



ÉLECTRICITÉ

OBJECTIF PÉDAGOGIQUE

A la fin de cette matière, vous serez capable d'appliquer les lois de l'électricité et d'utiliser les appareils de mesure et de test du signal.

SOMMAIRE

LEÇON N°01 : LE PHÉNOMÈNE D'ÉLECTRICITÉ

LEÇON N°02 : LES APPAREILS DE TEST ET DE MESURE

LEÇON N°03 : LES LOIS DE L'ELECTRICITÉ

LEÇON N°01 : LE PHÉNOMÈNE D'ÉLECTRICITÉ

OBJECTIF PÉDAGOGIQUE

À la fin de cette série, le stagiaire doit être capable d'écrire un programme algorithmique.

PLAN DE LA LEÇON :

I- LE PHÉNOMÈNE D'ÉLECTRICITÉ

- 1- Existence du phénomène
- 2- Électrostatique par frottant
- 3- Électrostatique par contact
- 4- Électrostatique par influence

I- LE PHÉNOMÈNE D'ÉLECTRICITÉ :

1- Existence du phénomène :

L'électricité n'est pas une découverte moderne. Elle est connue depuis les Grecs ! L'ambre jaune (résine fossilisée) fût l'un des éléments qui nous a permis cette découverte. En effet, on observait qu'en frottant une baguette d'ambre avec une peau de chat, on pouvait attirer spontanément des poussières ou des petits copeaux de sureau. On observait le même phénomène avec une baguette de verre.

Inventeur entre autres du paratonnerre, **Benjamin FRANKLIN** fît d'autres expériences et parla d'électricité positive et négative. Ses travaux furent variés et servirent de base aux futurs chercheurs.

De nombreux progrès furent possibles grâce à des hommes comme Alessandro Volta, André-Marie Ampère, Michael Faraday...

- Électrisation :

Prenons un bâton de résine (ambre jaune = élektron en grec) et frottons le avec un morceau de laine ; le bâton acquiert la propriété d'attirer les corps légers comme les confétis de papier ou des petites sphères de moelle de sureau. On dit que le bâton de résine s'est électrisé, il y a électrisation de la résine (figure 1).

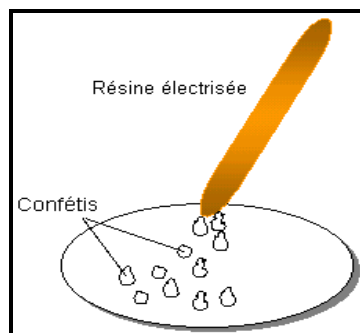


Figure 1

2- Électrisation par frottement :

Répetons l'expérience avec un bâton de cuivre tenu à la main, nous n'observons plus aucune action sur les corps légers.

Si nous prenons la précaution de tenir le morceau de cuivre par un manche de verre, l'électrisation apparaît.

- Explication :

D'une façon générale, tous les corps peuvent s'électriser par frottement, mais il faut les classer en deux groupes :

- Ceux qui se comportent comme la résine dont la charge électrique reste localisée sur la partie du corps frotté. Ce groupe contient tous les corps que nous appelons les isolants ; résine, verre, ébonite, soufre...

- Ceux qui se comportent comme le cuivre dont la charge électrique se déplace le long du corps frotté. Dans ce cas cette charge a circulé le long du bâton de cuivre, a traversé le corps de l'expérimentateur et est retournée à la terre.

L'électrisation n'apparaît que s'ils sont tenus par un manche isolant; ce groupe contient tous les corps que nous appelons les conducteurs : métaux, graphite...

Quand un corps n'est pas électrisé, il est dit à l'état neutre.

3- Électrisation par contact :

Nous suspendons une petite balle de moelle de sureau à un fil de soie. Approchons un bâton de verre électrisé de la balle de sureau et observons :

- La balle de sureau est attirée (figure 2a).

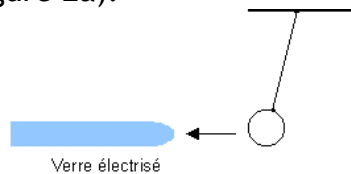


Figure 2a

- Elle vient en contact avec le bâton de verre (figure 2b)

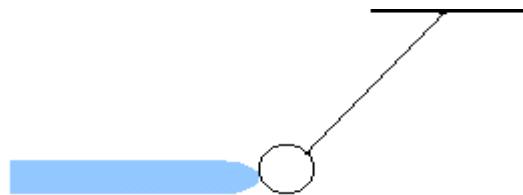


Figure 2b

- Elle est ensuite repoussée par ce même bâton (figure 2c).

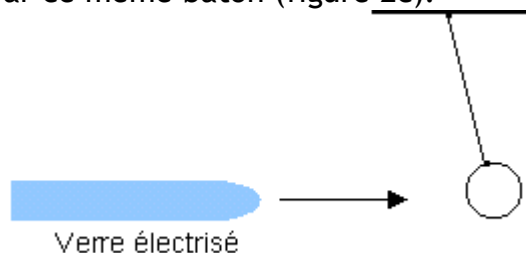


Figure 2c

Approchons maintenant un bâton de résine électrisé :

- La balle de sureau est attirée (figure 2d).

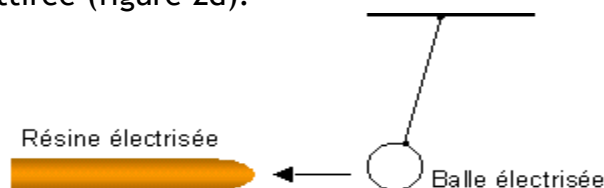


Figure 2d

- Explication :

La balle de sureau était à l'état neutre au départ de l'expérience. Elle s'est électrisée au contact du bâton de verre et à acquit une charge électrique. Il y a électrisation par contact. Le bâton de verre et la balle étant maintenant de même charge électrique, ils se repoussent. On dit qu'ils sont de même signe.

A l'approche du bâton de résine la balle de sureau est attirée parce qu'elle est de charge électrique différente du bâton de résine. On dit qu'ils sont de signes contraires.

Conclusion:

Il y a deux espèces d'électricité :

- l'une semblable à celle produite sur le verre est appelée positive (+).
- l'autre semblable à celle produite sur la résine est appelée négative (-).
- Les charges de mêmes signes se repoussent.
- Les charges de signes contraires s'attirent.

4- Électrisation par influence :

Approchons un isolant d'un corps chargé positivement. Les charges positives en excès du corps chargé positivement vont attirer les électrons de l'isolant qui vont se concentrer sur la partie la plus proche du corps (figure 3a).

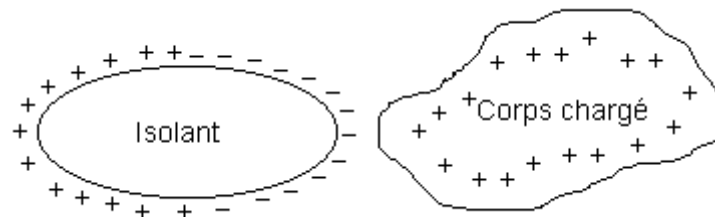


Figure 3a

Il y a électrisation

LEÇON N°02 : LES APPAREILS DE TEST ET DE MESURE

OBJECTIF PÉDAGOGIQUE

À la fin de ce cours vous serez capable d'identifier les appareils de test et de mesure.

PLAN DE LA LEÇON :

INTRODUCTION

I- LES APPAREILS DE TEST ET DE MESURE

1- Appareil de mesure

2- Appareil de test : Testeur de câbles

INTRODUCTION :

L'utilisation des multimètres modernes est de plus en plus simplifier et sécuriser, mais l'électricité étant toujours dangereuse, quelque notion et précautions d'emploi s'imposent.

Nous allons donc d'écrire avec le plus de précision possible les procédures à appliquer pour utiliser ces appareils de mesure.

I- LES APPAREILS DE TEST ET DE MESURE :

1- Appareil de mesure :

a-Multimètre : Le millimètre un outil indispensable

Équipés d'un générateur de courant stable et précis, les milli ohmmètres mesurent les résistances électriques faibles de continuité des matériaux, composants, sous ensembles et produits finis.

Il existe une grande variété de modèles de multimètres, avec des caractéristiques et des performances très diverses.

On trouve des appareils dits "de poche" ou "de poing" (*Pocket* ou *handheld*, en anglais), c'est-à-dire portatifs, et des appareils "de table" (*benchmeters* ou *benchtop multimètres*, en anglais), plus volumineux, souvent plus précis, et destinés à rester au laboratoire ou à poste fixe.



Un multimètre numérique (DMM) de laboratoire :

Les multimètres sont analogiques (à aiguille) ou numériques (affichage à cristaux liquides), quelques modèles combinant les deux types d'affichage. Le multimètre numérique (DMM, pour Digital Multi Meter) est désormais le modèle le plus répandu, tant pour un usage professionnel que "grand public".



Un multimètre à double affichage, analogique et numérique, à gauche, et un modèle numérique "milieu de gamme", à droite. Le multimètre demeure un outil **indispensable**, même pour l'amateur. Si vous n'en possédez pas, n'hésitez pas à en faire l'acquisition! On trouve sur le marché des modèles économiques, aux performances très suffisantes.

▪ Mode d'utilisation :

Avant toute mesure, pensez "**SÉCURITÉ**"!

La première chose à faire lorsque l'on acquiert un multimètre, comme du reste beaucoup d'autres appareils, c'est de lire attentivement la notice! "Notice", "Mode d'emploi", "Guide de l'utilisateur", peu importe l'intitulé, lisez ce document fourni avec l'appareil!

Cette notice (en français, comme l'exige la loi...)

Les limites de sécurité de l'appareil y sont en effet indiquées (tension maximale en entrée, courant maximal, durée de la mesure...) et il est important de les connaître avant toute utilisation.

Gardez à l'esprit que l'opération consistant à relever une mesure de tension ou d'intensité peut présenter un réel danger pour l'utilisateur, ou provoquer la destruction de l'appareil! Aussi, respectez scrupuleusement les recommandations du fabricant et prenez bien soin de n'utiliser votre multimètre que dans les conditions prévues.

Tout montage raccordé au secteur implique de prendre les plus grandes précautions.

Évitez alors de travailler seul. En cas de doute sur vos compétences ou sur l'isolation de l'appareil de mesure même hors tension, on ne doit prendre aucune mesure sur un montage avant d'avoir déchargé tous les condensateurs!

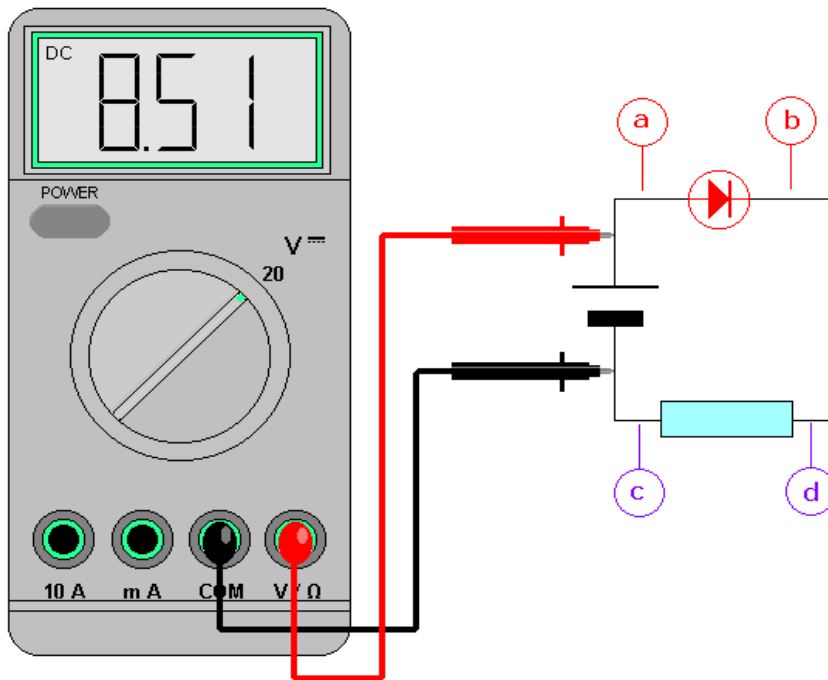
Un courant, même faible, peut entraîner la dissipation d'une puissance importante dans certains composants et les rendre brûlants. La mise en court-circuit d'une simple pile de 9 V peut elle aussi provoquer une dangereuse élévation de température.

Avec le multimètre comme avec le fer à souder, soyez toujours prudents.

Mesurer une tension :

- Le point important est le suivant : Une tension se mesure toujours en parallèle avec le circuit ;
- Si par exemple on souhaite mesurer la tension aux bornes d'un récepteur, on branche les pointes de touche en parallèle sur ce récepteur, la pointe "noire" du côté du point de référence. En cas d'erreur de polarité, si les pointes ont été interverties, un multimètre numérique affichera une valeur négative ;
- Pour mesurer une tension, on branche le multimètre en parallèle avec le circuit, la pointe de touche noire (COM) étant connectée au potentiel de référence ;
- À l'aide du rotacteur central, on sélectionne la fonction VOLT (mesure d'une tension continue), et le calibre approprié, ici 20 V ;
- Dans l'exemple, si par contre, on mesure une tension de 8,51 V aux bornes de la pile (On lirait 8,68 V en circuit ouvert). Si on place les pointes de touche aux points notés **a** et **b**, en respectant la polarité, on obtient une mesure de 1,64 V, correspondant à la tension de seuil delà DEL rouge. Entre les points **c** et **d**, aux bornes de la résistance, la tension lue est

de 6,85 V. La différence de 0,02 V ($1,64 + 6,85 = 8,49$) est due à la précision de l'appareil sur ce calibre (plus ou moins 0,08% selon la notice du fabricant).



Mesurer une intensité :

Mesurer directement une intensité demeure une opération souvent difficile, parfois même impossible, car une intensité, à la différence d'une tension, se mesure toujours en série avec le circuit.

Si par exemple on souhaite mesurer l'intensité du courant qui traverse une résistance, on doit d'abord interrompre la branche du circuit où se trouve cette résistance, c'est à dire la couper, puis on connecte les pointes de touche entre ces deux points, donc en série avec la résistance.

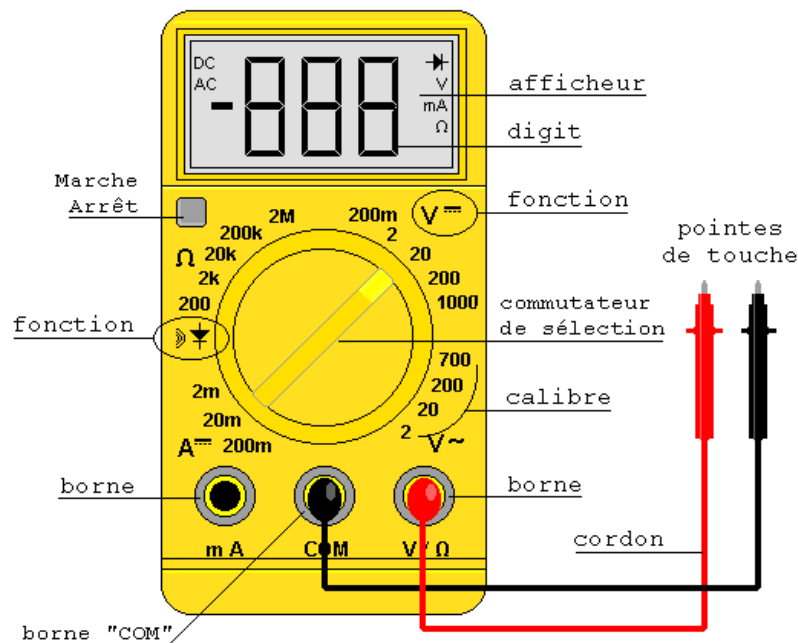
On voit bien que la mesure du courant pose un problème délicat si, pour une raison ou une autre, il n'est pas possible de couper le circuit, Il existe heureusement une solution très simple, qui consiste à relever la tension aux bornes de la résistance. Connaissant la valeur de cette résistance, il ne reste plus qu'à appliquer la loi d'Ohm!

Deux petites remarques en passant :

- De ce qui a été dit plus haut, on peut déduire que la partie "voltmètre" du multimètre doit avoir une résistance aussi grande que possible, puisque la mesure est prise-en parallèle. À l'inverse, la partie "ampèremètre" doit présenter une résistance aussi petite que possible, puisque la mesure est prise en série. Il suffit, pour s'en convaincre, de calculer la résistance équivalente de deux résistances, l'une étant très grande devant l'autre, en parallèle et en série.
- La mesure d'une intensité doit toujours se faire rapidement, sous peine d'endommager le multimètre. La notion de durée de la mesure est ici très importante. Se reporter à la notice du constructeur pour le délai à ne pas dépasser.

▪ Caractéristique :

Voyons comment se présente un multimètre numérique (DMM). Il s'agit dans cet exemple d'un modèle très ordinaire :



On reconnaît sur l'illustration, de haut en bas :

- L'afficheur LCD ;
- Le commutateur rotatif de sélection de la fonction (voltmètre, ampèremètre, ohmmètre...) et du calibre (de 0 à 200 mV, de 200 mV à 2 V, de 2 V à 20 V, ...etc.) ;
- Les bornes de raccordement des cordons, qui sont généralement au nombre de trois ou quatre, dont une borne "COM" (commune) où on branchera le cordon relié à la masse ;
- Les cordons de mesure et les pointes de touche.

La plupart des appareils proposent aujourd'hui des fonctions supplémentaires (au minimum, le test de continuité). En ce qui concerne le raccordement des cordons de mesure et le choix de la sensibilité, on se reportera à la notice du constructeur. Si on ne dispose pas d'un modèle auto-range et si la valeur à mesurer est inconnue, on choisira toujours le calibre supérieur pour commencer.

b-Voltmètre :

Le voltmètre est l'appareil qui mesure la tension entre deux points, grandeur dont l'unité de mesure est le volt (V). Le choix du voltmètre dépend du type de tension que l'on doit mesurer.

Le premier voltmètre numérique a été conçu et construit par Andy Kay en 1953

Le voltmètre sera différent selon que l'on doit mesurer, une tension continue ou une tension alternative.

▪ Mode d'utilisation :

La mesure avec un voltmètre s'effectue en le branchant en parallèle sur la portion de circuit dont on désire connaître la différence de potentiel. Ainsi en théorie, pour que la présence de l'appareil ne modifie pas la répartition des potentiels et des courants au sein du circuit, aucun courant ne devrait circuler dans son capteur. Ce qui implique que la résistance interne dudit capteur soit infini, ou du moins soit la plus grande possible par rapport à la résistance du circuit à mesurer.

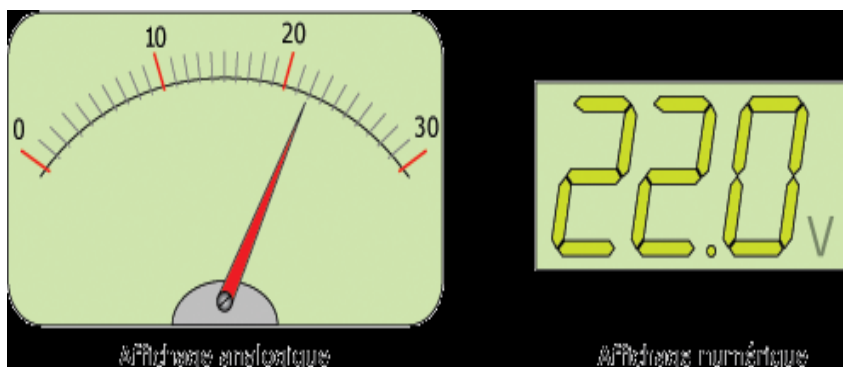
D'autres méthodes de mesure sont également utilisées, par exemple :

- Conversion analogique-numérique de la tension à mesurer, puis traitement entièrement numérique du calcul de la « racine carrée du carré moyen » ;
- Égalisation de l'effet thermique engendré par la tension variable et de celui engendré par une tension continue qui est ensuite mesurée.

▪ Caractéristiques :

Il existe deux types de lecture sur les voltmètres, comme sur tous les instruments de mesure d'ailleurs :

- **La lecture digitale** : Utilise un cadran à cristaux liquides (affichage numérique) ;
- **L'affichage analogique** : Indique la valeur de la tension par le déplacement d'une aiguille.

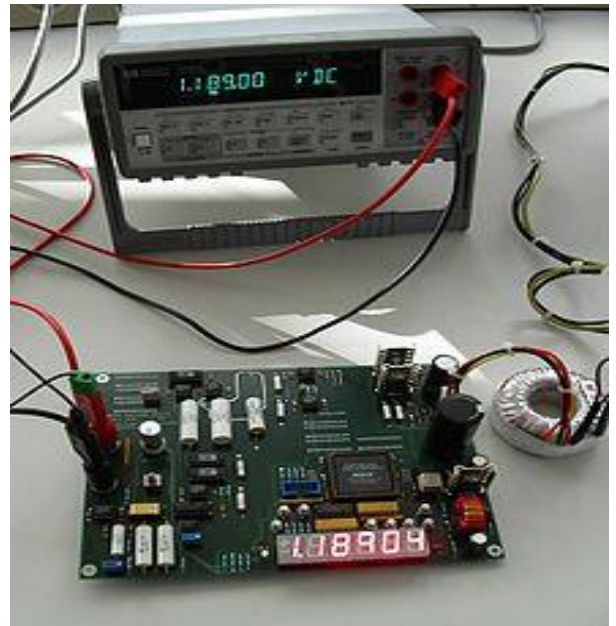


Affichage analogique

affichage numérique

La majorité des voltmètres possèdent plusieurs échelles de lecture, ce qui permet d'obtenir une lecture plus précise.

Il est préférable, lorsqu'on prend une lecture de tension, d'utiliser l'échelle la plus grande pour ensuite la ramener à l'échelle qui offre la lecture la plus précise.



▪ Voltmètres analogiques :

Ils sont en voie de disparition, bien qu'encore utilisés comme indicateurs rapides de l'ordre de grandeur ou de la variation de la tension mesurée. Ils sont généralement constitués d'un milliampèremètre en série avec une résistance élevée. Toutefois cette résistance, de l'ordre de quelques $k\Omega$, est nettement inférieure à la résistance interne des voltmètres numériques, habituellement égale à $10 M\Omega$. Pour cette raison, les voltmètres analogiques introduisent une perturbation plus importante dans les circuits dans lesquels ils sont introduits que les voltmètres numériques.

▪ Voltmètres magnétoélectriques :

Un voltmètre magnétoélectrique est constitué d'un galvanomètre, donc un milliampèremètre magnétoélectrique très sensible, en série avec une résistance additionnelle de valeur élevée.

On réalise un voltmètre à plusieurs calibres de mesure en changeant la valeur de la résistance additionnelle. Ils ont toutefois un certain nombre d'avantages : Ils ne nécessitent pas de pile pour fonctionner. Par ailleurs, à prix équivalent, leur bande passante est beaucoup plus large, autorisant ainsi des mesures en AC sur plusieurs centaines de kilohertz là où un modèle numérique standard se cantonne à quelques centaines de hertz. C'est pour cette raison qu'ils sont encore très utilisés en test sur du matériel électronique fonctionnant à des fréquences élevées (HI-FI).

▪ Voltmètres ferroélectriques :

Un voltmètre ferroélectrique est constitué d'un milliampèremètre ferroélectrique en série avec une résistance additionnelle de valeur élevée. Comme les ampèremètres du même type le font pour les courants, ils permettent de mesurer la valeur efficace de tensions de forme quelconque (mais de fréquence faible $< 1 \text{ kHz}$).

▪ Voltmètres numériques :

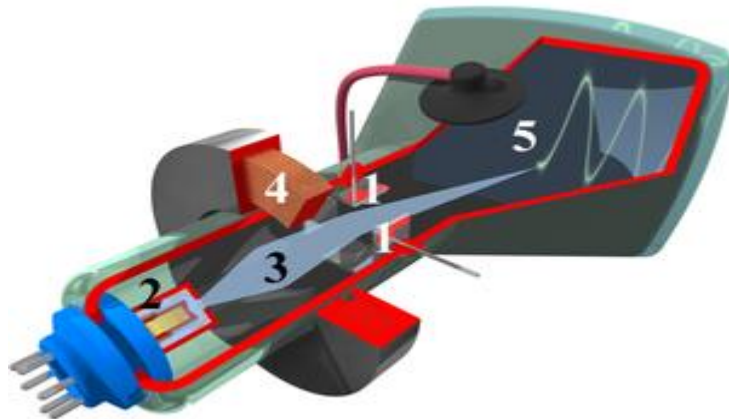
Ils sont généralement constitués d'un convertisseur analogique-numérique double rampe, d'un système de traitement et d'un système d'affichage.

C- Oscilloscope à mémoire numérique :

L'oscilloscope est un appareil de mesure très utilisé en électronique. Il permet une mesure de signal dans le domaine temporel. À l'aide des sondes vous pouvez visualiser le signal en un point d'un circuit.



Les anciens modèles possèdent un tube. Le faisceau d'électrons est dévié par un système de plaques polarisées par votre signal. On les appelle oscilloscopes analogiques.



▪ **Mode d'utilisation :**

- 1- Électrodes utilisées pour dévier les électrons en fonction de la tension en entrée ;
- 2- Canon à électrons ;
- 3- Flux d'électrons ;
- 4- Bobine de concentration ;
- 5- Face interne de l'écran couverte de phosphore.

Le signal à mesurer est visualisé sur un tube cathodique généralement vert. La trace de l'oscilloscope est déterminée par deux composantes : Une horizontale et une verticale.

- La composante horizontale est en abscisse : C'est le temps, ou une tension (mode XY) ;
- La composante verticale est en ordonnée : C'est la tension appliquée par l'utilisateur.

Le mode XY permet :

- De visualiser des caractéristiques de dipôle, à la condition qu'une des tensions soit l'image du courant qui traverse le dipôle ;
- De visualiser un déphasage entre deux tensions sinusoïdales.

▪ **Caractéristique :**

Contrairement aux modèles analogiques, le signal à visualiser est préalablement numérisé par un convertisseur analogique-numérique (interface A/D). La capacité de l'appareil à afficher un signal de fréquence élevée sans distorsion dépend de la qualité de cette interface.

Les principales caractéristiques à prendre en compte sont :

- La résolution du convertisseur analogique-numérique ;
- La fréquence d'échantillonnage en Mé/s (méga échantillons par seconde) ou Gé/s (giga échantillons par seconde) ;
- La profondeur mémoire.

L'appareil est couplé à des mémoires permettant de stocker ces signaux et à un certain nombre d'organes d'analyse et de traitement qui permettent d'obtenir de nombreuses caractéristiques du signal observé :

- Mesure des caractéristiques du signal : Valeur de crête, valeur efficace, période, fréquence, etc ;
- Transformation rapide de Fourier qui permet d'obtenir le spectre du signal ;
- Filtres perfectionnés qui, appliqués à ce signal numérique, permettent d'accroître la visibilité de détails.

L'affichage du résultat s'effectue de plus en plus souvent sur un écran à cristaux liquides, ce qui rend ces appareils faciles à déplacer et, beaucoup moins gourmands en énergie.

Les oscilloscopes numériques ont désormais complètement supplanté leurs prédécesseurs analogiques, grâce à leur plus grande portabilité, une plus grande facilité d'utilisation et, surtout, leur coût réduit.

Les appareils entièrement **numériques** possèdent maintenant des écrans LCD numériques couleur. Ils possèdent aussi une mémoire qui permet de sauver vos courbes et de capturer énormément de données. Le principe de fonctionnement est le suivant:

- Le signal est amplifié ;
- Il est ensuite filtré par un filtre antialiasing, qui évite le recouvrement de spectre lors de l'échantillonnage ;
- Il est ensuite échantillonné à l'aide d'un convertisseur analogique numérique : Les données sont alors numériques et peuvent être traitées avec un DSP.

L'avantage des oscilloscopes numériques est indéniable : Les courbes peuvent être sauvegardées, traitées à posteriori, envoyées vers un PC muni d'un logiciel de traitement, insérées dans un rapport, ...etc. De plus, les mémoires sont de plus en plus importantes, ce qui permet des zooms importants et détaillés malgré des bases de temps élevées.

Récemment nous avons vu l'apparition d'oscilloscopes numériques possédant un affichage simulant celui d'un oscilloscope analogique : La résolution des écrans étant grâce à la technologie de plus en plus importante.

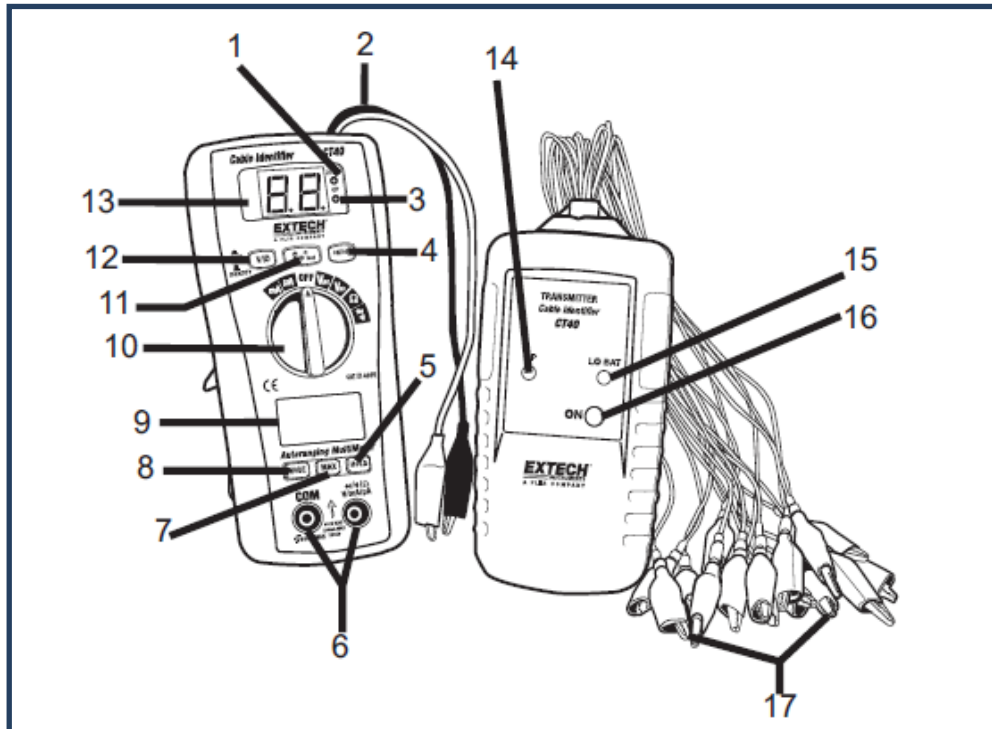
2- Appareil de test : Testeur de câbles

Pour bien étudier ce chapitre en prend comme exemple le testeur de câblage numérique.

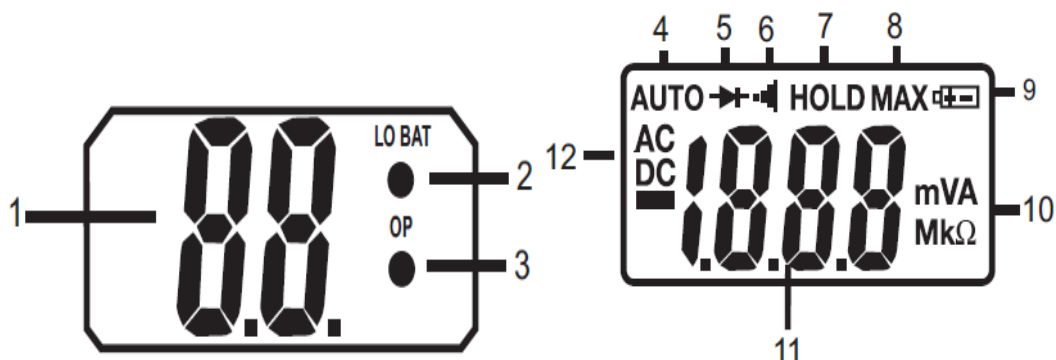


Model CT40

▪ Mode d'utilisation :



- 1- Indicateur de charge faible -Récepteur
- 2- Fils d'essai avec pince crocodile du récepteur
- 3- Indicateur de fonctionnement -Récepteur
- 4- Interrupteur On/Off - Récepteur
- 5- Commutateur Hold - Mode Multimètre Numérique
- 6- Connecteurs d'entrée DMM
- 7- Touche Max - Mode Multimètre Numérique
- 8- Touche Mode - Mode multimètre Numérique
- 9- Ecran LCD- Mode Multimètre
- 10- Commutateur Rotatif - Mode Multimètre
- 11- Touche de test ID -Test de Continuité
- 12- Touche V Check- Vérification de la Tension du Câble
- 13- Ecran LCD pour la fonction d'identification de câble
- 14- Indicateur de fonctionnement - Émetteur
- 15- Indicateur de charge faible -Émetteur
- 16- Interrupteur On/Off - Émetteur
- 17- Fils d'essai avec pince crocodile de l'émetteur - CH-16



Description de l'écran LCD :

- 1- Numéro d'identification du câble
- 2- Témoin de niveau de charge faible
- 3- Témoin de fonctionnement OP
- 4- Indicateur de sélection de gamme automatique
- 5- Test de diode
- 6- Continuité
- 7- Maintien d'affichage
- 8- Max
- 9- Indicateur de charge faible
- 10- Unités
- 11- Affichage des unités DMM
- 12- Indicateur CA/CC

Test de câblage avec l'émetteur et le récepteur :

- 1- Appuyer sur le commutateur **ON/OFF** du récepteur. L'écran bleu supérieur va indiquer "00" et le témoin lumineux **OP** devrait s'allumer ;
- 2- Appuyer sur le commutateur **ON** de l'émetteur. Le témoin lumineux **OP** va clignoter ;
- 3- Brancher une pince crocodile de l'émetteur (CH1 à CH16) à chaque conducteur (fil) du câble en cours de test ;
- 4- Brancher le fil de référence "**COM**" de l'émetteur (pince crocodile noire) à un point commun connu pour tous les câbles, telle que la terre ou l'enveloppe de câble ;
- 5- Raccorder la « **borne COM** » du récepteur (pince crocodile noire) au commun ;
- 6- Placer le fil d'essai « **borne d'entrée** » (pince crocodile rouge) sur un des conducteurs du câble en cours de test ;
- 7- Le nombre de fils sélectionnés est indiqué sur l'écran du récepteur (1-16).

Test de continuité avec bip :

- 1- Appuyer sur la touche **ID TEST**.
- 2- Brancher les pinces crocodile rouge et noire du récepteur à chaque extrémité d'un fil.
- 3- Lorsque la continuité est (la résistance est moins que le seuil de continuité) un signal sonore est émis.

Vérification de tension :

- 1- Appuyer sur la touche **V check**.
- 2- Brancher les pinces crocodile du récepteur à chaque extrémité du câble en cours de test.
- 3- Lorsque l'écran indique « **UU** », cela signifie que le câble est sous tension. Trouver puis déconnecter la source d'alimentation avant de procéder au test du câble.

Spécifications de l'émetteur :

- 1- Écran deux témoins DEL rouges.
- 2- Pinces crocodile Pinces de 17 - 16 rouges, 1 noire.
- 3- Résistance du câble 30000 Ohm maximal.
- 4- Alimentation Pile de 9 v.
- 5- Courant électrique 1,8 mA.
- 6- Température de fonctionnement 0 °C à 40 °C (32 °F à 104 °F).
- 7- Température de stockage -10 °C à 50 °C (14 °F à 122 °F).

Spécifications du récepteur :

- 1- Écran DEL bleu à deux lignes.
- 2- Pinces crocodile 2 pinces crocodile - 1 rouge, 1 noire.
- 3- Alimentation Pile de 9 v.
- 4- Courant électrique 23 mA.
- 5- Température de fonctionnement 0 °C à 40 °C (32 °F à 104 °F).
- 6- Température de stockage -10°C à 50°C (14 °F à 122 °F).
- 7- Test de continuité Seuil audible entre 15Ω et 1000Ω.
- 8- Vérification de la tension de câblage 5 V à 16 V CC.

QUESTIONS DE COURS :

- 1- Citer le mode d'utilisation d'un voltmètre ?
- 2- Comment on mesure une intensité directe ?
- 3- Quelles sont les caractéristiques d'un multimètre ?
- 4- Comment s'effectue le test de câblage avec l'émetteur et le récepteur ?

RÉPONSES :

- 1- La mesure avec un voltmètre s'effectue en le branchant en parallèle sur la portion de circuit dont on désire connaître la différence de potentiel. Ainsi en théorie, pour que la présence de l'appareil ne modifie pas la répartition des potentiels et des courants au sein du circuit, aucun courant ne devrait circuler dans son capteur. Ce qui implique que la résistance interne dudit capteur soit infini, ou du moins soit la plus grande possible par rapport à la résistance du circuit à mesurer.

D'autres méthodes de mesure sont également utilisées, par exemple :

- Conversion analogique-numérique de la tension à mesurer, puis traitement entièrement numérique du calcul de la « racine carrée du carré moyen » ;
 - Égalisation de l'effet thermique engendré par la tension variable et de celui engendré par une tension continue qui est ensuite mesurée.
- 2- Mesurer directement une intensité demeure une opération souvent difficile, parfois même impossible, car une intensité, à la différence d'une tension, se mesure toujours en série avec le circuit.
 - 3- Les caractéristiques d'un multimètre sont :
 - **L'afficheur** LCD ;
 - Le commutateur rotatif de sélection de la **fonction** (voltmètre, ampèremètre, ohmmètre...) et du **calibre** (de 0 à 200 mV, de 200 mV à 2 V, de 2 V à 20 V, ...etc.) ;
 - Les **bornes** de raccordement des cordons, qui sont généralement au nombre de trois ou quatre, dont une borne "COM" (commune) où on branchera le cordon relié à la masse ;
 - Les **cordons** de mesure et les pointes de touche.
 - 4- Le test de câblage avec l'émetteur et le récepteur :
 - Appuyer sur le commutateur **ON/OFF** du récepteur. L'écran bleu supérieur va indiquer "00" et le témoin lumineux **OP** devrait s'allumer.
 - Appuyer sur le commutateur **ON** de l'émetteur. Le témoin lumineux **OP** va clignoter.
 - Brancher une pince crocodile de l'émetteur (CH1 à CH16) à chaque conducteur (fil) du câble en cours de test.
 - Brancher le fil de référence "**COM**" de l'émetteur (pince crocodile noire) à un point commun connu pour tous les câbles, telle que la terre ou l'enveloppe de câble.
 - Raccorder la «**borne COM**» du récepteur (pince crocodile noire) au commun.
 - Placer le fil d'essai «**borne d'entrée**» (pince crocodile rouge) sur un des conducteurs du câble en cours de test.
 - Le nombre de fils sélectionnés est indiqué sur l'écran du récepteur (1-16).

LEÇON N°03 : LES LOIS DE L'ELECTRICITÉ

OBJECTIF PÉDAGOGIQUE

À l'issue de cette leçon, le stagiaire doit être capable d'appliquer les lois de l'électricité.

PLAN DE LA LEÇON :

- I- DÉFINITION DES GÉNÉRATEURS DE COURANT ET DE TENSION
- II- ASSOCIATION DES GÉNÉRATEURS
- III- LA LOI D'OHM
- IV- ASSOCIATION DE RÉSISTANCES
- V- LOI DE JOULE
- VI- ÉLÉMENTS DE CIRCUIT : BRANCHE, NŒUD, MAILLE
- VII- LOIS DE KIRCHOFF
- VIII- THÉORÈMES

I- DÉFINITION DES GÉNÉRATEURS DE COURANT ET DE TENSION :

Un générateur est un dispositif qui fournit de l'énergie électrique. Il est considéré comme source de courant électrique.

Exemples :

- Pile qui alimente nos petits récepteurs radio.
- Accumulateurs qui assurent l'alimentation en électricité des automobiles et les dynamos des bicyclettes.
- Tout générateur possède deux bornes appelées PÔLES
 - Un pôle négatif repéré en noir ou par le signe -
 - Un pôle positif repéré en rouge ou par le signe +
- En représente le générateur par le symbole suivant :

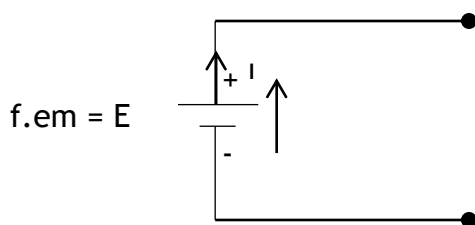


Fig.1 : Symbole d'un générateur

- La constitution interne d'un générateur est telle qu'il y a en permanence un excès d'électrons sur le pôle négatif et un manque d'électrons sur le pôle positif, ce qui crée une différence de potentiel (d.d.p) permanente entre les deux pôles qu'on appelle FORCE ELECTROMOTRICE (f.e.m) du générateur.

Exemple :

$E = 4,2V$ ou $E = 12V \dots$

II- ASSOCIATION DES GÉNÉRATEURS :

Des générateurs peuvent être groupés entre eux pour obtenir soit de plus grandes tensions (groupement série), soit de plus grands courants (groupement parallèle).

1- Association en série :

Deux générateurs sont en série quand la borne positive de l'un est reliée à la borne négative de l'autre. (fig.2).

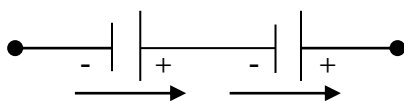


Fig.2 : Schéma des générateurs en série

- L'ensemble peut être remplacé par un générateur unique. Il est commode de représenter un générateur par un circuit équivalent qui fait intervenir sa f.e.m E et sa résistance interne.

- Considérons deux générateurs de f.e.m E_1 et E_2 et de résistance interne r_1 et r_2 montés en série :

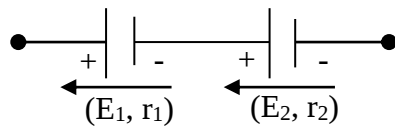


Fig.3 : Association en série

L'ensemble des deux générateurs est équivalent à un seul générateur qui aurait pour f.e.m la somme des deux f.e.m, et pour résistance interne la somme des deux résistances internes.

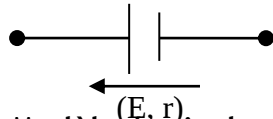


Fig.4 : Modèle équivalent de l'ensemble

Tel que : $E = E_1 + E_2$ et $r = r_1 + r_2$

Exemple :

Une pile plate de 4,5V est constituée de trois éléments de 1,5V groupés en série.

2- Association en parallèle :

Deux générateurs sont en parallèle lorsque leurs bornes homologues sont reliées entre elles (fig.5).

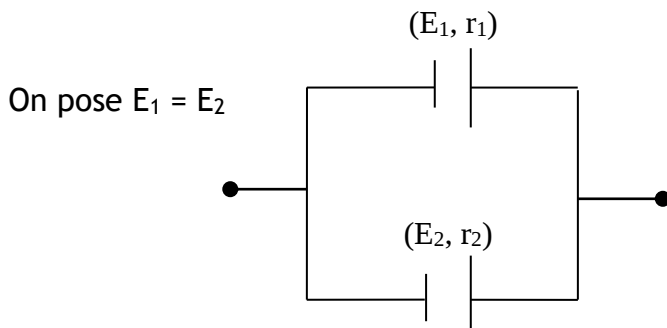


Fig.5 : Association parallèle de deux générateurs

L'ensemble des deux générateurs est équivalent à un seul générateur qui aurait pour f.e.m la même f.e.m E et pour résistance interne r la résistance équivalente des deux résistances internes r_1 et r_2 placées en parallèle (Fig.6).

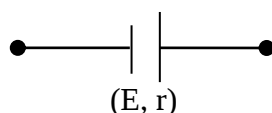


Fig.6 : Modèle équivalent

Tel que : $E = E_1 = E_2$ et $r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$

Remarque : Généralement le montage de générateurs chimiques (piles, batteries...) en parallèle est déconseillé.

III- LA LOI D'OHM :

En appliquant successivement des tensions U_1 , U_2 , U_3 aux bornes d'une résistance et en mesurant les courants correspondants I_1 , I_2 , I_3 ; nous constatons que les rapports :

$\frac{U_1}{I_1}$, $\frac{U_2}{I_2}$, $\frac{U_3}{I_3}$ sont sensiblement égaux.

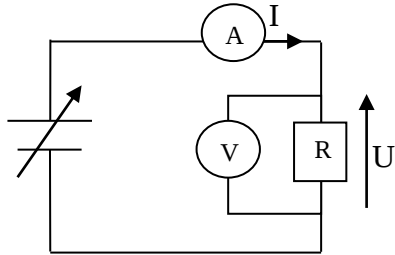


Fig.7 : Montage permettant de relever la caractéristique $U(I)$ d'une résistance.

 : Générateur de tension variable

 : Ampèremètre

 : Voltmètre

R : Résistance (autre symbole : )

- Le rapport $\frac{U}{I}$ est la valeur de la résistance, la loi d'ohm est connue

sous la forme : $U = R \cdot I$ $\left\{ \begin{array}{l} U : \text{tension [V]} \\ I : \text{courant [A]} \end{array} \right.$

R : résistance [Ω]

Exemple :

Calculer la valeur de la résistance qui est traversée par un courant de 15mA quand on lui applique une tension de 12V.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{15 \cdot 10^{-3}} = 800 \, \Omega \text{ (on a : } 1\text{mA} = 10^{-3}\text{A)}$$

IV- ASSOCIATION DE RÉSISTANCES :

On associe dans un circuit des résistances, soit pour obtenir une plus grande résistance (association série), soit une résistance plus petite (association parallèle).

1- Association en série :

Les résistances groupées en série sont disposées l'une à la suite de l'autre, elles sont traversées par le même courant d'intensité I .

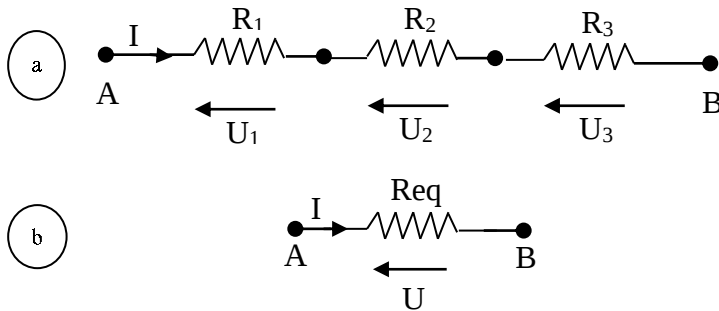


Fig.8 : a. Association de trois résistances en série
b. Dipôle équivalent

Nous pouvons écrire :

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

$$\text{Soit: } U = (R_1 + R_2 + R_3) I$$

Le dipôle équivalent à cet ensemble présente une résistance R_{eq} telle que :

$$U = R_{eq} \cdot I$$

Donc :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

2- Association en parallèle :

Entre A et B sont associées trois résistances R_1 , R_2 , R_3 alimentées sous la même tension U .

On peut écrire :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Soit :

$$I = U \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right]$$

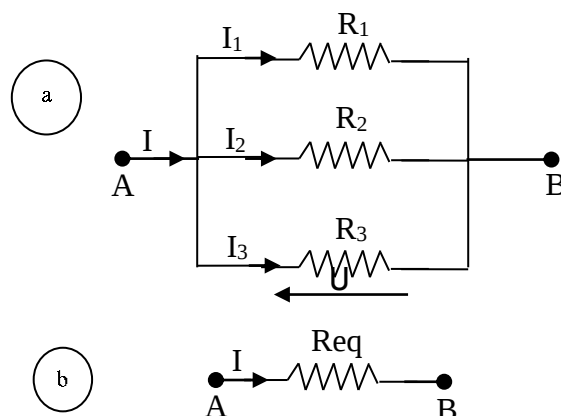


Fig.9 : a. Association de trois résistances en parallèle
b. Dipôle équivalent

Le Dipôle équivalent présente une résistance R_{eq} telle que :

$$I = \frac{U}{R_{eq}}$$

$$\text{D'où : } \boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Exemple :

Soient : $R_1 = 220 \, \Omega$, $R_2 = 330 \, \Omega$ et $R_3 = 470 \, \Omega$

En série : $R_{eq} = 220 + 330 + 470 = 1020 \, \Omega$.

En parallèle : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{220} + \frac{1}{330} + \frac{1}{470} = 9,69 \cdot 10^{-3} \Rightarrow R_{eq} = 103,2 \, \Omega$.

Remarque :

Pour une association de n résistances :

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

En parallèle : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$

V- LOI DE JOULE :

Le passage d'un courant électrique dans un conducteur est toujours accompagné d'un dégagement de chaleur. Cet effet thermique a reçu le nom d'EFFET JOULE.

Expérimentalement, on montre que l'énergie thermique W dissipée dans le conducteur est proportionnelle à la durée T de passage du courant et au carré de l'intensité I du courant, on a donc :

$$\boxed{W = R \cdot I^2 \cdot T}$$

W est exprimé en joule (J)

I est exprimé en Ampère (A)

R est exprimé en Ohm (Ω)

T est exprimé en seconde (S)

VI- ÉLÉMENTS DE CIRCUITS : BRANCHE, NŒUD, MAILLE :

Pour réaliser un circuit électrique il faut au moins : un générateur, un récepteur (lampe, résistance, moteur...) et des fils de liaison.

- Le générateur est la source d'énergie.
- Les fils de liaison assurent le transport de l'énergie électrique vers le récepteur.
- Le récepteur convertit l'énergie électrique en exploitant les effets du courant électrique (effets calorifiques, lumineux, magnétiques, chimiques, etc...).

Soit le circuit ci-contre :

- Un **nœud** est une connexion qui réunit plus de deux dipôles. Pour notre circuit : A et B sont des **nœuds**.

- Une branche est une portion comprise entre deux nœuds consécutifs.

Le circuit comporte :

- Trois branches entre les nœuds A et B.

- Une maille est un chemin fermé, le circuit comporte 3 mailles.

- E, A, R₁, B, E
- A, R₂, B, A
- E, A, R₂, B, E

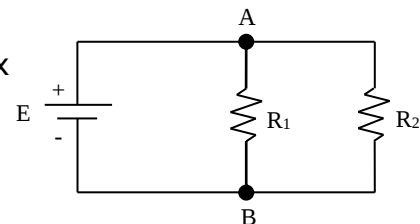


Fig.10 : Circuit électrique à trois mailles

VII- LOIS DE KIRCHOFF :

Dans un circuit électrique complexe, il est possible de calculer les différences de potentiel aux bornes de chaque résistance et l'intensité du courant continu dans chaque branche de circuit en appliquant les deux lois de Kirchhoff : La **loi de nœuds** et la **loi des mailles**.

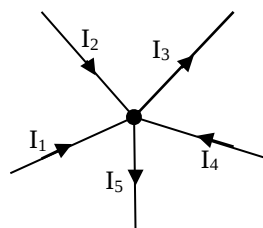
1- Loi des nœuds :

La somme des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui sortent du même nœud.

On a, d'après l'exemple :

I₁, I₂, I₄ : Courants entrants

I₃, I₅ : Courants sortants



D'après la loi des nœuds

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5$$

Fig.11 : Schéma d'un montage électrique illustrant la loi des nœuds

2- Loi des mailles :

On choisit un sens arbitraire pour la maille. On décrit la maille dans le sens choisi et on écrit que la somme algébrique des tensions est nulle en respectant la convention suivante :

- Si la flèche de la tension a le sens de la maille, la tension est affectée du signe +.
- Si la flèche de la tension a le sens contraire de la maille, la tension est affectée du signe -.

Exemple :

Compte tenu du sens de parcours choisi nous écrivons :

$$E - U_1 - U_2 - U_3 = 0$$

Donc :

$$E - R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_3 I_3 = 0$$

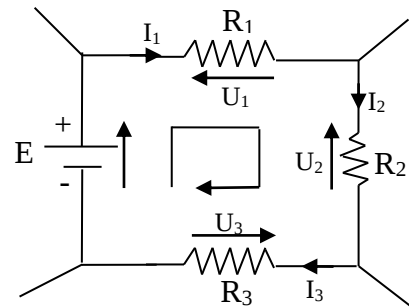
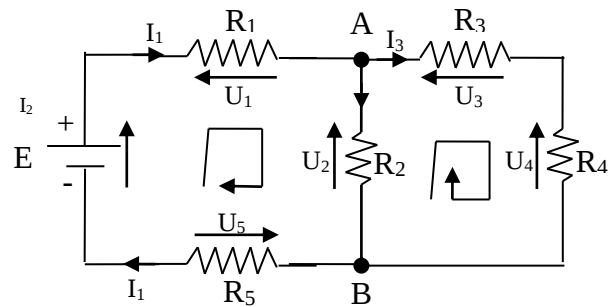


Fig.12 : Application de la loi des mailles

EXERCICE :

Soit le circuit ci-contre :

- Donner le nombre de nœuds.
- Donner le nombre de branches.
- Donner le nombre de mailles.
- Écrire les équations de tous les nœuds et mailles (Appliquer les lois de Kirchhoff)



SOLUTION :

- On a 2 nœuds, 3 branches, 3 mailles (E, R₁, A, R₂, B, R₅, E) et (A, R₂, B, R₄, R₃, A) et (E, R₁, A, R₃, R₄, B, R₅, E)

- Les expressions :

$$\text{Nœud A} = I_1 = I_2 + I_3$$

$$\text{Nœud B} = I_2 + I_3 = I_1$$

$$\text{Maille (1)} = E - U_1 - U_2 - U_5 = 0$$

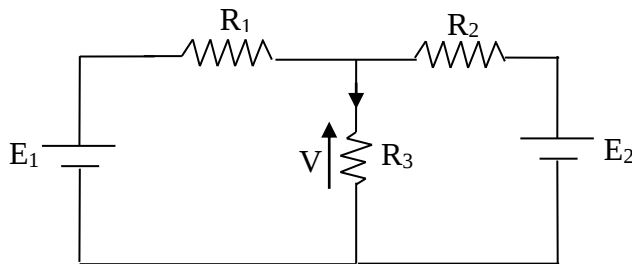
$$\text{Maille (2)} = U_2 - U_3 - U_4 = 0$$

$$\text{Maille (3)} = E - U_1 - U_3 - U_4 - U_5 = 0$$

VIII- THÉORÈMES :

1- Théorème de superposition : (www.electronique-radiomateur.fr)

Afin de présenter le théorème de superposition, voici un exemple qui va nous aider à comprendre la problématique :

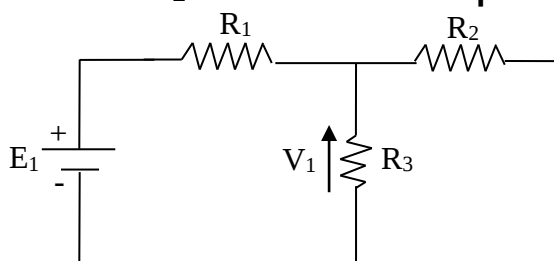


Le montage ci-dessus possède 2 générateurs E₁ et E₂ et 3 résistances R₁, R₂ et R₃.

- 1- Nous éteignons toutes les sources de courant/tension sauf une.
- 2- Nous en déduisons une tension V' associée à cette source.
- 3- Puis nous faisons de même avec les autres sources.
- 4- La tension V finale est la somme de toutes ces tensions intermédiaires calculées.
- 5- Pour une source de tension, éteindre la source signifie une source de tension de 0V, soit un court-circuit.
- 6- Pour une source de tension, éteindre la source signifie un circuit ouvert, un courant de 0 Ampère.

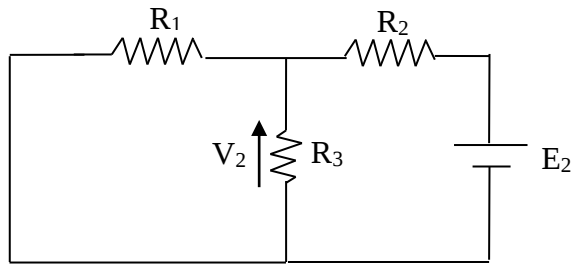
Donc :

a. On éteint E₂ et on calcule la première valeur de V donc V₁



On a: $V_1 = \frac{R_2 // R_3}{R_1 + (R_2 // R_3)} E_1$

b. Maintenant nous éteignons E_1 et allumons E_2 :



Dans ce cas : $V_2 = \frac{R_1 // R_3}{R_2 + (R_1 // R_3)} E_2$

La tension V est alors la somme de V_1 et V_2

$$V = \frac{R_2 // R_3}{R_1 + (R_2 // R_3)} E_1 + \frac{R_1 // R_3}{R_2 + (R_1 // R_3)} E_2$$

Note : $R_2 // R_3 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$ (R_2 et R_3 en parallèle)
 $R_1 // R_3 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}$ (R_1 et R_3 en parallèle)

Application numérique :

$E_1 = 12V$, $E_2 = 5V$, $R_1 = 22k\ \Omega$, $R_2 = 10k\ \Omega$, $R_3 = 33k\ \Omega$.

Donc :

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 3,103\ V \\ V_2 = 2,845\ V \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Alors :} \\ V = V_1 = V_2 \\ V = 5,948\ V \end{array}$$

2-Théorème de Thévenin :

Le théorème de Thévenin s'énonce de la façon suivante :

« En courant continu, tout réseau linéaire bilatéral à deux bornes peut être remplacé par un générateur constitué d'une source de tension et d'une résistance série avec cette source »

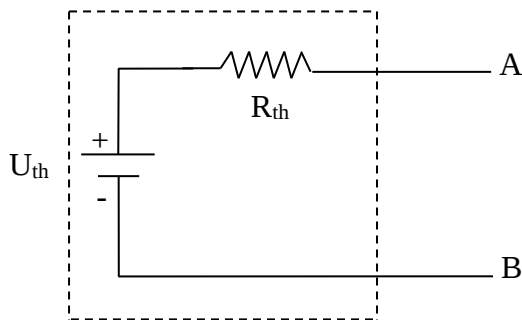


Fig.13: Générateur de Thévenin

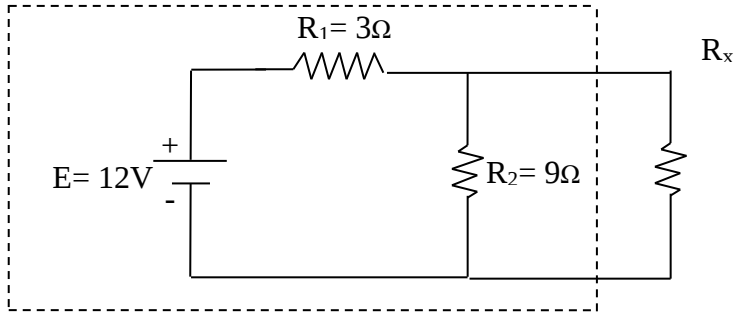
Ce théorème permet d'isoler une partie d'un réseau de résistances, le reste du réseau étant représenté par un générateur.

Voici les étapes à suivre pour déterminer les valeurs correctes de R_{th} et de U_{th} .

- 1- Retirer du réseau la branche à laquelle sera raccordé le générateur. Dans notre cas, il s'agit de la branche contenant R_x (Exemple ci-dessous).
- 2- Repérer les deux bornes du réseau.
- 3- Calculer R_{th} . Pour ce faire, court-circuiter toutes les sources de tension et mettre en circuit ouvert toutes les sources de courant ; déterminer ensuite la résistance équivalente totale présente aux deux bornes repérées (vue depuis la résistance R_x).
- 4- Calculer U_{th} . Pour ce faire restituer au réseau ses sources de tension et de courant puis déterminer la tension en circuit ouvert aux bornes repérées.
- 5- Remplacer le réseau par le générateur et raccorder aux bornes de ce dernier la branche qui avait été retirée du réseau.

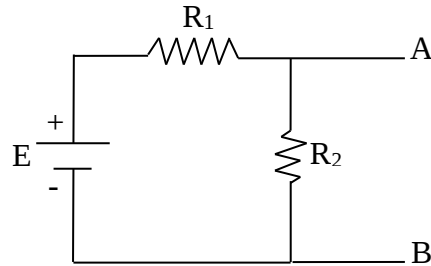
Exemple :

Trouver le générateur de Thévenin de la partie encadrée du réseau ci-dessous. Calculer ensuite le courant traversant la résistance R_x lorsqu'elle est égale à $2\ \Omega$ et $10\ \Omega$.



Étape 1 et 2 :

Débrancher la charge R_x

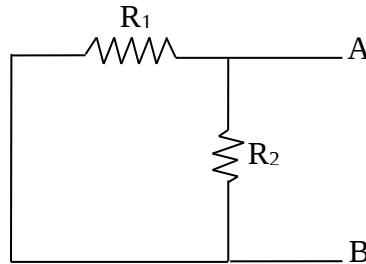


Étape 3 :

Court-circuiter la source E.

Calculons la résistance de thévenin :

$$R_{th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 2,25 \Omega.$$



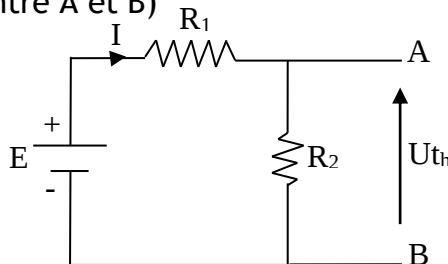
Étape 4 :

Remettre en circuit la source de tension Calculons la tension de thévenin (Circuit ouvert entre A et B)

On a: $E = I (R_1 + R_2)$

$$\Rightarrow I = \frac{E}{R_1 + R_2} \Rightarrow I = \frac{12}{3+9} = 1A$$

$$U_{th} = R_2 \cdot I \\ = 9 \times 1 \Rightarrow U_{th} = 9V$$

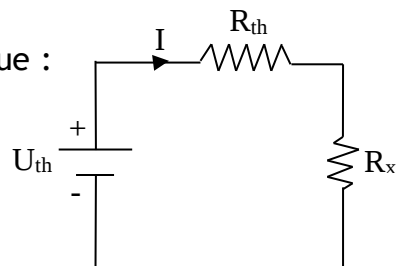


Étape 5 :

Remplaçons le réseau par le générateur de thévenin tel que :

$$R_{th} = 2,25 \Omega \text{ et } U_{th} = 9V$$

- Quand $R_x = 2 \Omega$, $I = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_x} = 2,12 A$.
- Quand $R_x = 10 \Omega$, $I = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_x} = 0,74 A$.



3-Théorème de Northon :

Le théorème de Northon s'énonce de la façon suivante :

«En courant continu, tout réseau linéaire bilatéral à 2 bornes peut être remplacé par un générateur constitué d'une source de courant et d'une résistance en parallèle avec cette source».

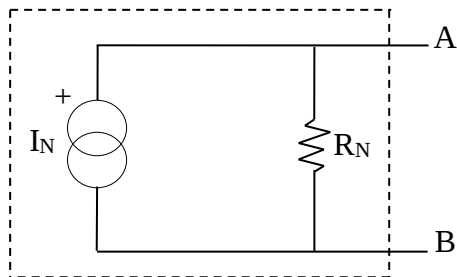


Fig.14 : Générateur de Northon

Voici les étapes à suivre pour déterminer les valeurs correctes de R_n et de I_n .

- 1- Retenir du réseau la branche à laquelle sera raccordé le générateur. Dans notre cas, il s'agit de la branche contenant R_x .
- 2- Repérer les deux bornes du réseau.
- 3- Calculer R_n , pour ce faire, court-circuiter toutes les sources de tension et mettre en circuit ouvert toutes les sources de courants ; Déterminer ensuite la résistance équivalente totale présente aux 2 bornes repérées (une depuis la résistance R_x)
- 4- Calculer I_n . Pour ce faire, restituer au réseau ses sources de tension et de courant puis déterminer l'intensité de courant qui passerait dans un court-circuit reliant les 2 bornes repérées.
- 5- Remplacer le réseau par le générateur et raccorder aux bornes de ce dernier la branche qui avait été retiré du réseau.

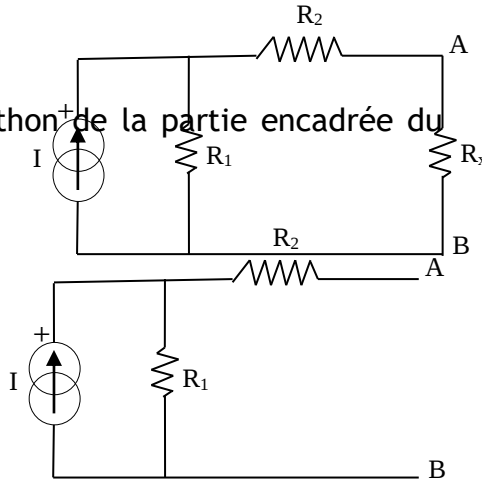
Exemple :

Trouver le générateur de Northon de la partie encadrée du réseau ci-contre ($R_x = 10 \Omega$).

$I = 12A$, $R_1 = 9 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$.

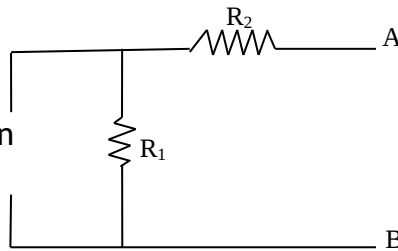
• **Étape 1 et 2 :**

Déconnecter la charge



• **Étape 3 :**

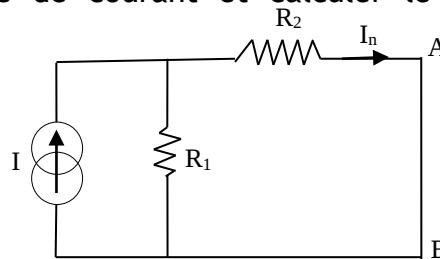
Ouvrir les sources de courants
Calculons la résistance de Northon
 $R_n = R_1 + R_2 = 12 \Omega$



• **Étape 4 :**

Remettre en circuit la source de courant et calculer le courant de Northon I_n .

On a : $I_n = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I = 9$



• **Étape 5 :**

Calculons le courant I circulant dans la résistance R_x .

$I_n = 9A$, $R_n = 12 \Omega$

$I = \frac{R_n}{R_n + R_x} \cdot I_n = 4,91A$

