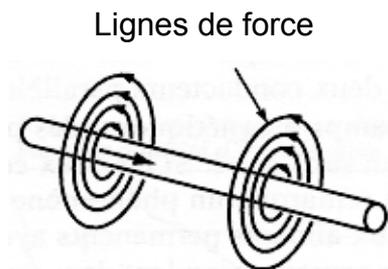


Fig. 11-1

Lorsqu'un courant électrique parcourt un conducteur, il crée, autour de lui un champ magnétique ayant les caractéristiques suivantes :

- les lignes de force sont des cercles concentriques situés dans des plans perpendiculaires au courant qui les produit (fig. 11 – 2) ;
- le champ magnétique agit sur toute la longueur du conducteur ;
- l'intensité magnétique diminue si on s'éloigne du conducteur ;
- le champ magnétique disparaît dès que le courant cesse de circuler dans le conducteur.

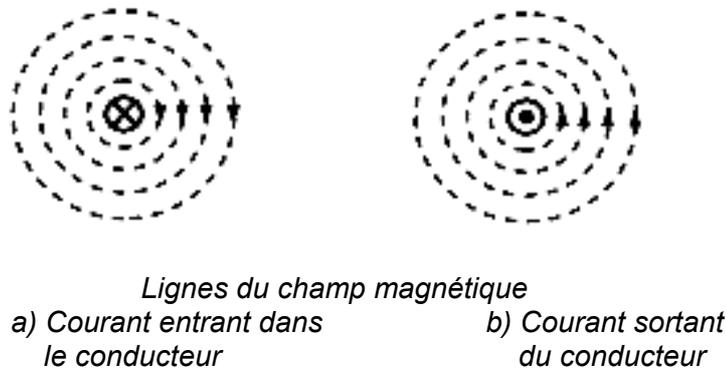


Fig. 11-2

Remarque : Les phénomènes de l'électromagnétisme seront expliqués en considérant le sens conventionnel du courant, soit de la borne positive (+) vers la borne (-).

La règle de la main droite permet de déterminer le sens des lignes de forces (fig. 11 – 3). Elle s'énonce ainsi : *Lorsqu'on saisit le conducteur de la main droite, le pouce pointant dans le sens conventionnel du courant, les doigts pointent dans le sens des lignes de force magnétiques.*

Entre deux conducteurs parallèles parcourus par courants s'exercent des forces de nature magnétique.

Si les courants circulent dans le même sens, on remarque un phénomène d'attraction entre les conducteurs semblable à celui de deux aimants ayant des pôles opposés. Par contre, si les courants circulent dans des sens opposés, les

conducteurs se repoussent, pareille à deux aimants ayant des pôles de même nature.

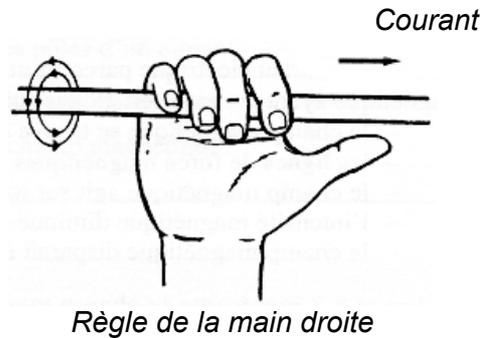
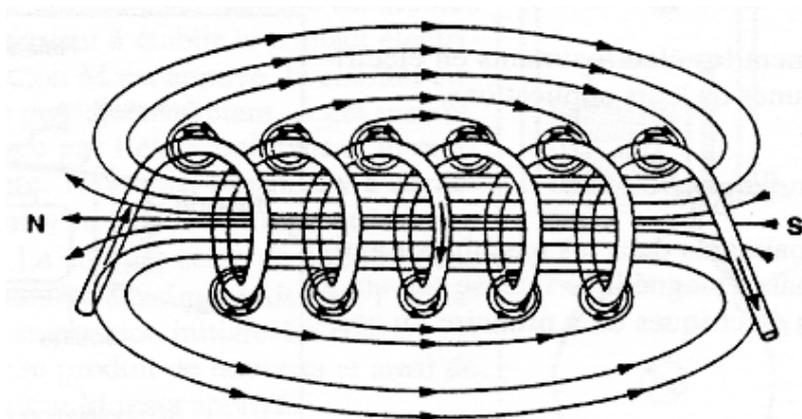


Fig. 11-3

11.6. Principe de l'électroaimant

Le **solénoïde** est une bobine comportant plus d'une spire (fig. 11 – 4). On l'utilise pour augmenter l'intensité du champ magnétique. Un conducteur ayant plusieurs spires amplifie le champ magnétique. Le même courant parcourt chacune des spires dans le même sens et crée des champs magnétiques dans la même direction qui se composent. Le résultat est un champ magnétique comparable à celui d'un aimant permanent tubulaire : les deux extrémités de la bobine se constituent l'une comme un pôle nord et l'autre comme un pôle sud.



Champ magnétique d'un solénoïde

Fig. 11-4

Pour augmenter la densité du flux magnétique, on utilise un noyau ferromagnétique sur lequel on dispose les spires de fil. On réalise ainsi un électroaimant. La force du champ magnétique produite par un électroaimant dépend des facteurs suivants :

- l'intensité du courant circulant dans la bobine ;
- le nombre de spires de la bobine ;
- le matériau utilisé pour le noyau magnétique.

Pour déterminer la polarité magnétique d'un solénoïde, on utilise également la règle de la main droite, de la façon suivante : on prend la bobine dans la main droite, en plaçant les doigts dans le sens du courant, le pouce pointe alors vers le pôle nord du solénoïde.

La **force magnétomotrice** détermine la puissance d'un électroaimant. Elle représente le produit entre le courant circulant dans la bobine et le nombre de spires de celle-ci. La force magnétomotrice s'exprime en ampères-tours.

11.7. Relais électromagnétique

Le **relais électromagnétique** est une des nombreuses applications des électroaimants. Celui-ci est un dispositif de commande capable de commuter un ou plusieurs contacts à la fois.

Le relais est composé d'un électroaimant et d'une armature de fer doux censée à actionner un groupe de contacts (fig. 11 – 5).

Lorsqu'un courant circule dans la bobine, le champ magnétique engendré par celle-ci attire l'armature, qui ferme ainsi le contact A - C, en même temps qu'elle ouvre le contact A - B. Lorsque le courant cesse dans la bobine, le champ magnétique disparaît, l'action du ressort rétablit la position initiale de l'armature et les contacts retournent à la position de départ.

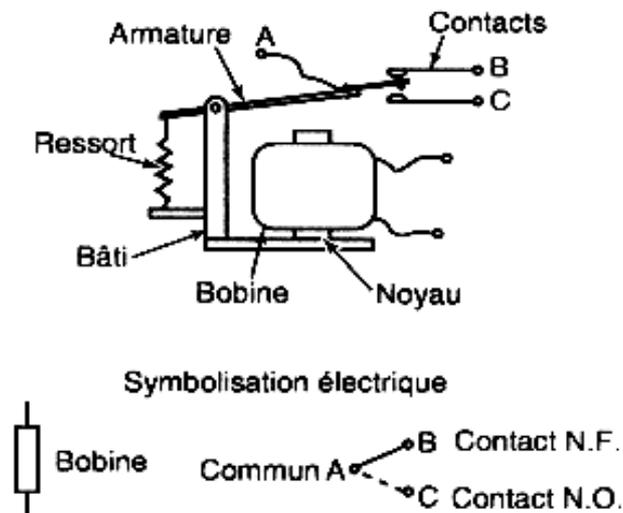


Fig. 11-5

Les relais sont munis habituellement de deux types de contacts : les contacts normalement ouverts (N.O.) soit contacts à fermeture, et les contacts normalement fermés (N.F.), soit contacts à ouverture.

La position normale du contact est la position qu'il occupe à l'état repos, c'est-à-dire lorsque la bobine du relais n'est pas alimentée.

12. CARACTERISTIQUES DES APPAREILS DE MESURE EN COURANT CONTINU

Les appareils de mesure électriques sont des moyens de mesure qui permettent l'évaluation quantitative de grandeurs électriques ou encore de grandeurs non électriques, par l'intermédiaire d'une grandeur électrique.

Les appareils de mesure se divisent en deux catégories importantes :

- appareils de mesure analogiques ;
- appareils de mesure numériques.

12.1. Appareils de mesure analogiques

Le fonctionnement des appareils de mesure analogiques est basé sur la transformation d'une partie très petite de l'énergie électrique ou magnétique de la grandeur à mesurer (ou du signal intermédiaire) en énergie mécanique, qui produit le déplacement d'une aiguille indicatrice en face d'une échelle graduée.

La conversion énergétique se réalise conformément à un phénomène physique, sur lequel repose la construction et le fonctionnement de l'appareil.

Les éléments composants des appareils de mesure analogiques sont regroupés en deux parties : une *partie fixe* et une *partie mobile* (l'équipage mobile).

12.1.1. Principe de fonctionnement

La **partie mobile** de l'appareil de mesure sur laquelle est fixée l'aiguille indicatrice, se déplace sous l'action d'un couple de forces, appelé couple actif. Le couple actif dépend de la valeur de la grandeur à mesurer, à chaque valeur de la grandeur à mesurer correspond une valeur précise du couple actif. Seulement sous l'action du couple actif, l'équipage mobile se déplacerait jusqu'à sa limite extrême pour toute valeur de la grandeur à mesurer.

Pour faire correspondre à chaque valeur de la grandeur à mesurer une position distincte de l'équipage mobile, le couple actif sera équilibré par un couple de sens contraire et proportionnel à l'angle de rotation de l'équipage mobile, nommé couple résistant. Le couple résistant est produit par deux ressorts spiraux.

Au cours d'une mesure, l'aiguille indicatrice atteint une position d'équilibre, définie par l'égalité des deux couples. La position d'équilibre est caractérisée par l'angle de déviation de l'équipage mobile qui traduit la valeur de la grandeur à mesurer.

12.1.2. Classification des appareils de mesure analogiques

D'après la nature des phénomènes sur lesquels repose leur fonctionnement, on distingue un grand nombre d'appareils de mesure. Les plus souvent rencontrés sont:

- appareils **magnétoélectriques**, qui utilisent l'interaction d'un aimant et d'une bobine parcourue par le courant à mesurer ;
- appareils **électromagnétiques**, qui contiennent une pièce magnétique mobile se trouvant sous l'action d'un champ magnétique produit par une bobine fixe parcourue par le courant à mesurer ;
- appareils **ferromagnétiques**, pour lesquels les forces électromagnétiques sont renforcées par des pièces ferromagnétiques placées dans le chemin des lignes de champ ;
- appareils **électrodynamiques**, qui utilisent l'action des forces électrodynamiques qui s'exercent entre une bobine fixe et une bobine mobile parcourues par des courants.
- appareils **ferrodynamiques**, pour lesquels les forces électrodynamiques sont renforcées par des pièces ferromagnétiques placées dans le chemin des lignes de champs ;
- appareils **d'induction**, qui utilisent l'action d'un champ magnétique variable d'un circuit inducteur fixe sur une pièce conductrice mobile ;
- appareils **bimétalliques**, pour lesquels la déformation d'une lame bimétallique, due au réchauffement produit par le courant à mesurer, est transmise à l'équipage mobile ;
- appareils **à thermocouple**, pour lesquels la grandeur électrique à mesurer produit le réchauffement d'un thermocouple dont la force électromotrice est mesurée avec un appareil magnétoélectrique ;
- appareils **électrostatiques**, qui fonctionnent sous l'influence des forces de Coulomb qui s'exercent entre une pièce fixe et une pièce mobile ayant des potentiels différents.

12.1.3. Indications des appareils de mesure analogiques

Les normes en vigueur (NF C 42-100) précisent les indications que doivent porter les appareils de mesure. Ces indications sont marquées sur le cadran de l'appareil ou sur le couvercle derrière à l'aide des symboles (fig. 12 – 1).

Indications	Symboles et exemples	Indications	Symboles et exemples
Nom ou marque du constructeur	Chauvin et Arnoux		
Unité de mesure indiquée par son symbole	V : volt A : ampère mA : milliampère ...		
Nature du courant	 : courant alternatif  : courant continu  : courant alternatif et courant continu	Classe de précision	0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5
Fréquence nominale	$f = 50 \text{ Hz}$	Référence aux règles	 Norme NF C 42-100
Tension d'épreuve diélectrique	 $U = 500 \text{ V}$  $U > 500 \text{ V}$ (exemple : 2 kV)  Appareil non prévu pour supporter une tension d'épreuve diélectrique	Nature des phénomènes intervenant dans le fonctionnement de l'appareil et, s'il y a lieu, symboles des accessoires	 magnétoélectrique  ferromagnétique  redresseur  shunt  résistance

Symboles pour appareils de mesure
Fig. 12-1

12.1.4. Caractéristiques métrologiques des appareils de mesure analogiques

Les caractéristiques métrologiques des appareils de mesure sont en même temps des critères de qualité pour ceux-ci. Ces caractéristiques font l'objet des vérifications périodiques dans le but de leur confirmation car l'utilisation et le

vieillesse ont pour conséquence une possible diminution des qualités prescrites. Les plus importantes caractéristiques métrologiques sont : la sensibilité, la justesse, la fidélité et la précision.

- *Sensibilité*

La **sensibilité** d'un appareil de mesure exprime le rapport entre la variation de l'indication de l'appareil (de l'angle de rotation) et la variation de la grandeur à mesurer qui la produit.

Un appareil de mesure est plus sensible qu'un autre lorsque pour la même variation de la grandeur à mesurer la rotation de son aiguille (qui traduit la rotation de son équipage mobile) est supérieure.

- *Résolution*

La **résolution** représente la plus petite variation de la grandeur à mesurer qui engendre une variation perceptible de la position de l'aiguille. Cette notion a un caractère trop relatif, car elle repose sur l'acuité visuelle de l'utilisateur de l'appareil. On définit de façon plus objective une notion apparentée, la résolution de l'échelle. Celle-ci représente la valeur de la grandeur à mesurer qui correspond à la plus petite graduation de l'échelle dans une gamme de mesure.

Exemple :

La résolution d'un voltmètre comprenant une échelle avec $N = 120$ graduations et un calibre 24 V est égale à : $24 \text{ V} / 120 = 0,2 \text{ V}$.

- *Erreurs*

Une grandeur à mesurer a sa *valeur réelle*. Le résultat obtenu pour la valeur de cette grandeur suite à un processus de mesure peut différer plus ou moins de sa

valeur réelle et cela en dépit des moyens et des méthodes de mesure utilisés, ou encore du soin de la manipulation.

Soit X_0 la valeur de référence de la grandeur et X_m la valeur obtenue pour la grandeur suite à la mesure.

L'erreur absolue ε est considérée comme la différence :

$$\varepsilon = X_m - X_0$$

L'erreur absolue exprime de combien on s'est « trompé » lors de la mesure, mais elle ne donne pas des informations sur la précision de la mesure.

L'erreur relative ε_r s'exprime par le pourcentage défini comme suit :

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon \times 100}{X_0} = \frac{X_m - X_0}{X_0} \times 100 [\%]$$

L'erreur relative permet d'apprécier la précision d'une mesure.

D'après les causes qui les produisent on peut définir les erreurs comme suit :

- **Erreurs subjectives** : dues aux manipulations et produites par l'attention, l'habilité et l'acuité visuelle de l'opérateur. Les erreurs subjectives les plus fréquentes sont :
 - La mauvaise appréciation des fractions des graduations de l'échelle.
 - Le choix incorrect de l'échelle de lecture.
 - Le défaut de parallaxe (l'axe de la visée n'est pas perpendiculaire en même temps sur aiguille et le cadran lorsqu'on effectue la lecture).
- **Erreurs objectives** : dues aux imperfections des appareils de mesure, aux influences de l'environnement ou encore à la méthode utilisée.

- Précision

La **précision** est la caractéristique qui exprime la propriété d'appareil de mesure de donner des indications aussi voisine que possible de la valeur réelle de la grandeur à mesurer.

La précision d'un appareil de mesure est exprimée par sa **classe de précision**. Un appareil n'indique jamais la vraie valeur mais une zone dans laquelle cette dernière se situera. Plus cette zone sera étroite, plus l'appareil sera précis. Le chiffre exprimant la classe indique en % du calibre la valeur maximale de l'erreur absolue ε que l'on peut commettre, en plus ou en moins, en tout point de l'échelle :

$$\varepsilon = \text{classe de précision} \times \text{calibre} / 100$$

Donc, l'erreur absolue ε , ou encore l'incertitude absolue ΔI , de mesure reste constante tout le long de l'échelle.

Les valeurs utilisées pour la classe de précision des appareils de mesure sont :

0.05 ; 0.1 ; 0.2	:	pour les appareils de laboratoire
0.5 ; 1 ; 1.5	:	pour les appareils techniques
0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2.5 ; 5	:	pour les appareils de tableau

Dans la pratique on évalue le taux d'incertitude ou l'incertitude relative ΔI_r qui correspond à la précision de la mesure, c'est-à-dire l'erreur relative ε_r pour chaque point de l'échelle.

$$\varepsilon_r = \varepsilon \cdot 100 / \text{valeur mesurée}$$

12.1.5. Interprétation des lectures des appareils de mesure analogiques

Dans ce chapitre sont présentées deux caractéristiques pratiques essentielles de tous les appareils de mesure analogiques : les **échelles** et les **calibres** (gammes), et l'interprétation des résultats de mesure.

- *Échelles*

Tous les appareils de mesure analogiques ont dans leur construction ce qu'on appelle un dispositif de lecture. Celui-ci est constitué par l'aiguille indicatrice et par l'échelle et permet d'effectuer la lecture de la grandeur à mesurer.

L'échelle représente un ensemble de graduations disposées sur le cadran de l'appareil.

Dans la plupart des cas, la lecture qui correspond à l'indication de l'aiguille au cours d'une mesure, ne représente pas directement la valeur de la grandeur mesurée. D'habitude, il faut effectuer cette lecture indiquée par l'aiguille, comme un nombre de graduations, et ensuite par un calcul simple (qui sera expliqué dans ce chapitre) on obtient la valeur de la grandeur mesurée.

Pour la plupart des appareils de mesure (les appareils encastrés dans les tableaux et pupitres font l'exception pour des raisons évidentes) on remarque la présence de plusieurs échelles sur le cadran, chacune ayant une utilisation précise.

Exemple :

- Un ampèremètre magnétoélectrique, réalisé de manière à effectuer des mesures de courant aussi continu qu'alternatif, présente deux échelles correspondant aux types de courant.
- Un multimètre capable d'effectuer des mesures de courants, de tensions et de résistances est muni d'échelles appropriées aux types de grandeurs mesurées.

Dans la plupart des cas les échelles sont graduées de gauche à droite, dans le sens de rotation de l'aiguille.

Une des exceptions est représentée par l'ohmmètre série, qui présente une échelle inverse.

Les graduations des échelles sont uniformes, mais il y a certaines échelles qui présentent des zones de non uniformité surtout au début.

- Calibres (Gammes)

Le **calibre** (la *gamme*) de mesure d'un appareil représente l'intervalle constitué par les valeurs qui peuvent être mesurées par celui-ci. Pour la plupart des appareils la gamme commence par zéro. La limite supérieure de la gamme représente le calibre. Pour une grandeur ayant la valeur égale au calibre, l'aiguille de l'appareil dévie de toutes ses graduations, donc il aboutit à l'extrémité droite de l'échelle.

Les appareils de mesure usuels (ampèremètres, voltmètres, ohmmètres, wattmètres etc.) sont réalisés avec plusieurs gammes de mesure, donc ils ont plusieurs calibres. Choisir un certain calibre c'est accéder à une gamme de valeurs mesurables.

Un appareil à plusieurs calibres de mesure est plus performant et plus efficace. Adapter la gamme de mesure (le calibre) à la grandeur mesurée, permet de bénéficier de la qualité de l'appareil reflétée par sa classe de précision.

L'exemple suivant met en évidence cet aspect très important visant l'utilisation des appareils de mesure analogiques.

Les résultats obtenus suite à la mesure de deux courants effectuée avec un ampèremètre de classe de précision $Cl = 1,5$ sur le calibre $C = 5$ A sont :

$$I_1 = 0,85 \text{ A} \quad \text{et} \quad I_2 = 3,65 \text{ A.}$$

L'*incertitude absolue* est donnée par la relation :

$$\Delta I = Cl \times C / 100$$

$$\Delta I = 1,5 \times 5 / 100$$

$$\Delta I = 0,075 \text{ A}$$

L'incertitude relative qui exprime la précision de la mesure est donnée par la relation :

$$\Delta I_r = \Delta I / I \times 100$$

Ainsi pour la première mesure de courant :

$$\Delta I_{r1} = 0,075 / 0,85 \times 100$$

$$\Delta I_{r1} = 8,82\%$$

Pour la deuxième mesure de courant :

$$\Delta I_{r2} = 0,075 / 3,65 \times 100$$

$$\Delta I_{r2} = 2,06\%$$

La qualité de la deuxième mesure est nettement supérieure. Aussi on dit que la deuxième mesure est plus précise que la première.

Un calibre approprié à la grandeur mesurée est celui qui permet d'obtenir une déviation dans le dernier tiers (voir dans la deuxième moitié) de l'échelle de l'appareil. C'est donc le plus petit calibre supérieur à la grandeur mesurée. Ce principe est appelé encore « **La règle d'or de bonne manipulation** ».

Pour bénéficier des qualités des appareils de mesure et obtenir de mesures de bonne précision il est nécessaire d'utiliser les calibres appropriés au cours d'une mesure.

12.1.6. Pratique des mesures

Lorsqu'on effectue une mesure avec un appareil analogique, il est nécessaire de savoir traiter les résultats, ce qui implique l'utilisation d'une technique donnée.

Les étapes à suivre sont les suivantes :

- Choix du calibre C;
- Choix de l'échelle (si nécessaire), une échelle comportant un certain nombre de graduations, symbolisé par E;

- Calcul du coefficient de la lecture K;
- Lecture de nombre de graduations (divisions) L sur l'échelle (L'aiguille indiquera une position exprimée par un certain nombre de graduations lu par le manipulateur);
- Calcul de la valeur de la grandeur mesurée V.

Il est préférable d'introduire les résultats de mesure dans un tableau en attribuant une colonne pour chaque étape indiquée ci-dessus.

On définit le coefficient de la lecture K de l'appareil, comme le rapport :

$$K = \text{Calibre} / \text{Nombre de graduations}$$

Soit avec les symboles définis :

$$K = C / E$$

La valeur de la grandeur mesurée exprimée en même unité que le calibre est égale au produit du coefficient K par la lecture L.

$$V = K \times L$$

12.2. Appareils numériques

Les **appareils** de mesure **numériques** sont caractérisés par le fait qu'ils transforment la grandeur à mesurer en un signal digital qui sera traité par des circuits spécifiques afin d'afficher le résultat de la mesure sous forme numérique.

12.2.1. Propriétés des appareils numériques

Les appareils de mesure numériques présentent des qualités qui ont conduit à une expansion de leur utilisation, soutenue par la baisse relative de leur prix. Voici leurs propriétés les plus importantes :

- élimination des erreurs de lecture ;
- précision élevée ;
- bonne sensibilité ;

- sécurité en exploitation ;
- rapidité et commodité de la prise de mesure ;
- grande vitesse dans la prise des mesures (on peut effectuer avec des appareils numériques des centaines de mesures par seconde), ce qui permet qu'un seul appareil soit couplé à l'aide d'un sélecteur, dans plusieurs points de mesure d'une installation ;
- possibilité d'enregistrement rapide et précise des résultats ;
- possibilité de couplage avec des ordinateurs ;
- possibilité de transmission à distance des résultats, sans l'introduction d'erreurs supplémentaires.

12.2.2. Caractéristiques des appareils de mesure numériques

- *Sensibilité*

La **sensibilité** d'un appareil numérique est très élevée. Elle peut être augmentée grâce à la résolution de l'appareil. La résolution d'un appareil numérique représente, de même que pour les appareils analogiques, la plus petite variation de la grandeur à mesurer que l'appareil serait capable de saisir. Elle correspond à la différence entre deux indications successives.

Exemple :

Soit un voltmètre numérique à quatre cellules d'affichage et de calibre 250 V. L'affichage peut montrer 10 000 indications, de 0 000 à 9 999. La résolution de l'appareil sera : $250 \text{ V} / 10\,000 = 0,025 \text{ V}$.

- *Précision*

La **précision** des appareils numériques est très bonne. Elle dépend du nombre de cellules d'affichage (digits). Plus le nombre de digits est grand, plus la précision de l'appareil est grande (de 0,0005% à 1,5%). La précision s'exprime en pourcentage de la lecture à laquelle on ajoute parfois 1 ou 2 digits.

Exemple :

Soit un voltmètre numérique de précision $\pm 1\% + 2d$ et l'affichage en quatre digits. Lorsqu'on effectue une mesure qui a pour résultat 5,6 V pour une gamme utilisée de 10 V, l'erreur absolue est : $5,6 \text{ V} \times 1 / 100 + 2d \times 10\text{V} / 10\,000d = 0,056\text{V} + 0,002\text{V} = 0,058\text{V}$

13. BRANCHEMENT DES APPAREILS DE MESURE

13.1. Ampèremètres

L'ampèremètre est l'appareil conçu pour la mesure de l'intensité du courant électrique par une lecture directe.

L'ampèremètre analogique, le plus souvent utilisé, est de type magnétoélectrique à cause de ses performances remarquables : haute sensibilité, précision élevée, consommation de puissance réduite, influence négligeable des champs magnétiques extérieurs, malgré leur sensibilité aux surcharges. On rencontre aussi des ampèremètres de type électromagnétique et ferromagnétique, surtout comme appareil de tableau, grâce à leur construction simple et robuste, et rarement des ampèremètres électrodynamiques, surtout comme appareils de laboratoire avec des classes de précision élevées.

Le branchement de l'ampèremètre doit être effectué en série dans le circuit où on veut mesurer le courant. Ainsi le courant à mesurer circule à travers l'appareil et détermine son indication.

L'ampèremètre est branché dans un circuit par l'intermédiaire de deux bornes. Une d'eux est marquée, la borne positive (+). Celle-ci doit être branchée du côté positif du circuit, toujours vers le pôle positif de la source, si non l'aiguille va dévier dans le sens contraire.

Important !

- Après le branchement des ampèremètres, sa résistance interne s'ajoute à la résistance du circuit, fait qui influence la valeur du courant dans le circuit. On dit que la mesure est affectée par une erreur systématique de méthode. Afin que, suite au branchement de l'ampèremètre dans un circuit, son fonctionnement se modifie le plus peu possible, voire de manière négligeable il est nécessaire que la résistance interne de l'ampèremètre soit sensiblement inférieure à la résistance du circuit.

- Le branchement parallèle de l'ampèremètre sur un circuit peut conduire à la destruction de celui-ci. À cause de sa résistance interne faible, suite au branchement parallèle la tension aux bornes de l'appareil produira un courant d'intensité élevée qui s'avère dangereux pour la sécurité de l'ampèremètre.

13.2. Voltmètres

Le **voltmètre** est l'appareil conçu pour la mesure de la tension électrique (différence de potentiels) par lecture directe. Comme dans le cas de l'ampèremètre et pour les mêmes raisons, le voltmètre analogique, le plus souvent utilisé, est de type magnétoélectrique.

Le branchement du voltmètre est effectué en parallèle sur le circuit, entre les deux points de manière que la tension à mesurer soit égale à la tension à ses bornes.

Il est nécessaire que le branchement du voltmètre dans le circuit ne modifie pas le fonctionnement de celui-ci. Cela est possible seulement si sa résistance interne est sensiblement supérieure à la résistance de la partie du circuit aux extrémités de laquelle on veut déterminer la tension. Contrairement aux ampèremètres qui sont réalisés avec une résistance interne très faible, la résistance interne des voltmètres est très grande.

Important !

Lors du branchement incorrect du voltmètre, en série dans le circuit, le courant diminue fortement à cause de sa grande résistance qui s'ajoute à celle du circuit. Le résultat de la

mesure est dépourvu de signification, mais l'état fonctionnel du voltmètre n'est pas mis en danger.

La polarité du voltmètre doit être respectée lors de son branchement. La borne marquée (+), en générale de couleur rouge, doit être reliée vers la borne positive de la source, si non l'aiguille va dévier dans le sens inverse.

13.3. Ohmmètres

Les ohmmètres sont des appareils de mesure à lecture directe utilisée pour la mesure de la résistance. Les ohmmètres analogiques ont dans leur construction un appareil magnétoélectrique. Il existe une grande variété de schémas constructifs d'ohmmètres, qui peuvent être réduits en fin de compte à deux variantes :

- ohmmètre série ;
- ohmmètre parallèle.

Leur fonctionnement est basé sur la loi d'Ohm. L'étude de l'ohmmètre fera l'objet d'une leçon prochaine.

Important !

La mesure d'une résistance avec un ohmmètre exige l'état hors de circuit de celle-ci. Il est formellement interdit d'essayer de mesurer la résistance pendant qu'elle est branchée dans un circuit et le circuit est parcouru par un courant.

13.4. Wattmètres

Pour mesurer la puissance, en courant continu et alternatif, on utilise un **wattmètre** surtout du type électrodynamique. Il possède, dans le cas général, une seule échelle et la même classe de précision pour les deux types de courant.

Le wattmètre est constitué de deux bobines, une fixe et une mobile, qui forment deux circuits indépendants. La bobine fixe, appelée *circuit de courant*, est branchée en série dans le circuit où on mesure la puissance et la bobine mobile, appelée

circuit de tension, est branchée en parallèle. L'indication du wattmètre exprime la puissance consommée dans le circuit.

Pour les appareils standards pour le *circuit de courant* on trouve deux calibres directs, dans un rapport de un à deux (ex. 0,5 – 1 A). Le passage d'un calibre à l'autre est obtenu par un commutateur manœuvrable en charge. Parfois le commutateur possède une troisième position qui permet la mise du circuit d'intensité en court-circuit.

Le *circuit de tension* peut comporter, en direct, de nombreux calibres allant de 15 V à 500 V. Le branchement d'une résistance additionnelle après la bobine permet d'agrandir le nombre de calibres de tension.

Ainsi un wattmètre est muni de quatre bornes, deux bornes de courant et deux bornes de tension. Une borne de courant et une borne de tension sont marquées. Elles doivent être branchées vers le pôle positif de la source, autrement l'indication du wattmètre sera dans le sens opposé au déplacement correct de l'aiguille indicateur, donc de droite à gauche.

En outre, les wattmètres sont munis d'un inverseur de polarité, utilisé lors d'un branchement qui n'a pas respecté l'ordre exigé des bornes.

Important !

Les wattmètres sont prévus avec plusieurs gammes pour le courant et pour la tension. Le choix du calibre doit être fait individuellement pour le circuit de courant et pour le circuit de tension. Si non, il peut arriver une situation pour laquelle l'indication de l'appareil étant dans la plage, une bobine est détériorée à cause du mauvais choix du calibre respectif ce qui amène un courant de travail dépassé. On recommande de surveiller les paramètres courant et tension lors d'une mesure de puissance en utilisant les appareils de mesure appropriés (ampèremètre et voltmètre) afin qu'on ne dépasse pas la gamme choisie pour le wattmètre.

13.5. Multimètre

Le **multimètre** est un appareil de mesure à fonctions multiples permettant ou moins la mesure des courants, des tensions et des résistances. Les multimètres de construction moderne permettent en plus la mesure de la fréquence et de la capacité de même que la vérification des semi-conducteurs.

13.5.1. Types de multimètre

On distingue deux types de multimètres : les multimètres analogiques et les multimètres numériques.

Les **multimètres analogiques** utilisent comme élément central un appareil magnétoélectrique. Leur dispositif d'affichage est constitué par l'aiguille indicateur qui dévie en même temps que l'équipage mobile et le cadran gradué qui permet la codification du déplacement de l'aiguille.

Les **multimètres numériques**, réalisés à l'aide des composants et circuits électroniques qui donnent une lecture directe à l'aide d'un dispositif d'affichage à cristaux liquides ou à diodes électroluminescentes, deviennent de plus en plus populaires à cause de leur bas prix conjugué avec leurs performances de qualité.

13.5.2. Branchement du multimètre

Le branchement du multimètre est réalisé à l'aide de deux fils de raccordement, qu'on appelle aussi sondes. On distingue les deux fils par leurs couleurs différentes. Un fils de couleur noir est branché à la borne marquée « COM » sur le multimètre ; il est associé à la borne de polarité négative (-). Le deuxième fil est de couleur rouge et il est branché à l'une des bornes identifiées en fonction du type de l'appareil, « $V\Omega$ », « mA » ou encore « V.mA », « 1.5 A », « 1500V » ; il est associé à la borne positive (+).

- Sélection de la fonction

Lors de l'utilisation d'un multimètre pour la mesure d'une certaine grandeur : courant, tension ou résistance, on doit d'abord sélectionner correctement la fonction appropriée. La sélection se réalise à l'intermédiaire d'un commutateur rotatif à plusieurs positions, le commutateur de fonctions. Le nombre de positions est variable et dépend du type de l'appareil.

A titre d'exemple on présente les fonctions d'un multimètre aux performances reconnues et très utilisées, MX 430 produit par Metrix :

1° La fonction «VDC » sert à mesurer la tension continue et comprend 7 positions et 8 gammes de mesure bénéficiant des calibres suivants : 0,5 V ; 1,5 V ; 5 V ; 15 V ; 50 V ; 150 V ; 500 V – 1500 V.

2° La fonction «mVDC » sert à mesurer les tensions continues de valeur réduite et comprend 2 positions et 2 gammes de mesure bénéficiant des calibres suivants : 50 mV ; 150 mV.

3° La fonction «VAC » sert à mesurer la tension alternative et comprend 5 positions et 6 gammes de mesure bénéficiant des calibres suivants : 5 V ; 15 V ; 50 V ; 150 V ; 500 V –1500 V.

4° La fonction «mADC » sert à mesurer les courants continus et comprend 4 positions et 6 gammes de mesure bénéficiant des calibres suivants : 150 μ A ; 1,5 mA ; 15 mA ; 150 mA ; 1,5 A – 15 A.

5° La fonction «mAAC » sert à mesurer les courants alternatifs et comprend 3 positions et 5 gammes de mesure bénéficiant des calibres suivants : 1,5 mA ; 15 mA ; 150 mA ; 1,5 A – 15 A.

6° La fonction «k Ω » sert à mesurer les résistances et comprend 2 positions qui indiquent deux facteurs de multiplication pour la lecture effectuée en k Ω : x 1 ; x 100.

7°La fonction « Ω » sert à mesurer les résistances et comprend 2 positions et 2 gammes de mesure bénéficiant des calibres suivants : 50 Ω ; 500 Ω .

- *Interprétation de la lecture*

La lecture d'un multimètre, de même que pour beaucoup d'appareils de mesure, ne représente pas toujours la valeur de la grandeur mesurée. Il faut l'interpréter afin de trouver cette valeur. Le multimètre est muni de plusieurs échelles qui servent à prendre la lecture pendant les mesures. Les échelles sont choisies en fonction de la grandeur mesurée et de la gamme de mesure utilisée.

Ainsi pour la fonction «VDC » on utilise l'échelle à 150 graduations marquée en extrémité avec « DC ». Lorsqu'on choisit une gamme de calibre symbolisé « C » on évalue le facteur K de l'échelle :

$$K = C / 150.$$

La valeur de la grandeur mesurée est le produit de la lecture effectuée par le coefficient K de l'échelle.

Le multimètre MX 430 de Metrix est muni de 6 échelles distinctes dont l'utilisation doit être faite de façon appropriée.

- *Techniques de mesure avec un multimètre*

Mesure de tension

Lorsqu'on mesure une tension, on détermine une différence de potentiels (d.d.p.) entre deux points d'un circuit. Donc le branchement de l'appareil se fait en parallèle avec le composant (résistance, condensateur, bobine, source, etc.) dont on souhaite mesurer la tension.

En outre, il faut prendre quelques précautions pour être certain de la validité de la mesure et pour ne pas endommager l'appareil :

- Choisir correctement la fonction et l'échelle.
- Respecter la polarité des bornes du voltmètre lors d'une mesure de tension continue en reliant le fils rouge (+) à la borne positive.

Mesure de courant

Lors d'une mesure de courant le multimètre, comme tout ampèremètre d'ailleurs, doit être toujours branché en série avec le composant dont on désire mesurer le courant.

Les précautions à prendre pour être certain de la validité des mesures et de la sécurité du multimètre ne diffèrent guère de celles prescrites dans le cas du voltmètre :

- Choisir correctement la fonction :
 - 1° «mA_{DC}» pour les courants continus ;
 - 2° «mA_{AC}» pour les courants alternatifs.
- Choisir l'échelle adéquate : « DC » pour le courant continu et « AC CUR » pour les courants alternatifs ;
- Respecter la polarité des bornes du multimètre en reliant le fil rouge vers la borne positive (+) de la source du circuit.

Mesure de résistance

Lors d'une mesure de résistance, évidemment il faut utiliser la fonction ohmmètre du multimètre. La résistance à mesurer ne doit pas faire partie d'un circuit parcouru par courant.

Les précautions à prendre pour être certain de la validité des mesures et de la sécurité du multimètre sont les suivantes :

- Choisir correctement la fonction :

- 1° «kΩ» et un des facteurs de multiplication : x 1 ou x 100, pour les grades résistances ;
- 2° « Ω » et une des gammes : 50 Ω ou 500 Ω ;
- Choisir l'échelle adéquate :
 - 1° marquée kΩ lorsqu'on utilise une des gammes de la fonction « kΩ » : x1 ou x 100 ;
 - 2° marquée Ω lorsqu'on utilise une des gammes de la fonction «Ω » : 50 Ω ou 500 Ω .
- S'assurer que la résistance à mesurer est hors de tension.
- Effectuer le réglage de l'ohmmètre.

14. DEFINITION DE LA RESISTANCE INTERNE D'UNE SOURCE

Les sources sont des composantes actives de circuit qui assurent à leurs bornes une tension. Le paramètre qui les définit c'est la force électromotrice E.

Dans un circuit réel on constate que la tension aux bornes d'une source n'est pas forcément égale à la f.é.m. de celle-ci. En plus, la tension aux bornes d'une source dans un circuit varie en fonction du circuit, toute fois restant inférieure à sa f.é.m.

Si E est la force f.é.m. d'une source et U la tension aux bornes de celle-ci dans un circuit qui absorbe le courant principal I (fig. 14 - 1), on a toujours la relation d'inégalité $E > U$.

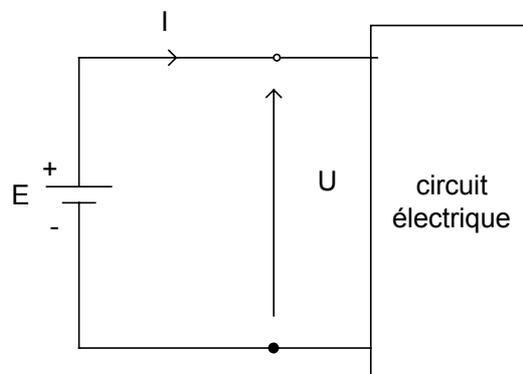


Fig. 14-1

La différence $E - U$ représente la chute de tension interne aux bornes de la source. On peut ainsi définir la résistance interne de la source r (fig. 14 – 2) :

$$r = \frac{E-U}{I}$$

La résistance interne d'une source est une caractéristique de la source. Elle dépend seulement de la réalisation et du type de la source et n'est pas influencée par la structure du circuit alimenté par la source.

La résistance interne influence le rendement d'utilisation d'une source, ainsi :

$$\eta = \frac{R_t}{R_t + r}$$

Où : R_t = résistance équivalente aux bornes de la source ;
 r = résistance interne de la source

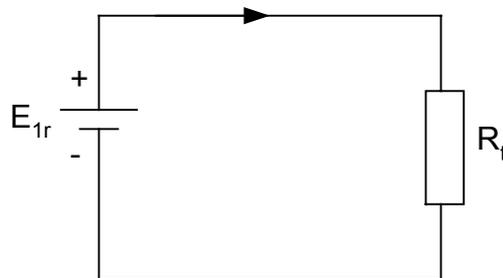


Fig. 14-2

La source est d'autant mieux utilisée que la résistance externe soit supérieure à la résistance interne.

Remarque : Lors du groupement parallèle de sources identiques (fig. 14 – 3) on obtient une source de la même tension qui en revanche présente une résistance interne diminuée par le nombre de sources du groupement.

Ainsi : $E_{\Sigma} = E$ et $r_e = \frac{r}{n}$

Où : E et r sont les caractéristiques des sources.

n est le nombre de source du groupement

E_e et r_e sont les caractéristiques du groupement équivalent.

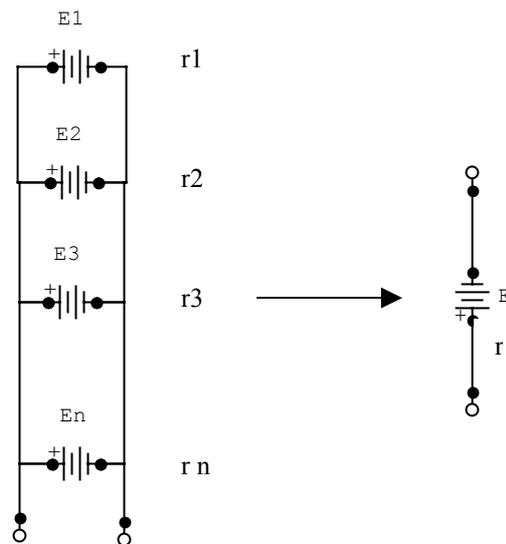


Fig. 14-3

***Module 5 : ANALYSE DE CIRCUITS A
COURANT CONTINU
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES***

TP1 – Groupement de composants

1.1. Objectif visé

Reconnaître les différents groupements de composants.

1.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 2 heures.

1.3. Equipements et matière d'œuvre par équipe

a) *Equipement :*

- ohmmètre;

b) *Matière d'œuvre :*

- résistances de valeurs variées ;
- conducteurs de raccordements.

1.4. Description du TP

Le stagiaire doit effectuer un travail pratique concernant la détermination de la valeur de la résistance selon le code de couleurs indiqué sur le corps et la réalisation de montages en série, en parallèle et mixtes; après calculer et mesurer la résistance équivalente dans ces circuits électriques.

Le travail pratique s'effectue par groupes de deux stagiaires. Un stagiaire doit réaliser un montage que son collègue doit vérifier et en suite prendre la mesure exigée. Pour le montage suivant à réaliser les rôles changeront. Les relevés seront les mêmes pour chaque groupe, mais les calculs doivent être effectués individuellement par chaque stagiaire.

Note : Précisions sur le processus de mesure

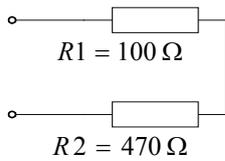
La **mesure** est le processus par lequel on réalise l'évaluation quantitative d'une grandeur. On a déjà vu que pour chaque grandeur il existe des appareils spécifiques de mesure. Il y a quelques recommandations à suivre lors d'un processus de mesure d'une grandeur :

- Utiliser pour chaque grandeur à mesurer l'appareil approprié ;
- Dessiner un tableau d'enregistrement de mesure. Ce tableau doit comprendre plusieurs colonnes dans lesquelles seront inscrites informations sur :
 - les conditions dans lesquelles la mesure a été effectuée (ici il s'agit de la gamme utilisée et de l'échelle où la lecture a été effectuée et le facteur K de l'appareil) ;
 - la lecture effectuée suite au processus de mesure ;
 - la valeur réelle de la grandeur mesurée.
- Effectuer la mesure en prenant les précautions spécifiques pour l'appareil utilisé.
- Compléter les colonnes du tableau d'enregistrement visant les conditions de prise de la mesure.
- Inscrire la lecture de l'appareil obtenue suite au processus de mesure.
- Effectuer les calculs nécessaires et compléter les colonnes du tableau comprenant le facteur de l'échelle et la valeur réelle de la grandeur mesurée.

1.5. Déroulement du TP

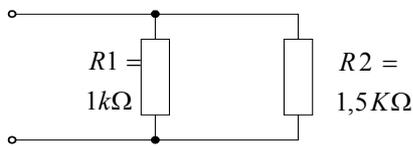
- Calculer la valeur de la résistance équivalente du premier circuit (fig. TP1-1). Inscrire le résultat obtenu dans l'espace prévu à cet effet (valeur théorique);
- Choisir les résistances nécessaires pour la réalisation du circuit selon le code de couleurs;
- Réaliser le circuit ;
- Mesurer la résistance équivalente à l'aide d'un ohmmètre et inscrire le résultat dans l'espace prévu à cet effet (valeur pratique) ;

1.



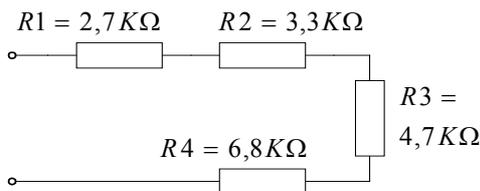
Valeur théorique =
Valeur pratique =
% erreur =

2.



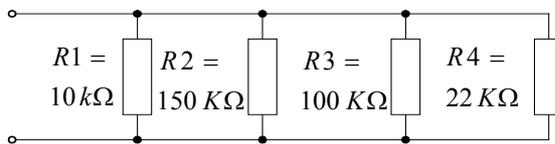
Valeur théorique =
Valeur pratique =
% erreur =

3.



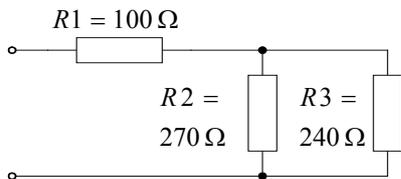
Valeur théorique =
Valeur pratique =
% erreur =

4.



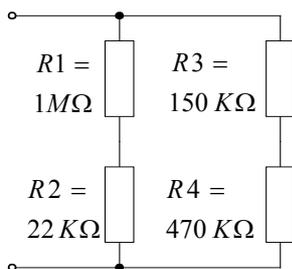
Valeur théorique =
Valeur pratique =
% erreur =

5.



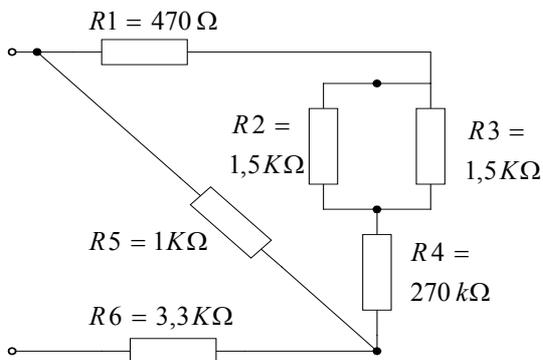
Valeur théorique =
Valeur pratique =
% erreur =

6.



Valeur théorique =
Valeur pratique =
% erreur =

7.



Valeur théorique =
Valeur pratique =
% erreur =

Fig. TP1-1

- Calculer le pourcentage d'erreur entre la valeur théorique et la valeur pratique et noter le résultat dans l'espace prévu à cet effet (% d'erreur).
$$\% \text{ d'erreur} = (\text{valeur théorique} - \text{valeur pratique}) \times 100 / \text{valeur pratique}$$
- Reprendre la procédure pour chacun des circuits apparaissant dans la figure ci-dessous.
- Vérifier le pourcentage d'erreur entre la valeur théorique et pratique de chacun des circuits. Si le résultat dépasse 5%, il est recommandé de vérifier le calcul théorique et si on constate que celui-ci est correct reprendre la prise de mesures.

Important !

Dans la notation « Valeur théorique » écrire la valeur avec des chiffres et des couleurs !

TP 2 – Loi d’Ohm et expression de la puissance

2.1. Objectif visé

Expliquer la loi d’Ohm et l’expression de la puissance

2.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 2 heures.

2.3. Equipements et matière d’œuvre par équipe

a) *Equipement* :

- ohmmètre;

b) *Matière d’œuvre* :

- résistances de valeurs variées ;
- conducteurs de raccordements.

2.4. Description du TP

Le travail pratique s’effectue individuellement. Le stagiaire doit effectuer un exercice sur le calcul des valeurs des paramètres électriques des circuits à courant continu en utilisant la loi d’Ohm.

2.5. Déroulement du TP

- Calculer la puissance d’une source de 24 V fournissant dans un circuit un courant de 250 mA.
- Calculer la puissance dissipée par une résistance de 15Ω lorsque à ses bornes est appliquée une différence de potentiel de 60 V. Quel est le courant qui la traverse ?

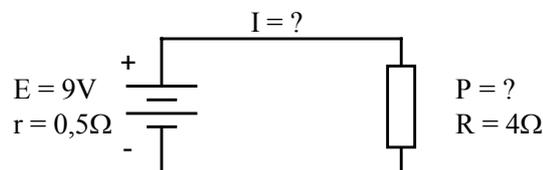
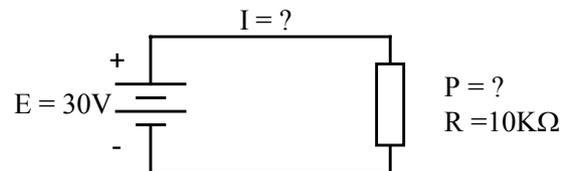
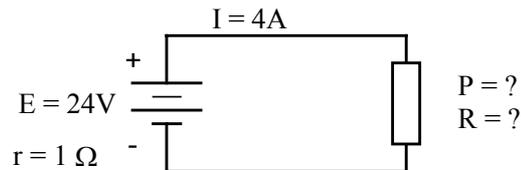
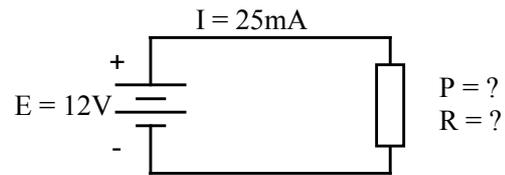


Fig. TP2-1

- Une batterie de f.é.m. $E = 12 V$ et de résistance interne $r = 2 \Omega$ est branchée aux bornes d'une résistance $R = 22 \Omega$.
 - Tracer le circuit ;
 - Calculer la valeur du courant dans le circuit ;
 - Calculer la valeur de la puissance fournie par la source ;
 - Calculer la valeur de la puissance dissipée par la résistance ;
 - Calculer la valeur de la puissance dissipée dans la source due à l'effet Joule ;

- Vérifier l'exactitude des calculs en effectuant le bilan des puissances pour le circuit ;

- Pour chacun des circuits montrés sur la fig. TP2-1, calculer les paramètres demandés.

TP3 – Caractéristiques des constantes de temps RC et/ou RL des circuits

3.1. Objet du TP :

Décrire les caractéristiques des constantes de temps RC et/ou RL des circuits.

3.2. Durée :

Le travail pratique proposé est d'une durée de 2 heures.

3.3. Equipement :

a) Equipement :

- source de tension de 24 V à C.C.;
- multimètre.

b) Matière d'œuvre :

- condensateur de $10\mu\text{F}$ (ou boîte à condensateurs) ;
- résistance de $500\text{ k}\Omega$;
- interrupteur unipolaire à deux directions ;
- conducteurs de raccordements.

3.4. Description du TP :

Le stagiaire doit effectuer un travail pratique reposant sur l'étude du circuit RC et/ou RL et le traçage des courbes de charge et de décharge d'un condensateur.

Le TP doit être effectué par groupe de deux stagiaires. Les relevées seront prises à tour de rôle, ainsi le stagiaire qui a effectué la manipulation du multimètre au cours de la charge du condensateur, consignera les résultats des mesures communiqués par son collègue au cours de l'étude de la décharge du condensateur.

3.5. Déroulement du TP :

L'objet de ce TP, étant l'étude du comportement d'un condensateur dans un circuit de courant continu, les stagiaires doivent tracer les courbes correspondantes après avoir effectué la charge et la décharge du condensateur dans un circuit RC et pris des mesures convenables au cours du processus.

Le travail doit se dérouler comme suit :

- Calculer la constante de temps et la période de charge du circuit RC en utilisant les formules appropriées.

$$\tau = R \times C$$

$$T = 5 \tau$$

- Brancher le circuit RC présenté sur la fig. TP3-1.

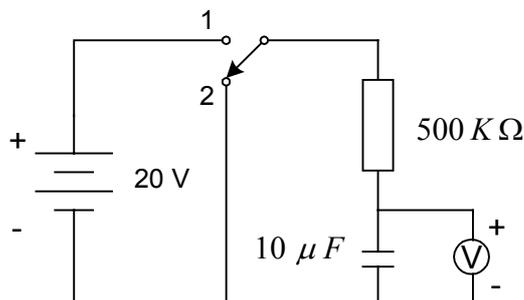


Fig. TP3-1

- Placer l'interrupteur en position 2 et régler la tension de la source à 20 V.
- Placer l'interrupteur en position 1 et mesurer la tension aux bornes du condensateur à toutes les cinq secondes. Incrire les résultats des mesures dans la colonne « CHARGE » du tableau des résultats présenté ci-dessous.
- Placer l'interrupteur à la position 2 et mesurer la tension aux bornes du condensateur à toutes les cinq secondes. Incrire les résultats dans la colonne « DECHARGE » du tableau des résultats.

t (s)	Charge	Décharge
	E (volts)	E (volts)
5		
10		
15		
20		
25		
30		

- A partir des résultats obtenus, tracer les courbes de charge et de décharge dans l'espace prévu à cet effet sur la fig. TP3-2.

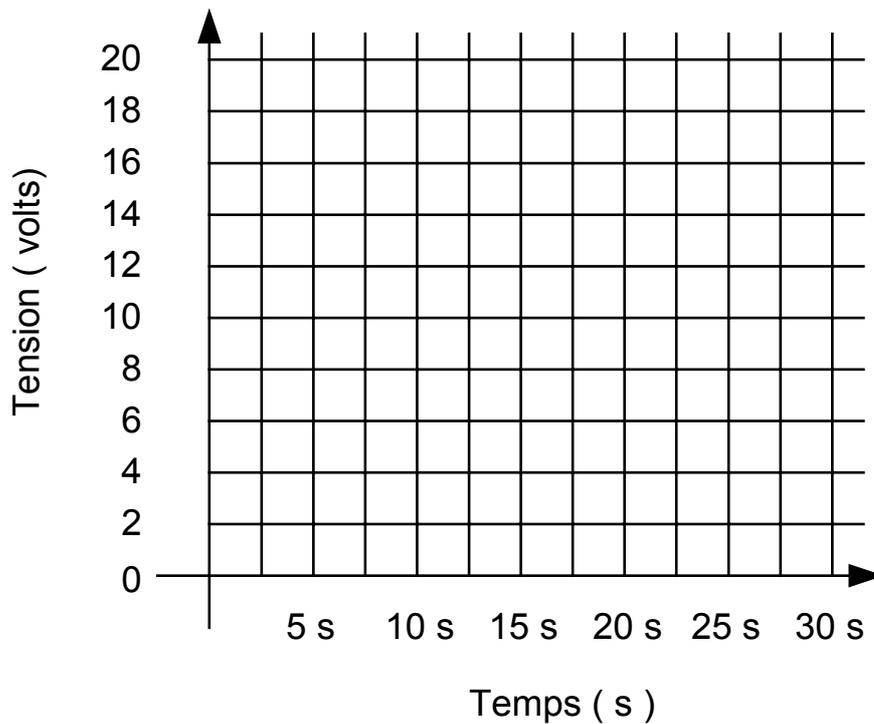


Fig. TP3-2

- Modifier le circuit pour le rendre conforme à celui de la fig. TP3-3.
- Répéter les étapes 1 à 6 pour le nouveau circuit. Compléter le tableau et tracer les courbes sur la fig. TP3-4.

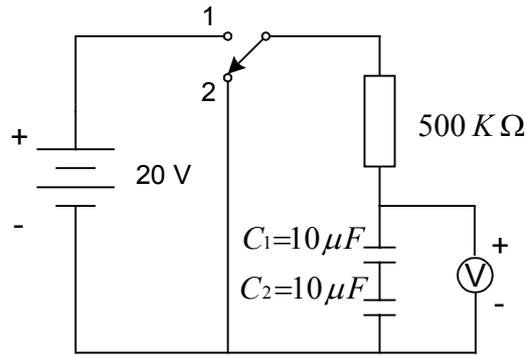


Fig. TP3-3

t (s)	Charge	Décharge
	E (volts)	E (volts)
2,5		
5		
7,5		
10		
12,5		
15		

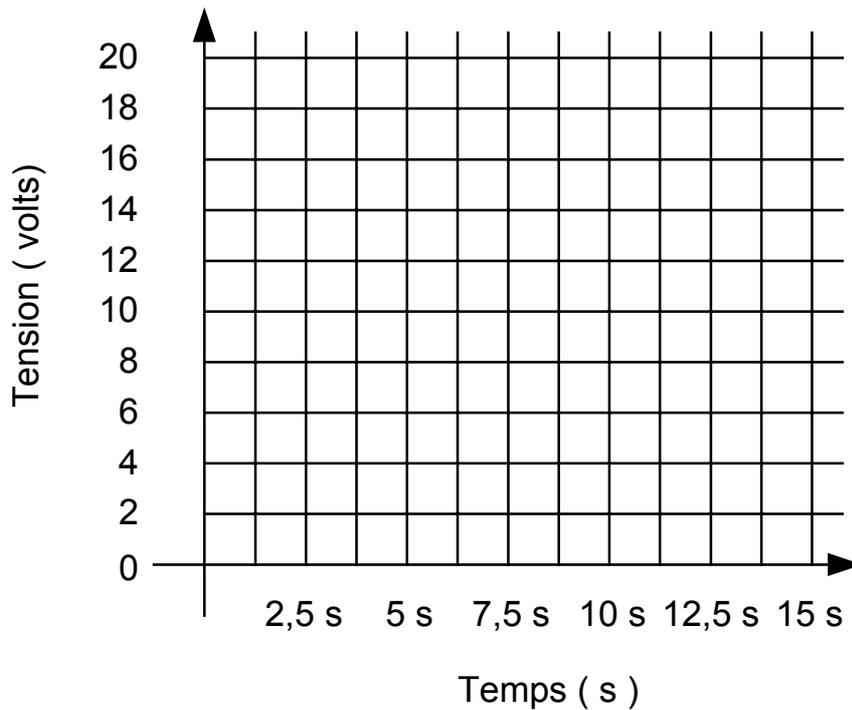


Fig. TP3-4

- Modifier à nouveau le circuit pour le rendre conforme à celui de la fig. TP3-5.

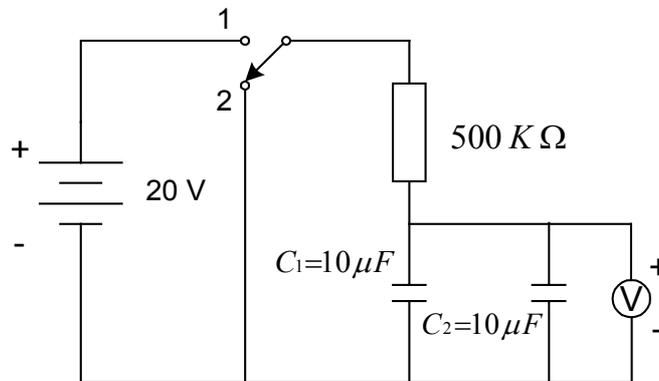


Fig. TP3-5

- Répéter les étapes 1 à 6 pour le nouveau circuit. Compléter le tableau et tracer les courbes sur la fig. TP3-6.

t (s)	Charge	Décharge
	E (volts)	E (volts)
10		
20		
30		
40		
50		
60		

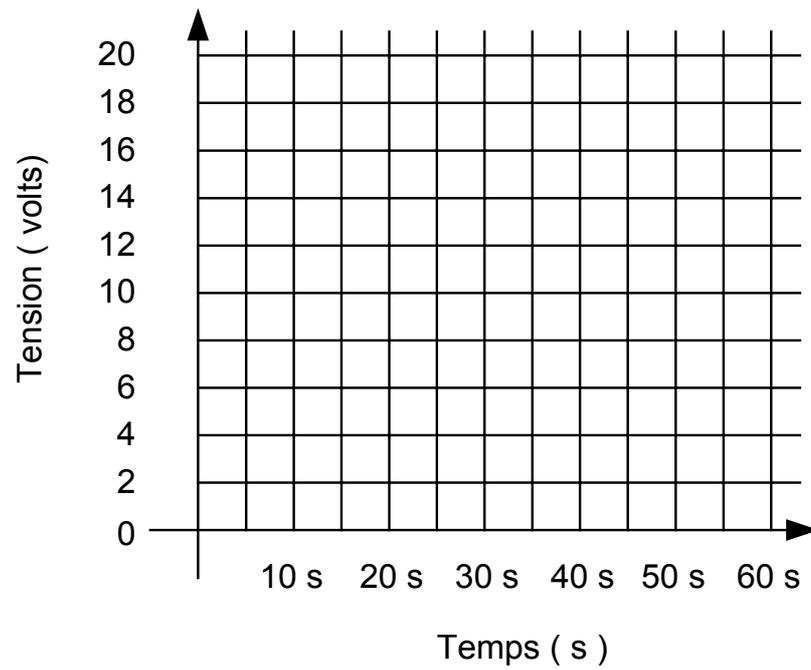


Fig. TP3-6

TP4 – Simplification des circuits

4.1. Objectif visé

Simplifier les circuits série et parallèle.

4.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 5 heures.

4.3. Equipements et matière d'œuvre par équipe

a) *Equipement :*

- source de tension de 24 V à C.C. ;
- multimètre.

b) *Matière d'œuvre :*

- résistances de valeurs variées ;
- conducteurs de raccordements.

4.4. Description du TP

Le stagiaire doit effectuer un travail pratique reposant sur l'étude et la simplification des circuits série et parallèle.

Le travail pratique s'effectue par groupe de deux stagiaires. Les valeurs des résistances utilisées seront différentes pour chaque groupe de stagiaires. Bien que pour le groupe de travail les relevés soient communs, les calculs et les traitements des relevés doivent être effectués individuellement par chaque stagiaire.

4.5. Déroulement du TP

Au cours de ce travail pratique les stagiaires doivent réaliser successivement le branchement d'un circuit série et ensuite d'un circuit parallèle et la mesure du courant, de la tension et de la résistance à l'aide d'un multimètre.

A. Circuits série

Variante 1

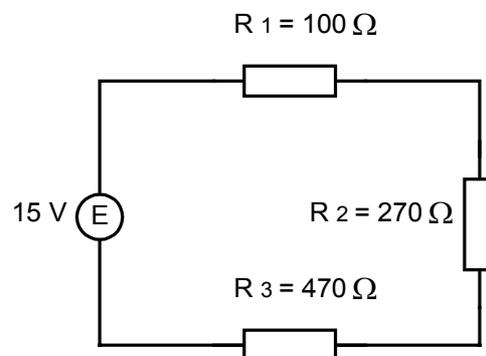


Fig. TP4-1

- Calculer les paramètres suivants pour chaque élément du circuit présenté sur la fig. TP4-1 :
 - la résistance équivalente ;
 - le courant ;
 - la tension ;
 - la puissance.
- Inscrire les résultats dans la colonne «valeurs théoriques » du tableau des résultats ;
- Monter le circuit de la figure sans le brancher sur la source.
- Mesurer la résistance équivalente. Noter le résultat dans la colonne «Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Brancher le circuit aux bornes de la source et régler la tension à une valeur de 15 V.

	Valeurs théoriques	Valeurs pratiques	% d'erreur
E	15 V	15 V	
I			
R ₁	100 Ω		
R ₂	270 Ω		
R ₃	470 Ω		
R _{eq}			
U ₁			
U ₂			
U ₃			

- Mesurer le courant et inscrire la valeur dans la colonne «Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Mesurer les tensions U₁, U₂ et U₃. Noter les résultats dans la colonne «Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Calculer le pourcentage d'erreur entre les valeurs théoriques et pratiques et noter les résultats dans la colonne «% d'erreur» du tableau des résultats.
- Court-circuiter la résistance R₂. Calculer la nouvelle valeur du courant dans le circuit. Mesurer le courant et la tension aux bornes de la résistance dans ces conditions.

Valeur calculée : I =

Valeur mesurée : I =

Valeur mesurée : U₂ =

- Débrancher les deux fils aux bornes de la résistance R₃. Mesurer le courant circulant dans le circuit. Mesurer la tension aux extrémités des fils débranchés.

I =

E =

Variante 2

- Monter le circuit de la fig. TP4-2.

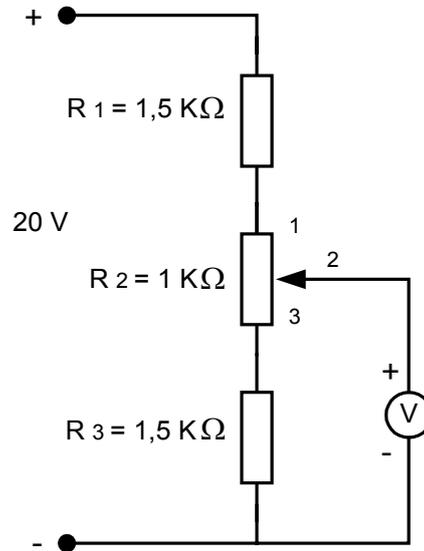


Fig. TP4-2

- Calculer les tensions aux bornes de chaque résistance.

$$U_1 =$$

$$U_2 =$$

$$U_3 =$$

- Régler la source de tension à 20 V et varier le potentiomètre pour obtenir les tensions minimale et maximale.

B. Circuits parallèles

Variante 1

- Calculer pour le circuit présenté sur la fig. TP4-3 les paramètres suivants :
 - la résistance équivalente;

- le courant total;
- les courants dans chaque branche du circuit ;
- la puissance consommée par chaque élément du circuit.

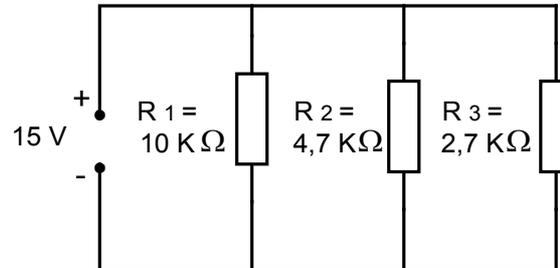


Fig. TP4-3

- Inscire les résultats dans la colonne «Valeurs théoriques » du tableau des résultats.

	Valeurs théoriques	Valeurs pratiques	% d'erreur
E	15 V		
R_1	10 k Ω		
R_2	4,7 k Ω		
R_3	2,7 k Ω		
R_{eq}			
I_1			
I_2			
I_3			
I_t			

- Monter le circuit de la fig. TP4-3 sans brancher la source.
- Mesurer la résistance équivalente. Noter le résultat dans la colonne «Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Brancher le circuit aux bornes de la source et régler la tension de la source à une valeur de 15 V.

- Mesurer le courant total fourni par la source et inscrire la valeur dans la colonne «Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Mesurer les courants dans chaque branche : I_1 , I_2 et I_3 . Noter les résultats dans la colonne «Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Calculer le pourcentage d'erreur entre les valeurs théoriques et les valeurs pratiques et noter les résultats dans la colonne «% d'erreur » du tableau des résultats.
- Débrancher la résistance R_2 et mesurer le courant fourni par la source.

$I =$

Variante 2

- Monter le circuit de la fig. TP4-4.

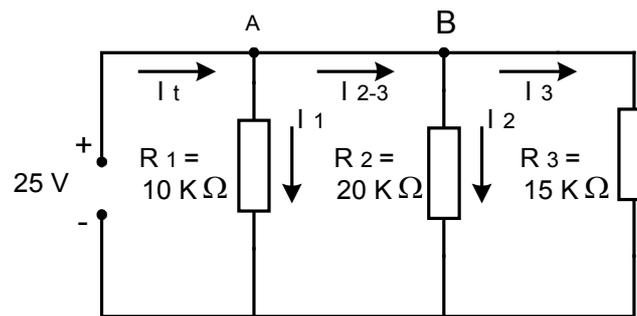


Fig. TP4-4

- Régler la source de tension à 25V.
- Mesurer les courants d'entrée et de sortie au point A.

$I_t =$

$I_1 =$

$I_{2-3} =$

- Mesurer les courants d'entrée et de sortie du point B.

$I_{2-3} =$

$I_2 =$

$I_3 =$

- Faire la somme algébrique des courants aux points A et B.

TP5 – Vérification de l'état des composants

5.1. Objectif visé

Vérifier l'état de fonctionnement des résistances, des bobines et des condensateurs.

5.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 2 heures.

5.3. Equipements et matière d'œuvre par équipe

a) *Equipement :*

- multimètre;
- capacimètre ou multimètre avec fonction de capacimètre;

b) *Matière d'œuvre :*

- résistance de valeurs différentes ou boîte à résistances;
- potentiomètre;
- condensateurs de valeurs variées;
- inductances de dimensions différentes;
- conducteurs de raccordement.

5.4. Description du TP

Le stagiaire doit effectuer la vérification des composants de circuit à l'aide des appareils de mesure appropriés : l'ohmmètre pour la vérification des résistances et des bobines et le capacimètre pour celle des condensateurs.

Chaque stagiaire doit effectuer des vérifications de chacun des types de composant et manier correctement le multimètre et le capacimètre. Il doit ensuite consigner l'état du composant vérifié.

5.5. Déroulement du TP

Le stagiaire doit utiliser la fonction ohmmètre du multimètre électronique et interpréter les lectures effectuées sur cet appareil afin de vérifier l'état des résistances et des bobines. En suite il doit utiliser un capacimètre ou la fonction capacimètre d'un multimètre et vérifier des condensateurs et mesurer leur capacité.

A. Vérification des résistances

- Effectuer une vérification visuelle des résistances. Identifier la présence de traces de fumée, la rigidité défaillante des broches.
- Placer les résistances dans l'ordre croissant de leur valeur ohmique et leur assigner des numéros d'identification.
- Interpréter le code de couleurs de chaque résistance et inscrire les valeurs obtenues dans la colonne « Valeur décodée » dans le tableau de résultats (fig. TP5-1).
- Calculer les valeurs tolérées minimale et maximale pour chacune des résistances. Inscrire les résultats dans la colonne prévue à cet effet.
- Sélectionner la fonction ohmmètre du multimètre ;
- Régler les positions zéro et infini s'il y a le cas.
- Mesurer à l'aide du multimètre la valeur de chacune des résistances et noter les résultats dans la colonne « Valeur mesurée » du tableau de résultats.
- Calculer le pourcentage d'erreur (%erreur) entre la valeur théorique et celle mesurée. Noter le résultat dans la colonne prévue dans le tableau des résultats.

$$\% \text{ erreur} = (\text{valeur théorique} - \text{valeur mesurée}) \times 100 / \text{valeur mesurée}$$

N° de la résistance	Bande de couleurs				Valeur décodée		Valeur tolérée		Valeur mesurée	% erreur
	1ère	2ème	3ème	4ème	ohms	% toléré	Min	Max.		
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										
6.										
7.										
8.										
9.										
10.										

Fig. TP5-1

B. Vérification des inductances

- Effectuer une vérification visuelle de chaque bobine et identifier les éventuelles déformations ou noircissement des spires.
- Effectuer la mise à zéro de l'appareil.
- Sélectionner la fonction ohmmètre du multimètre ;
- Régler les positions zéro et infini s'il y a le cas.
- Mesurer à l'aide du multimètre la valeur de chacune des bobines et noter les résultats dans un tableau comme celui de la fig. TP5-2.
- Consigner l'état de chaque bobine vérifiée dans le même tableau.

N° de l'inductance	Valeur décodée		Valeur tolérée		Valeur mesurée	% erreur
	ohms	% toléré	Min	Max.		
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

Fig. TP5-2

C. Vérification des condensateurs

- Effectuer une vérification visuelle de chaque condensateur (l'état de ses broches, les traces de fumée, déformations mécaniques visibles).
- Assigner des numéros d'identification aux condensateurs.
- Interpréter le code de couleurs de chaque condensateur et inscrire les valeurs obtenues dans la colonne « valeur décodée » dans le tableau de résultats (fig. TP5-3).
- Calculer les valeurs tolérées minimale et maximale pour chacune des condensateurs. Inscrire les résultats dans la colonne prévue à cet effet.
- Effectuer la mise à zéro de l'appareil.
- Sélectionner la fonction capacimètre du multimètre ;
- Décharger le condensateur à vérifier.
- Mesurer à l'aide du multimètre électronique la valeur de chacun des condensateurs et noter les résultats dans la colonne « valeur mesurée » du tableau de résultats.
- Calculer le pourcentage d'erreur (% erreur) entre la valeur théorique et celle mesurée. Noter le résultat dans la colonne prévue dans le tableau des résultats.

$$\% \text{ erreur} = (\text{valeur théorique} - \text{valeur mesurée}) \times 100 / \text{valeur mesurée}.$$

N° de condensateur.	Bande de couleurs				Valeur décodée		Valeur tolérée		Valeur mesurée	% erreur
	1ère	2ème	3ème	4ème	ohms	% toléré	Min	Max.		
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										
6.										
7.										
8.										
9.										
10.										

Fig. TP5-3

TP6 – Application des lois de magnétisme

6.1. Objectif visé

Etudier l'application des lois du magnétisme dans un relais électromagnétique.

6.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 3 heures.

6.3. Equipements et matière d'œuvre par équipe

a) *Equipement :*

- source variable de tension à courant continu.
- multimètre;
- boussole;
- coffre à outils.

b) *Matière d'œuvre :*

- relais électromagnétique de courant continu 4-6 A ;
- interrupteur N.O. ;
- 2 lampes de 25 W avec douilles ;
- conducteurs de raccordement.

6.4. Description du TP

Le stagiaire doit effectuer un travail pratique reposant sur l'étude et l'utilisation d'un relais électromagnétique : identification des parties composantes, vérification de la polarité de la bobine, montage dans un circuit à basse tension.

Le TP sera effectué par groupes de deux stagiaires. Chaque stagiaire doit effectuer les calculs et les traitements des relevés individuellement.

6.5. Déroulement du TP

Le travail doit se dérouler en trois parties :

A. Identification des parties du relais

- Enlever avec attention et à l'aide d'un tournevis plat de dimension appropriée le couvercle sur le relais.
- Identifier visuellement chacune des parties du relais, énumérées ci-dessous. Cocher chacune des parties identifiées.
 - Bobine ;
 - Contact N.O. ;
 - Contact N.F. ;
 - Armature ;
 - Ressort de rappel.
- Actionner manuellement le relais en prenant soin de vérifier le déplacement des contacts.
- Noter le numéro de chacune des connexions en faisant appel au schéma sur le boîtier du relais ;
- Replacer le couvercle sur le relais.

B. Polarité d'une bobine. Tension d'appel et de relâchement

- Monter le circuit présenté sur la fig. TP6-1 :

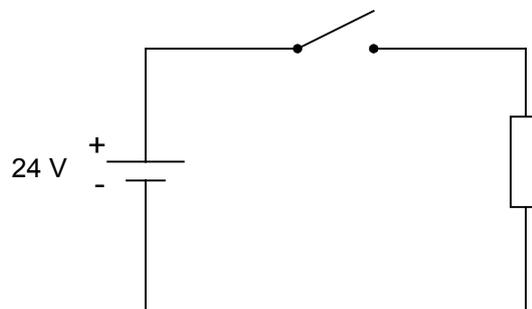


Fig. TP6-1

- Régler la source de tension à 24 V CC et fermer le circuit à l'aide de l'interrupteur.
- Approcher la boussole d'une extrémité de la bobine. L'un des pôles de l'aiguille sera attiré. Noter la polarité du pôle de la boussole attirée par l'électroaimant.
- Couper l'alimentation et inverser le branchement de la bobine
- Rétablir l'alimentation et noter de nouveau la polarité de l'aiguille qui est attiré par la même extrémité de la bobine.
- Couper l'alimentation.
- Brancher un voltmètre pour mesurer la tension de la source ;
- Régler la tension de la source à 24 V CC ;
- Actionner plusieurs fois l'interrupteur et surveiller le mouvement de l'armature ;
- Diminuer lentement la tension de la source jusqu'à ce qu'on entend l'armature du relais relâcher. Noter la tension de relâchement.
- Augmenter lentement la tension de la source jusqu'à ce que le relais fonctionne. Noter la tension d'appel.
- Couper l'alimentation et démonter le circuit.

C. Circuits d'essais

- Monter le circuit de la fig. TP6-2 ;

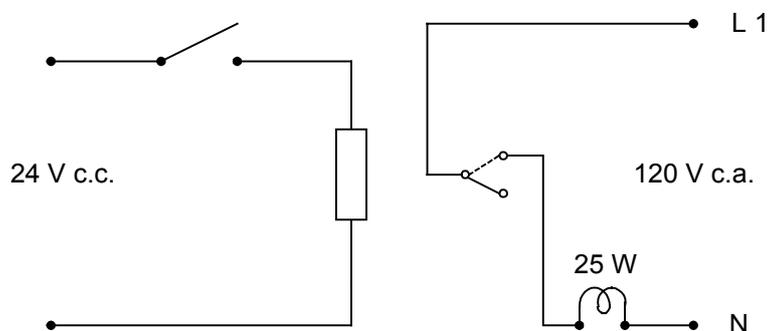


Fig. TP6-2

- Actionner quelques fois l'interrupteur ;

- Expliquer le fonctionnement du circuit ;
- Monter le circuit de la fig. TP6-3 :

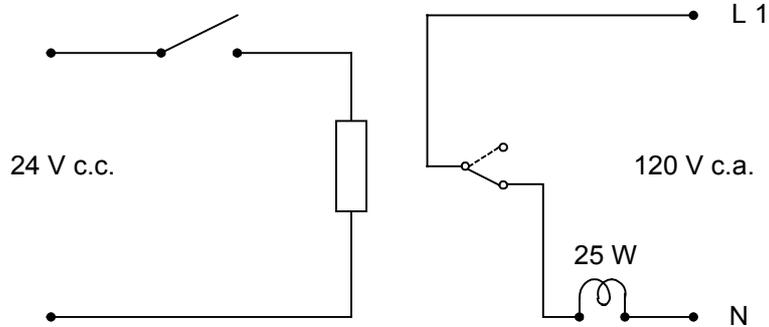


Fig. TP6-3

- Actionner quelques fois l'interrupteur ;
- Expliquer le fonctionnement du circuit ;
- Monter le circuit de la fig. TP6-4 ;

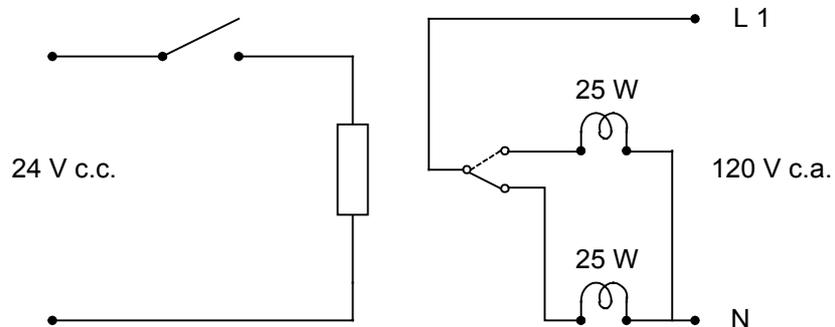


Fig. TP6-4

- Actionner quelques fois l'interrupteur ;
- Expliquer le fonctionnement du circuit.

TP 7 : Mesure des valeurs des grandeurs électriques aux différents points d'un circuit

7.1. Objectif visé

Analyser un circuit électrique CC en calculant et mesurant les valeurs des grandeurs électriques aux différents points.

7.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 5 heures.

7.3. Equipements et matière d'œuvre par équipe

a) *Equipement :*

- source variable de tension à CC ;
- multimètre.

b) *Matière d'œuvre :*

- résistances de valeurs variées (ou boîte de résistances) ;
- conducteurs de raccordements.

7.4. Description du TP

Le stagiaire doit effectuer un TP reposant sur la détermination des paramètres électriques d'un circuit électrique.

Le travail pratique s'effectue par groupe de deux stagiaires. Les valeurs des résistances utilisées seront différentes pour chaque groupe de stagiaires. Bien que pour le groupe de travail les relevées soient communes, les calculs et les traitements des relevées doivent être effectués individuellement par chaque stagiaire.

7.5. Déroulement du TP

Le travail doit se dérouler comme suit :

Variante 1

- Pour le circuit présenté sur la fig. TP7-1 calculer :
 - la résistance équivalente ;
 - les courants dans chaque branche ;
 - les chutes de tension aux bornes de chacune des résistances ;
 - la puissance absorbée par chacune des résistances.

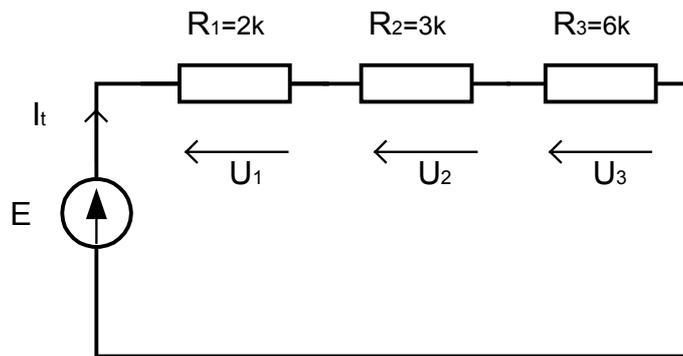


Fig. TP7-1

Inscrire les résultats dans la colonne « Valeurs théoriques » du tableau des résultats (fig. TP7-2).

- Monter le circuit présenté sans brancher la source.
- Mesurer la valeur de chacune des résistances et la résistance équivalente. Noter le résultat de la mesure dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Brancher la source et régler la tension d'alimentation à une valeur de 10 V.
- Mesurer le courant total fourni par la source et noter le résultat dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau des résultats.

	Valeurs théoriques	Valeurs pratiques	% d'erreur
E	10 V		
I _t			
I ₁			
I ₂			
I ₃			
V ₁			
V ₂			
V ₃			
R ₁	2 kΩ		
R ₂	3 kΩ		
R ₃	6 kΩ		
R _{eq}			
P ₁			
P ₂			
P ₃			
P _t			

Fig. TP7-2

- Mesurer les courants I₁, I₂ et I₃ et noter les résultats dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Mesurer les tensions V₁, V₂ et V₃ et noter les résultats dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Calculer le pourcentage d'erreur entre la valeur théorique et la valeur pratique. Inscrire les résultats dans la colonne « % d'erreur ».

$$\% \text{ d'erreur} = (\text{Valeur pratique} - \text{Valeur théorique}) / \text{Valeur théorique} \times 100$$

Variante 2

- Pour le circuit présenté sur la fig. TP7-3 calculer :
 - la résistance équivalente ;
 - la tension de la source ;

- le courant circulant dans chaque résistance ;
- la tension aux bornes de chacune des résistances ;
- la puissance absorbée par chacune des résistances.

Inscrire les résultats dans la colonne « Valeurs théoriques » du tableau des résultats (fig. TP7-4).

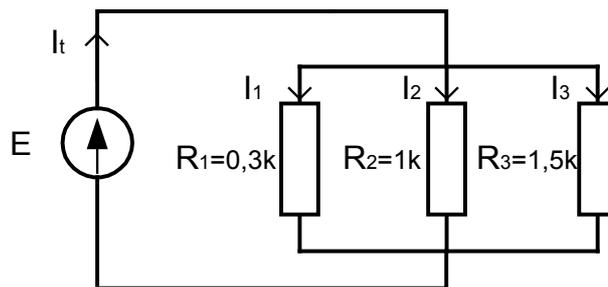


Fig. TP7-3

- Monter le circuit présenté sans brancher aux bornes de la source.
- Mesurer la valeur de chacune des résistances et la résistance équivalente. Inscrire les résultats de la mesure dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Brancher le circuit et régler la tension de la source pour obtenir un courant dans la résistance R_1 de valeur $I_1 = 50 \text{ mA}$. Mesurer la tension de la source et l'inscrire ainsi que la valeur du courant I_1 dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau de résultats.
- Mesurer les courants I_2 et I_3 et noter les valeurs dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
- Mesurer les tensions V_1 , V_2 et V_3 et inscrire les résultats, dans la colonne « Valeurs pratiques ».
- Calculer le pourcentage d'erreur entre la valeur théorique et la valeur pratique et noter les résultats dans la colonne « % erreur » du tableau des résultats.

	Valeurs théoriques	Valeurs pratiques	% d'erreur
E			
I_t			
I_1	50mA		
I_2			
I_3			
V_1			
V_2			
V_3			
R_1	0,3 k Ω		
R_2	1 k Ω		
R_3	1,5 k Ω		
R_{eq}			
P_1			
P_2			
P_3			
P_t			

Fig. TP7-4

TP8 – Mesure de la puissance dans un circuit à courant continu

8.1. Objectif visé

Mesurer la valeur de la puissance consommée par un récepteur en courant continu. Analyser les résultats en calculant la même grandeur à partir des mesures du courant et de la tension.

8.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 3 heures.

8.3. Equipements et matière d'œuvre par équipe

a) *Equipement :*

- source variable de tension à CC ;
- wattmètre électrodynamique.

b) *Matière d'œuvre :*

- résistances de valeurs variées ou boîte à résistances ;
- conducteurs de raccordements.

8.4. Description du TP

Le stagiaire doit brancher les instruments de mesure dans un circuit et mesurer la puissance consommée par un récepteur.

Le travail pratique s'effectue par groupe de deux stagiaires. Les valeurs des résistances utilisées seront différentes pour chaque groupe de stagiaires. Bien que pour le groupe de travail les relevées soient communes, les calculs et les traitements des relevées doivent être effectués individuellement par chaque stagiaire.

8.5. Déroulement du TP

Monter le circuit présenté sur la fig. TP8-1. Les bornes marquées du wattmètre doivent être reliées vers le pôle positif de la source d'alimentation.

Effectuer les étapes suivantes :

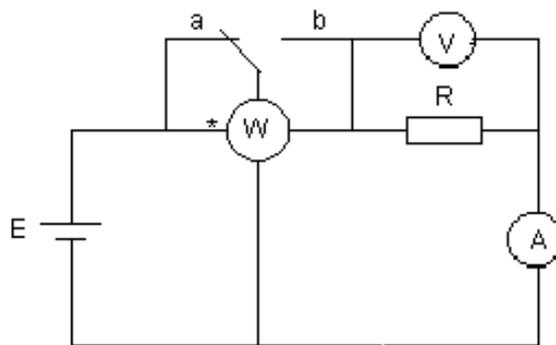


Fig. TP8-1

- Mettre à zéro les appareils en agissant sur le correcteur de zéro, s'il y a le cas.
- Choisir des calibres pour les appareils de mesure avant de brancher sous tension ou commencer par le plus grand calibre pour l'adapter après.
- Brancher le circuit et régler la tension d'alimentation à une valeur appropriée aux caractéristiques du récepteur.
- Mesurer le courant et la tension dans le circuit en utilisant les calibres déterminés ou des calibres de plus en plus petits jusqu'à ce qu'on trouve les calibres qui assurent la mesure la plus exacte (ceci exige que l'indication des appareils soit au moins dans la deuxième partie de l'échelle). Incrire les résultats ainsi que les conditions de chaque mesure (calibre et échelle) dans le tableau des résultats (fig. TP8-2a et b).

- Placer le commutateur K en position a) ce qui correspond au schéma « amont » de branchement du wattmètre.
- Mesurer la puissance absorbée par la résistance en utilisant correctement les calibres du wattmètre. S'assurer que les calibres de courant et de tension utilisés sont supérieures à la valeur du courant et de la tension en consultant les indications de l'ampèremètre et du voltmètre (l'indication de l'aiguille dans la plage ne signifie pas forcément qu'un des calibres n'a pas été dépassé). Incrire les résultats ainsi que les conditions de chaque mesure (calibre de courant, calibre de tension et échelle) dans le tableau des résultats (fig. TP8-3).
- Placer le commutateur K en position b) ce qui correspond au schéma « aval » de branchement du wattmètre et reprendre le point 6 de l'exercice.

	I				
	C_I [A]	E_I [div.]	$K_I = C_I / E_I$ [A/div.]	L [div.]	$I = K_I \times L$
a					
b					

a)

	U				
	C_U [V]	E_U [div.]	$K_U = C_U / E_U$ [V/div.]	L [div.]	$U = K_U \times L$ [V]
a					
b					

b)

Fig. TP8-2

	P					
	C_I [A]	C_U [V]	E [div.]	$K_W = C_I C_U / E$ [W/div.]	L [div.]	$P = K_W \times L$ [W]
a						
b						

Fig. TP8-3

TP9 – Erreurs de mesure dans un circuit à courant continu

9.1. Objectif visé

Distinguer les sources possibles d'erreurs de mesure. Calculer l'erreur de mesure due à la classe de précision des appareils.

9.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 3 heures.

9.3. Equipements et matière d'œuvre par équipe :

a) *Equipement :*

- source variable de tension à CC ;
- ampèremètre à CC;
- voltmètre à CC;
- multimètre.

b) *Matière d'œuvre :*

- résistances de valeurs variées ou boîte à résistances ;
- conducteurs de raccordements.

9.4. Description du TP

Le stagiaire doit réaliser un montage contenant plusieurs résistances, calculer les courants dans chaque branche et les tensions aux bornes des résistances. En suite mesurer les courants et les tensions, calculer et évaluer les erreurs de mesure.

Le travail pratique s'effectue par groupe de deux stagiaires. Les valeurs des résistances utilisées seront différentes pour chaque groupe de stagiaires. Bien que pour le groupe de travail les relevées soient communes, les calculs et les

traitements des relevées doivent être effectués individuellement par chaque stagiaire.

9.5. Déroulement du TP

- Résoudre le circuit de la fig. TP9-1 et compléter le tableau des résultats (fig. TP9-2) avec les valeurs calculées.

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega ; R_2 = 1 \text{ k}\Omega ; R_3 = R_4 = 2 \text{ k}\Omega ; U = 12 \text{ V}$$

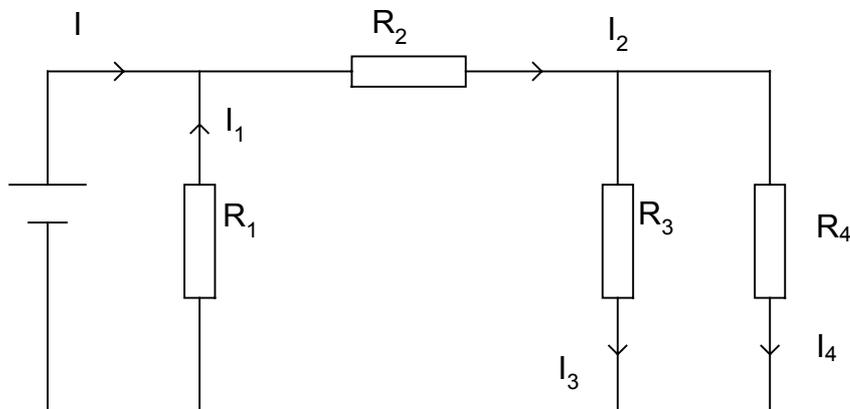


Fig. TP9-1

I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_3 [mA]	I_4 [mA]	I [mA]

U_1 [V]	U_2 [V]	U_3 [V]	U_4 [V]	U [V]

Fig. TP9-2

- Réaliser le montage.
- Mesurer le courant dans chaque résistance en utilisant 2 calibres différents pour chaque mesure.
- Mesurer la tension de la source et les tensions aux bornes de chacune des résistances.

- Compléter les tableaux des relevés (fig. TP9-3).

I					
N°	C[mA]	E[div.]	$K=C/E$ [mA/div.]	L[div.]	$I=K \times L$ [mA]
1					
2					
I1					
N°	C[mA]	E[div.]	$K=C/E$ [mA/div.]	L[div.]	$I=K \times L$ [mA]
1					
2					
I2					
N°	C[mA]	E[div.]	$K=C/E$ [mA/div.]	L[div.]	$I=K \times L$ [mA]
1					
2					
I3					
N°	C[mA]	E[div.]	$K=C/E$ [mA/div.]	L[div.]	$I=K \times L$ [mA]
1					
2					
I4					
N°	C[mA]	E[div.]	$K=C/E$ [mA/div.]	L[div.]	$I=K \times L$ [mA]
1					
2					

U					
N°	C[V]	E[div.]	$K=C/E$ [V/div.]	L[div.]	$U=K \times L$ [V]
1					
2					
U1					
N°	C[V]	E[div.]	$K=C/E$ [V/div.]	L[div.]	$U1=K \times L$ [V]
1					
2					
U2					
N°	C[V]	E[div.]	$K=C/E$ [V/div.]	L[div.]	$U2=K \times L$ [V]
1					
2					
U3					
N°	C[V]	E[div.]	$K=C/E$ [V/div.]	L[div.]	$U3=K \times L$ [V]
1					
2					
U4					
N°	C[V]	E[div.]	$K=C/E$ [V/div.]	L[div.]	$U4=K \times L$ [V]
1					
2					

Fig. TP9-3

- Pour chaque mesure effectuée calculer l'erreur absolue et relative et identifier laquelle des deux mesures effectuées pour chaque courant a été meilleure. Expliquer.

Utiliser les formules suivantes :

$$\varepsilon = X_m - X_0$$

- où : ε - l'erreur absolue
 X_m - la valeur mesurée de la grandeur
 X_0 - la valeur calculée

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon \times 100}{X_0} = \frac{X_m - X_0}{X_0} \times 100 [\%]$$

- où : ε_r - l'erreur relative
 X_m - la valeur mesurée de la grandeur
 X_0 - la valeur calculée

Et encore :

$$\varepsilon' = \text{classe de précision} \times \text{calibre} / 100$$

$$\varepsilon'_r = \varepsilon \cdot 100 / \text{valeur mesurée}$$

Compléter le tableau :

I	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				
I₁	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				
I₂	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				
I₃	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				
I₄	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				

U	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				
U₁	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				
U₂	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				
U₃	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				
U₄	ε	ε_r	ε'	ε'_r
1				
2				

TP10 – Définition de la résistance interne d'une source à courant continu

10.1. Objectif visé

Définir la résistance interne d'une source à courant continu afin de résoudre les circuits en tenant compte de toutes les caractéristiques.

10.2. Durée du TP

Le travail pratique proposé est d'une durée de 2 heures.

10.3. Equipements et matière d'œuvre par équipe

a) *Equipement :*

- 2 sources de CC : $E_1 = 1,5 \text{ V}$; $E_2 = 9 \text{ V}$;
- multimètre.

b) *Matière d'œuvre :*

- 2 résistances de valeurs calibrées : $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$;
- conducteurs de raccordement.

10.4. Description du TP

Le stagiaire doit effectuer un TP portant sur la détermination de la résistance interne et la f.é.m. d'une source à courant continu suite aux mesures du courant dans un circuit simple qu'il doit réaliser.

Le travail pratique s'effectue par groupe de deux stagiaires. Les valeurs des résistances utilisées seront différentes pour chaque groupe de stagiaires. Bien que pour le groupe de travail les relevées soient communes, les calculs et les traitements des relevées doivent être effectués individuellement par chaque stagiaire.

10.5. Déroulement du TP

A. Mesure à l'aide de résistances différentes

- Réaliser le circuit simple donné sur la fig. TP10-1.

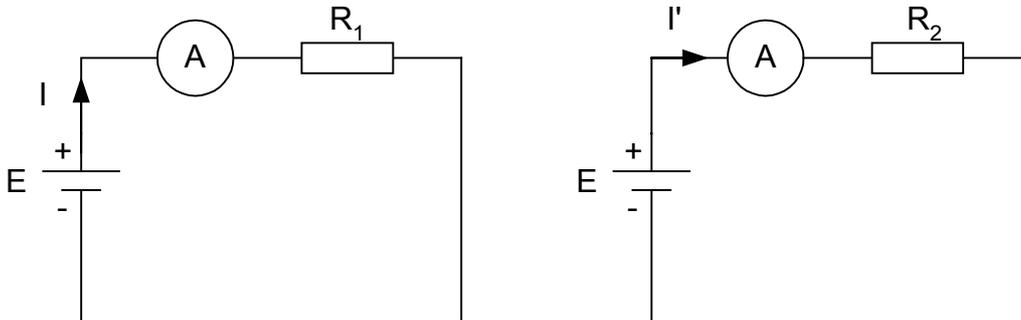


Fig. TP10-1

- Mesurer le courant dans les deux circuits à tour de rôle pour les 2 sources et compléter le tableau avec les relevées de mesure de courant.

	I	I'	$r = \frac{I'R_2 - IR_1}{I - I'}$	$E = \frac{II'(R_1 + R_2)}{I - I'}$
1 ^{er} source				
2 ^{ème} source				

- Le calcul de la résistance interne et de la f.é.m. (supposée différente de celle indiquée suite à son utilisation) est présenté ci-dessous :

$$\left. \begin{array}{l} E = IR_1 + Ir \\ E = I'R_2 - I'r \end{array} \right\} IR_1 + Ir = I'R_2 + I'r \rightarrow r(I - I') = I'R_2 - IR_1$$

$$r = \frac{I'R_2 - IR_1}{I - I'}$$

et $E = IR_1 + \frac{I(I'R_2 - IR_1)}{I - I'}$

$$E = \frac{I^2 R_1 + I I' R_1 + I I' R_2 - I'^2 R_1}{I - I'}$$

$$E = \frac{I I' (R_1 + R_2)}{I - I'}$$

- Compléter le tableau de relevées avec les valeurs calculées pour la résistance interne et la f.é.m. calculées pour chaque source.

B. Mesure à l'aide de deux sources

- Réaliser les circuits sur la fig. TP10-2.

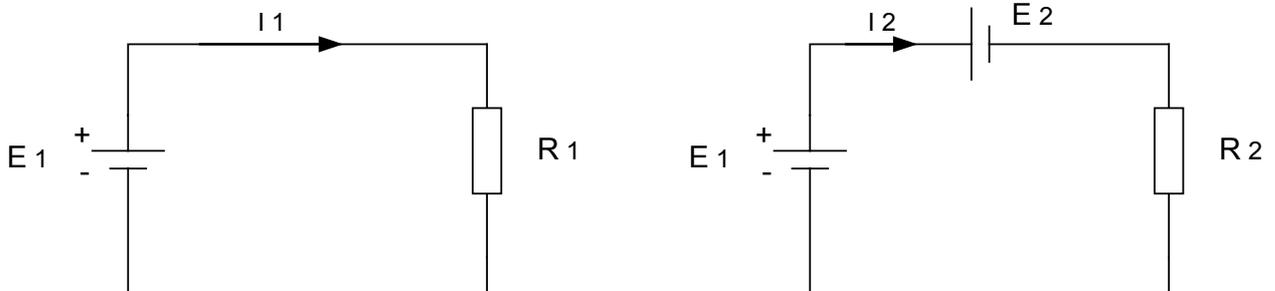


Fig. TP10-2

- Vérifier par calcul et ensuite par mesure qu'on peut accroître le courant dans un circuit par ajout d'une source supplémentaire, le courant de court-circuit de cette dernière, doit être supérieure au courant dans le circuit initial.

Attention : Le courant de court-circuit d'une source est le rapport entre sa f.é.m. et sa résistance interne.

- Faire les mesures et compléter le tableau.

I_1	I_2	$I_{sc2} = \frac{E_2}{r_2}$

- Vérifier si $I_{sc2} > I_1$, $I_2 > I_1$ et $I_{sc2} < I_1$, $I_2 < I_1$

***Module 5 : ANALYSE DE CIRCUITS A
COURANT CONTINU
EVALUATION DE FIN DE MODULE***

O.F.P.P.T.
EFP

MODULE 5 : ANALYSE DE CIRCUITS A COURANT CONTINU

FICHE DE TRAVAIL

Stagiaire : _____ Code : _____
Formateur : _____

Durée : 2 heures

(Exemple)

1. Pour le circuit présenté sur la fig.1 calculer :
 - la résistance équivalente ;
 - les courants dans chaque branche ;
 - les chutes de tension aux bornes de chacune des résistances ;
 - les puissances absorbées par chacune des résistances.

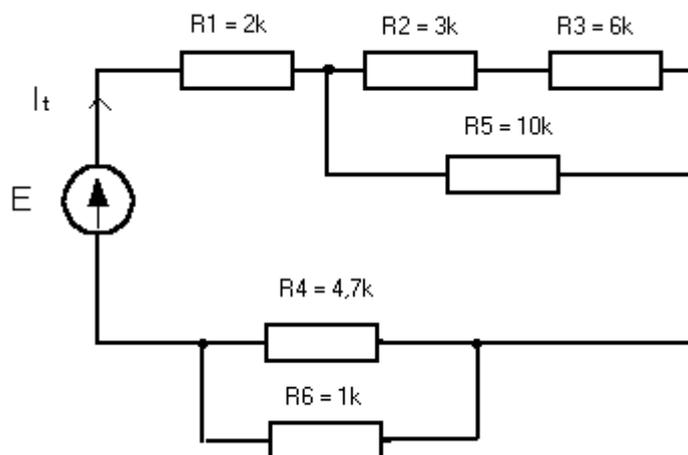


Fig. 1

Inscrire les résultats dans la colonne « Valeurs théoriques » du tableau des résultats.

2. Décrire la valeur de chacune des résistances avec le code de couleurs.
3. Mesurer la valeur de chacune des résistances et inscrire le résultat dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau.
4. Monter le circuit présenté sans brancher la source.
5. Mesurer la résistance équivalente. Noter le résultat de la mesure dans la colonne « Valeurs pratiques » du tableau des résultats.
6. Brancher le circuit et régler la tension d'alimentation de la source à une valeur de 10 V.
7. Mesurer le courant total fourni par la source et noter le résultat dans le tableau de résultat, dans la colonne « Valeurs pratiques ».
8. Mesurer les courants I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 et I_6 et noter les résultats dans le tableau des résultats, dans la colonne « Valeurs pratiques ».

Tableau des résultats

	Valeurs théoriques	Valeurs pratiques	% d'erreur
E	10 V		
I_t			
I_1			
I_2			
I_3			
I_4			
I_5			
I_6			
V_1			
V_2			
V_3			

V ₄			
V ₅			
V ₆			
R _{eq}			
R ₁	2 kΩ		
R ₂	3 kΩ		
R ₃	6 kΩ		
R ₄	4,7 kΩ		
R ₅	10 kΩ		
R ₆	1 kΩ		

9. Mesurer les chutes de tension V_1 , V_2 et V_3 et noter vos résultats dans le tableau des résultats, dans la colonne « Valeurs pratiques ».

10. Calculer le pourcentage d'erreur entre les valeurs théoriques et pratiques. Inscrire les résultats dans la colonne « % d'erreur ».

$$\% \text{ erreur} = (\text{Valeur pratique} - \text{Valeur théorique}) / \text{Valeur théorique} \times 100$$

NOTE IMPORTANTE !

Les sujets proposés pour l'évaluation en théorie et en pratique ne sont pas obligatoires. Ils représentent juste le niveau d'exigences pour le bon déroulement des épreuves.

Chaque formateur doit préparer ses sujets conformément aux présentés ci-dessus.

Liste des références bibliographiques

Ouvrage	Auteur	Edition
Mesures et essais d'électricité	Dupart B. Le Gall A. Prêt R. Floc'h J.	Dunod, 1997
Lois générales de l'Electricité	F. Lucas P. Charruault	Delagrave, 1987
Electricité – sécurité et raccordements	Christian PESSY LES COURS - Caen	Marabout / Hachette Livre, 2001
Les Installations électriques	Frayse R. Deprez A.M.	Edition Casteilla, 1985
MEMOTECH – Equipements et installations électriques	René BOURGEOIS Denis COGNIEL Bernard LEHALLE	Edition Casteilla, 2002
Technologie d'Electricité	Henri NEY	Nathan, 1996
Technologie d'Electricité	R. Pustelnik, B. Deriquehem	Dunod, 1989