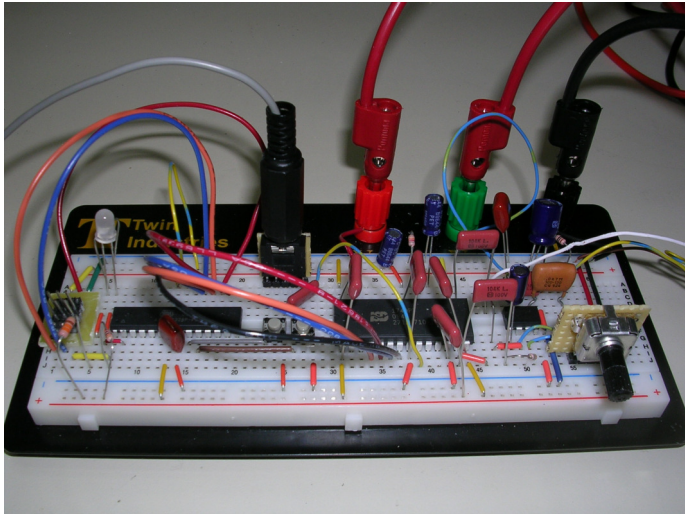


Initiation à l'électronique



Nous allons maintenant (re)voir quelques notions de bases qui seront utilisées dans ce document.

Notions générales

Lettres grecques

Tableau 2.1 – Alphabet grec (partiel)

Majuscule	Minuscule	grec classique	grec moderne
Δ		delta	delta
	λ	lambda	lambda
	ν	nu	nu
	τ	tau	tau
	ϵ	epsilon	epsilon
	μ	mu	mi
	ν	nu	nu
	π	pi	pi
Σ		sigma	sigma
Ω		oméga	omega

Notions générales

Symboles mathématiques

Pour apporter des précisions à des valeurs, on utilise parfois des symboles et des lettres.

En voici quelques uns :

- Δ : Une différence entre deux valeurs
- Σ : Une somme de plusieurs valeurs
- \approx : Une valeur approximative
- \pm : Une plage de valeurs en plus ou en moins à une valeur médiane
- ∞ : Une valeur infinie

Notions générales

Constantes mathématiques

Tableau 2.2 – Constantes mathématiques utilisées dans ce document

Symbole	Description	Valeur
π	Rapport de la circonférence d'un cercle à son diamètre	≈ 3.1417
c	Vitesse de la lumière	299 792 458 m/s

Dans plusieurs domaines, des documents de références et conventions sont établies pour s'assurer de parler des même choses et d'éviter de « réinventer la roue ».

En anglais on parle de « standards » mais en français on fait une distinction avec deux mots :

- Norme : Référence établie par un organisme dédié à cette fonction et largement diffusée ;
- Standard : Référence technique ne provenant pas d'un organisme de normalisation mais ayant quand même une large diffusion.

Notions générales

Normes et standards, Bureau international des poids et mesures

Le **Bureau international des poids et mesures (BIPM)** gère les normes des principales unités de mesures.

- Fondation : 1875
- Langues : anglais, français
- Accès : Gratuit
- Lien : <https://www.bipm.org/>

Notions générales

Normes et standards, Commission électrotechnique internationale

La **Commission électrotechnique internationale (CEI)** gère des normes électriques et électroniques.

- Fondation : 1906
- Langues : anglais, français
- Accès : Payant
- Lien : <https://www.iec.ch/>

Notions générales

Normes et standards, American National Standards Institute

Le **American National Standards Institute (ANSI)** gère diverses normes.

- Fondation : 1918
- Langues : anglais
- Accès : Payant
- Lien : <https://ansi.org/>

Notions générales

Normes et standards, International Organization for Standardization

Le **International Organization for Standardization (ISO)** gère diverses normes.

- Fondation : 1947
- Langues : anglais, français, russe
- Accès : Payant
- Lien : <https://iso.org/>

Le **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)** gère des normes électroniques.

- Fondation : 1963
- Langues : anglais
- Accès : Payant
- Lien : <https://www.ieee.org/>

Notions générales

Normes et standards, Office québécois de la langue française

L'Office québécois de la langue française (OQLF) gère les normes linguistiques au Québec.

- Fondation : 1963
- Langues : français
- Accès : gratuit
- Lien : <https://www.oqlf.gouv.qc.ca/>

Notions générales

Le système international d'unités

Le **système international d'unités (SI)** est régi par le **BIPM** et consiste en :

- Un ensemble d'unités de base et dérivés ;
- Un ensemble de préfixes, en base décimale ;
- Une description pour l'écriture des nombres, unités et préfixes.

Notions générales

Le système international d'unités, Les unités

Tableau 2.3 – Unités courantes du SI

Mesure	Unité	Symbole
Temps	seconde	s
Longueur	mètre	m
Masse	kilogramme	kg
Intensité électrique	ampère	A
Différence de potentiel électrique	volt	V
Résistance électrique	ohm	Ω
Conductance électrique	siemens	S
Capacité électrique	farad	F
Inductance	henry	H
Puissance	watt	W
Fréquence	hertz	Hz

Notions générales

Le système international d'unités, Les préfixes

Tableau 2.4 – Préfixes communs du SI

Facteur	Nom	Symbole	Nombre décimal
10^{12}	tera	T	1 000 000 000 000
10^9	giga	G	1 000 000 000
10^6	mega	M	1 000 000
10^3	kilo	k	1000
10^0			1
10^{-3}	milli	m	0,001
10^{-6}	micro	μ	0,000 001
10^{-9}	nano	n	0,000 000 001
10^{-12}	pico	p	0,000 000 000 001

Notions générales

Le système international d'unités, Écriture des nombres

- Si le nombre se situe entre $+1$ et -1 , le séparateur décimal est *toujours* précédé d'un zéro ;
- Il est *possible* d'utiliser une espace insécable pour grouper par 3 les chiffres.

Il est d'usage de ne pas isoler un groupe de 4 chiffres.

- Une espace insécable sépare le nombre et l'unité ou son symbole.
- Il n'y pas d'espace entre le préfixe et l'unité ;

Il est d'usage d'utiliser en même temps le symbole du préfixe et de l'unité.

Notions générales

Notation scientifique

Dans les documents techniques, il est courant de voir les nombres être inscrit avec un multiplicateur en base 10 et en ne gardant qu'un chiffre avant le séparateur décimal, selon l'équation 2.1.

$$\pm a \times 10^n \quad (2.1)$$



Figure 2.1 – Affichage en mode scientifique.

Notions générales

Notation scientifique, Notation ingénieur

Une variation de la notation scientifique dans laquelle l'exposant est toujours un multiple de 3, comme dans l'équation 2.2.

$$\pm a \times 10^{3n} \quad (2.2)$$



Figure 2.2 – Affichage en mode ingénieur.

Notions générales

Fréquence

La *fréquence* est l'inverse de la durée d'un phénomène qui se répète (cycle).

Elle se calcule avec la formule 2.3.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

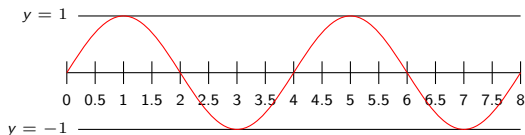


Figure 2.3 – Signal sinusoïdale de 4 secondes (0,25 Hz).

Notions générales

Fréquence, Plages de fréquences

Tableau 2.5 – Plages de fréquence

Plage	Nom
20 Hz à 20 kHz	audio (humains)
30 kHz à 300 kHz	basse fréquence (LF)
3 MHz à 30 MHz	haute fréquence (HF)
30 MHz à 300 MHz	très haute fréquence (VHF)
1 GHz à 1000 GHz	ultra haute fréquence (UHF)

Notions générales

Exercices

- Combien y a-t-il de centimètres dans deux mètres ?
- Comment est exprimé $0,250\text{ A}$ en mA ?
- Quel est l'unité de mesure de la résistance électrique ?
- Comment est écrit *56000 volts* avec un préfixe et un symbole ?
- Comment devrait on écrire le nombre *57823.5* au Québec ?

Notions générales

Exercices, Réponses

- ① 200
- ② 250 mA
- ③ Le ohm (Ω)
- ④ 56 kV
- ⑤ 57 823,5

Les effets de l'électricité sont connus depuis la Grèce antique.

De nombreuses personnes ont contribué à sa compréhension comme Alessandro Volta, André-Marie Ampère, James Watt, Charles-Augustin de Coulomb, Michael Faraday, Werner von Siemens et Benjamin Franklin entre autres.

L'électricité

L'atome

Dans une forme très simplifiée, un atome est la plus petite composante d'une substance.

Il est formé d'un noyau, composé de *protons* et de *neutrons*, autour duquel circulent un ou plusieurs *électrons*.

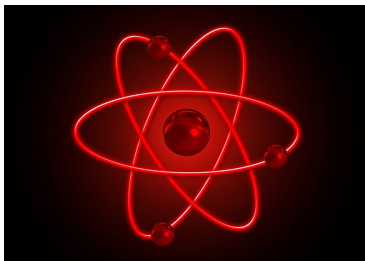


Figure 3.1 – Modèle atomique simplifié.

L'électricité

L'atome, Neutrons

Un *neutron* est une particule subatomique possédant une charge électrique neutre.

L'électricité

L'atome, Protons

Un *proton* est une particule subatomique possédant une charge électrique positive.

L'électricité

L'atome, Électrons

Un *électron* est une particule subatomique possédant une charge électrique négative.

L'électricité

Le courant électrique

Le courant électrique est le déplacement d'une particule chargée, le plus souvent un *électron*, dans un matériau conducteur.

- Symbole : I ;
- Unité de mesure : ampère (A);
- Instrument de mesure : Ampèremètre.

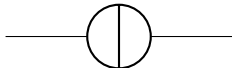


Figure 3.2 – Symbole schématique d'une source de courant

L'électricité

La tension électrique

La tension électrique est une différence de potentiel électrique entre deux points.

- Symbole : U ;
- Unité de mesure : volt (V) ;
- Instrument de mesure : Voltmètre.

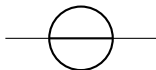


Figure 3.3 – Symbole schématique d'une source de tension.

L'électricité

La résistance électrique

La résistance électrique est l'aptitude d'un matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique.

- Symbole : R ;
- Unité de mesure : ohm (Ω) ;
- Instrument de mesure : Ohmmètre.



Figure 3.4 – Symbole schématisé d'une résistance.

L'inverse de la résistance se nomme *conductance* et est mesurée en siemens (S).

L'électricité

La résistance électrique, Conducteurs

Un conducteur électrique est un matériau qui laisse passer facilement le courant (très faible résistance).

Les matériaux suivants sont d'excellents conducteurs :

- Or;
- Argent ;
- Aluminium.

Le cuivre est souvent utilisé aussi.

L'électricité

La résistance électrique, Isolants

Quand à lui, un isolant est un matériau qui laisse difficilement passer le courant (très grande résistance).

Les matériaux suivants sont de bons isolants :

- Verre ;
- Air ;
- Plastique ;
- Porcelaine.

L'électricité

La résistance électrique, Semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la résistance change dans certaines circonstances spécifiques.

Parmi les semi-conducteurs courants, il y a le *silicium* (Si) et le *germanium* (Ge).

L'électricité

La loi d'Ohm

La relation entre la tension, le courant et la résistance est résumée par la *Loi d'Ohm* (3.1).

$$U = I \times R \quad (3.1)$$

L'électricité

La loi d'Ohm, Matériaux non-ohmiques

Certains matériaux ne se conforment pas à la loi d'Ohm et son dit *non-ohmique*.

Les filaments des ampoules à incandescence et les semi-conducteurs, que nous verrons plus loin, en sont des exemples.

L'électricité

La puissance électrique

La puissance électrique est le taux, par unité de temps, auquel l'énergie électrique est transférée par un circuit électrique.

- Symbole : P ;
- Unité de mesure : watt (W) ;
- Instrument de mesure : Wattmètre.

L'électricité

La puissance électrique, L'effet Joule

Au lieu de mesurer directement la puissance électrique, on utilise la formule de l'*effet Joule* (3.2) pour calculer sa valeur.

$$P = U \times I \quad (3.2)$$

L'électricité

Équations supplémentaires

En combinant toutes les permutations possibles de la loi d'Ohm et de l'effet Joule, on obtient les équations [3.3](#), [3.4](#), [3.5](#) et [3.6](#).

$$I = \frac{U}{R} \qquad I = \frac{P}{U} \qquad I = \sqrt{\frac{P}{R}} \qquad (3.3)$$

$$U = IR \qquad U = \frac{P}{I} \qquad U = \sqrt{PR} \qquad (3.4)$$

$$R = \frac{U}{I} \qquad R = \frac{U^2}{P} \qquad R = \frac{P}{I^2} \qquad (3.5)$$

$$P = UI \qquad P = RI^2 \qquad P = \frac{U^2}{R} \qquad (3.6)$$

L'électricité

Circuits électriques

Pour qu'un circuit électrique puisse fonctionner, le courant doit pouvoir retourner à la source, au travers d'une charge, formant une boucle.

Cette charge peut être composé d'une simple lampe, ou contenir des centaines de composants.

Si le courant peut retourner à son point d'origine, on parle de circuit *fermé*.

Sinon, on parle de circuit *ouvert* et aucun courant ne circulera.

Si le courant contourne la charge, on parle alors d'un *court-circuit*, ce qui entraînera une surcharge électrique et sans aucune doute un dysfonctionnement du circuit.

L'électricité

Circuits électriques, Schématisation des sources électriques

Dans une schémas, il arrive que l'on remplace le symbole de la source électrique par un symbole de référence.

Plusieurs symboles existent :

- Terre (*earth*) : relié à une tige enfoncée dans le sol ;
- Masse (*chassis*) : relié à un boîtier métallique ;
- Commun (*signal*) : relié à une tension commune, comme
 - La source d'alimentation ;
 - 0V (*ground*).



Figure 3.5 – Symboles schématiques terre, masse, communs (2).

Un des plus grands risques pour une personne survient lorsque qu'un courant électrique traverse son corps. C'est ce qu'on appelle une *électrisation*.

Des brûlures externes, aux points d'entrées et de sorties, ainsi qu'internes peuvent survenir.

Un courant, aussi faible que 20 mA, traversant le cœur peut engendrer une fibrillation cardiaque puis la mort.

À partir de 30 V, une tension peut être dangereuse pour une personne.

- Débrancher la source d'alimentation avant de modifier un circuit
- Faire une double vérification du câblage avant de mettre sous tension un circuit
- Travailler sur une surface sèche
- Éviter la surchauffe des composants
- Toujours couper l'alimentation électrique *avant* de toucher une personne subissant une électrisation et de lui donner les premiers soins.

- 1 Quelles sont les unités électriques qui, multipliées entre elles, donnent des watts ?
- 2 Dans quel sens se dirige le *sens conventionnel* du courant ?
- 3 Quel est la puissance dégagée par une charge soumise à un courant de 5 A sous une tension de 15 V ?
- 4 Quelle est la tension aux bornes d'une résistance de 10 Ω laissant circuler un courant de 2 A ?
- 5 Combien de fois un courant **courant alternatif (CA)** de 60 Hz change de sens en une seconde ?
- 6 Un circuit peut-il fonctionner sans charge ?

L'électricité

Exercices, Réponses

- 1 Volts et ampères.
- 2 Du positif vers le négatif.
- 3 $P = U \times I \Rightarrow 5 \times 15 \Rightarrow 75 \text{ W}$.
- 4 $U = I \times R \Rightarrow 2 \times 10 \Rightarrow 20 \text{ V}$.
- 5 60.
- 6 Non, on parle alors d'un circuit ouvert ou d'un court-circuit.

Magnétisme et électromagnétisme

Certains matériaux ont la propriété physique de s'attirer ou de se repousser entre eux. On parle alors de *magnétisme*.

On peut aussi créer ce phénomène électriquement. On parle alors d'*électromagnétisme*.

Magnétisme et électromagnétisme

Aimants permanent

Un objet aimanté est divisée en deux *pôles*, le nord et le sud.

Les pôles opposés s'attirent et les pôles semblables s'éloignent.

Un aimant permanent est composé d'atomes de fer, nickel ou de cobalt.

Magnétisme et électromagnétisme

Champ magnétique

Un courant circulant dans un conducteur crée un champ magnétique autour de ce conducteur.

L'intensité du champ magnétique autour du conducteur est directement proportionnelle au courant y circulant.

Magnétisme et électromagnétisme

Induction

Le phénomène inverse existe aussi. Lorsque qu'un conducteur traverse un champ magnétique, un courant se produit dans ce conducteur.

La tension induite dans un conducteur qui se déplace dans un champ magnétique est maximale quand le mouvement est perpendiculaire aux lignes de force.

Magnétisme et électromagnétisme

Exercices

- 1 Une force de répulsion existe entre deux pôles magnétiques de même nom ou de noms contraires ?
- 2 Un aimant permanent est le plus probablement fait avec quel matériel ?

Magnétisme et électromagnétisme

Exercices, Réponses

- ① de même nom
- ② acier

Selon la nature de la source de courant utilisée, le courant peut être catégorisé de deux manières que nous allons voir (très) rapidement pour l'instant.

Courant continu et alternatif

Courant continu

Le **courant continu (CC)**, **direct current (DC)** en anglais, est un courant qui ne se déplace que dans un seul sens.

Il est représenté par le symbole --- sur les appareils.

A l'origine, on pensait que le courant se déplaçait du pôle positif vers le pôle négatif (sens *conventionnel*) mais dans les faits, les électrons se déplacent plutôt du pôle négatif vers le pôle positif (sens *réel*).

Courant continu et alternatif

Courant alternatif

Le CA, **alternative current (AC)** en anglais, est un courant qui *change de direction* dans le temps, oscillant entre des valeurs positives et négatives.

Il est représenté par le symbole \sim sur les appareils.

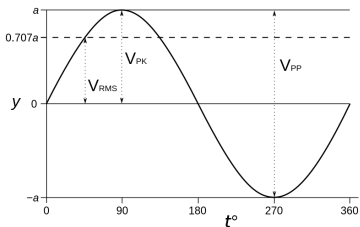


Figure 5.1 – Signal sinusoïdale avec tensions de crête et RMS.

Courant continu et alternatif

Courant alternatif, Valeurs efficaces

Les valeurs efficaces équivalentes **CC** sont calculées avec la *moyenne quadratique*, (root mean square (RMS)) des valeurs de *crête* (*peak*), selon les formules 5.1 et 5.2.

$$U_{RMS} = U_{PK} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (5.1)$$

$$I_{RMS} = I_{PK} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (5.2)$$

Courant continu et alternatif

Exercices

- 1 Combien de fois un courant CA de 60 Hz change de sens en une seconde ?
- 2 Quel est la tension de crête d'un circuit de 240 V AC ?

Courant continu et alternatif

Exercices, Réponses

① 60

② $240 \times \sqrt{2} \Rightarrow 339,41 \text{ V}$

Piles et batteries

Les piles et batteries (ensemble de piles) transforment une réaction chimique en électricité CC.

Elles possèdent les principales caractéristiques suivantes :

- Une tension de source (U_S), exprimée en volt (V) ;
- Une capacité électrique (q), exprimée en coulombs (C) ;
- Sont munis de deux pôles :
 - Positif : *anode* (A) ;
 - Négatif : *cathode* (K).

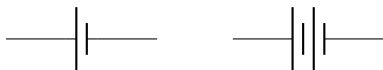


Figure 6.1 – Symboles schématiques pile et batterie (positif à gauche).

Piles et batteries

Les piles primaires

Ce sont des piles à usage unique.

On ne doit jamais tenter de recharger ce type de pile car elles pourraient prendre feu ou même exploser.

Nous ne verrons que les types de piles primaires les plus utilisées.

Piles et batteries

Les piles primaires, Carbone-Zinc

Ce sont les premières piles dites « sèches », inventée en 1887. Elle étaient surtout utilisées dans les premières lampes torche (flashlight).

Elles ont une tension nominale de 1,5 V.

Piles et batteries

Les piles primaires, Alcalines

Elles sont la plupart du temps de format cylindrique (AAA, AA, C, D). L'extrémité protubérante étant le pôle positif.

Chaque pile possède une tension nominale est de 1,5 V. Cette tension peut descendre à 1,2 V lors de l'utilisation dû à la *résistance interne*.



Figure 6.2 – Différents formats de piles et batteries alcalines.

Piles et batteries

Les piles primaires, Lithium

Ce sont des piles de formats cylindriques et boutons.

Leurs tensions nominales sont comprises entre 1,5 V à 3,7 V, selon le modèle



Figure 6.3 – Différents formats de piles boutons lithium.

Elles sont préférées pour des utilisations où un courant faible sur de longues périodes est désiré, comme dans des calculatrices ou des montres.

Piles et batteries

Les piles secondaires

Ce type de pile, aussi appelé *accumulateur*, peut être rechargé un certain nombre de fois. Par contre, le chargeur doit être compatible à la chimie de la pile.

En pratique, le nombre de recharge dépend de plusieurs facteurs dont le cycle de recharge. Dans certaines circonstances très particulières, il est possible que la pile ne puisse être rechargée à sa pleine capacité. Ce phénomène est appelé *effet mémoire*. Certaines batterie utilise un système de gestion, [Battery Management System \(BMS\)](#), pour contrer ce phénomène.

Comme il existe beaucoup de type et de variante de piles secondaire, nous ne verrons que les plus utilisés.

Piles et batteries

Les piles secondaires, Plomb

Ces piles sont formées de plaques de plomb dans un acide (liquide ou gel).

Elles possèdent une tension nominale de 2,1 V mais sont généralement utilisées en batterie de 12 V (6 cellules).



Figure 6.4 – Batterie automobile au plomb de 12V.

Piles et batteries

Les piles secondaires, Nickel-cadmium

Les piles **nickel-cadmium (Ni-Cd)** apparaissent en 1946.

Elles possèdent une tension nominale de 1,2 V.

Ce type de pile est maintenant dépassé et est même interdit au grand public en Europe (directive 2006/66/CE).

Piles et batteries

Les piles secondaires, Nickel-métal-hydrure

Les piles **nickel-métal-hydrure (Ni-MH)** possèdent une tension nominale de 1,2 V.

Le principal inconvénient est la tendance à l'autodécharge. Par contre, depuis 2005, il existe des piles **Ni-MH** à faible autodécharge.



Figure 6.5 – Piles Ni-MH (AAA et AA) avec adaptateurs (C et D).

Piles et batteries

Les piles secondaires, Lithium-ion

Apparue en 1991, les piles **lithium-ion (Li-ion)** possèdent une tension nominale de 3,6 ou 3,7 V.

Elles ont une tendance à l'emballement thermique, provoquant parfois des incendies.



Figure 6.6 – Pile lithium-Ion.

Piles et batteries

Les piles secondaires, Lithium-fer-phosphate

Apparue vers 2007, les piles **lithium-fer-phosphate (LiFePO_4)** sont une variante plus sécuritaire des piles **Li-ion**. Elles possèdent une tension nominale de 3,2V.



Figure 6.7 – Batterie LiFePO_4 .

Piles et batteries

Branchements

Dans le cas de piles ou de batteries, *du même type*, il est possible d'en brancher plusieurs ensembles, afin d'augmenter la tension ou le courant.

Piles et batteries

Branchements, Série

Caractéristiques :

- La tension s'additionne
- L'intensité reste la même

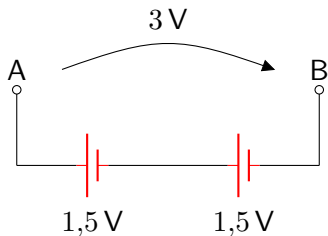


Figure 6.8 – Piles branchées en série.

Piles et batteries

Branchements, Parallèle

Caractéristiques :

- La tension reste la même
- L'intensité s'additionne

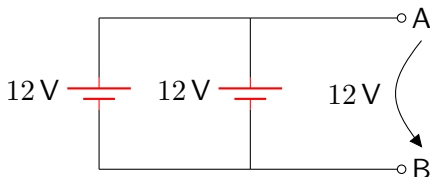


Figure 6.9 – Piles branchées en parallèle.

Piles et batteries

Exercices

- 1 Quel est le nombre minimal de piles alcaline requises pour construire une source d'alimentation de 12V et branchées comment ?
- 2 Quel est le nombre minimal de piles Ni-MH requise pour construire une source d'alimentation de 12V et branchées comment ?
- 3 Quel seras la tension de 8 piles Ni-MH branchées en série ?

Piles et batteries

Exercices, Réponses

① $\frac{12}{1,5} \Rightarrow 8$ piles en série

② $\frac{12}{1,2} \Rightarrow 10$ piles en série

③ $8 \times 1,2 \Rightarrow 9,6 \text{ V}$

Les fils électriques

Un fil électrique permet le transport d'un courant électrique entre différents composants.

Il est composé d'une âme protégée par une gaine.



Figure 7.1 – Différents fils électriques.

Les fils électriques

Âme

L'âme d'un fil est un conducteur (cuivre et/ou aluminium) qui peut être :

- Plein (*solid*) : Un seul conducteur rigide ;
- Toronné (*stranded*) : Un groupe de petits conducteurs tressés ensembles.

Les fils électriques

Âme, Calibre

La dimension, ou *calibre*, du conducteur est un des facteurs déterminant le courant maximal pouvant circuler dans le fil, sans surchauffer.

Ce calibre est mesuré selon la norme [International Electrotechnical Commission \(IEC\) 60228](#).

En Amérique du nord, on utilise plus souvent le [American Wire Gauge \(AWG\)](#) pour spécifier le calibre d'un conducteur.

Les fils électriques

Gaine

Le gaine (*jacket*) d'un fil est faite de matériaux isolant, comme le PVC.

En plus de sa couleur, certaines informations peuvent être imprimées sur celle-ci, entre autres :

- La longueur ;
- Le calibre du conducteur ;
- La tension maximale

Les fils électriques

Exercices

- 1 Entre les calibres de fils **AWG** 22 et 12, lequel pourras transporter le plus de courant ?
- 2 Quel fil est le plus flexible, un fil plein ou toronné ?

Les fils électriques

Exercices, Réponses

- ① AWG 12
- ② Le fil toronné

Les coupe-circuits

Les coupe-circuits sont des dispositifs de protection qui sont insérés en *série* dans un circuit électrique.

Ils fonctionnent en ouvrant le circuit lors du dépassement d'une certaine valeur de courant.

Ces dispositifs ont en commun d'avoir des limites maximales sur les valeurs suivantes :

- Courant
- Tension
- Vitesse d'action

Les coupe-circuits

Les fusible

Un *fusible* (*fuse*) est un emballage contenant un filament qui « bruleras » lors d'une surintensité, ouvrant ainsi le circuit.



Figure 8.1 – Symbole schématique d'un fusible.

Les coupe-circuits

Les fusible, Cylindriques

Ce sont des fusibles, souvent en verre, avec un contact à chaque extrémités.



Figure 8.2 – Différents fusibles cylindriques.

Les coupe-circuits

Les fusible, Lames

Ce sont des fusibles « plats » en plastique, les contacts étant côte à côte.

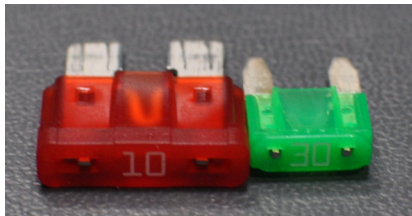


Figure 8.3 – Différents fusibles à lames.

Les coupe-circuits

Les disjoncteurs

Un disjoncteur (*breaker*) est un dispositif mécanique réarmable.

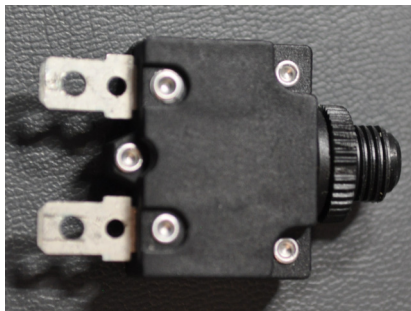


Figure 8.4 – Disjoncteur.

Les coupe-circuits

Fusibles réarmables

Un fusible réarmable à **coefficient en température positif (CTP)** n'est pas à proprement parlé un fusible. Ses principales caractéristiques sont de ne contenir aucun filament et de se réarmer de lui-même.

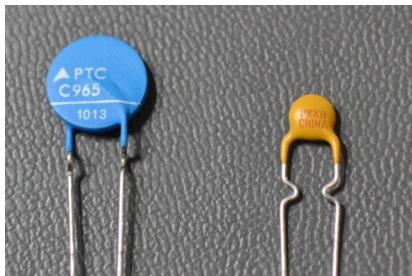


Figure 8.5 – Fusibles réarmables CTP.

Les coupe-circuits

Exercices

- 1 Doit on remplacer un disjoncteur après son déclenchement ?

Les coupe-circuits

Exercices, Réponses

- 1 Non, simplement le réenclencher

Les interrupteurs

Un interrupteur (*switch*) est un dispositif mécanique permettant d'ouvrir ou de fermer un circuit. Certains interrupteurs permettent aussi de rediriger un signal électrique.



Figure 9.1 – Différents types d'interrupteurs.

Les interrupteurs

Boutons poussoirs

Les boutons poussoirs sont des interrupteurs dont la position peut être *temporairement* modifiées.

- Normalement ouvert : **normally open (NO)**
- Normalement fermé : **normally close (NC)**



Figure 9.2 – Symboles schématiques d'interrupteurs (NO, NC).

Les interrupteurs

Directionnels

Leurs positions peuvent être modifiées.

- Unipolaire unidirectionnel : **single position single throw (SPST)**
- Unipolaire bidirectionnel : **single position double throw (SPDT)**
- Bipolaire unidirectionnel : **double position single throw (DPST)**
- Bipolaire bidirectionnel : **double position double throw (DPDT)**

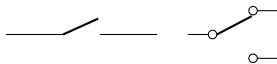


Figure 9.3 – Symboles schématiques d'interrupteurs (SPST, DPST).

Les interrupteurs

Exercices

- 1 Un interrupteur permet il de varier l'intensité d'un courant ?

Les interrupteurs

Exercices, Réponses

① Non

Les résistances

Les résistances (*resistor*) sont des composants servant à réduire le courant dans un circuit.

Elles possèdent les caractéristiques principales suivantes :

- Résistance : ohm (Ω);
- Tolérance : %;
- Puissance maximale : watt (W),

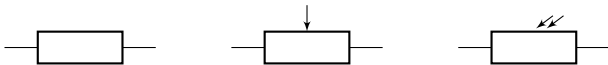


Figure 10.1 – Symbole schématique d'une résistance, potentiomètre et photorésistance (R).

Les résistances

Types de résistances

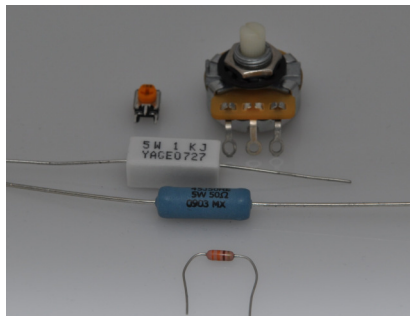


Figure 10.2 – Résistances diverses.

Les résistances

Types de résistances, Résistances à valeur fixe

Ce type de résistance est souvent composé de carbone mais peut aussi être fait d'un fil enroulé autour d'un noyau non conducteur (*wirewound*).

Il existe aussi des résistances faites de céramique et pouvant dissiper une plus grande puissance.

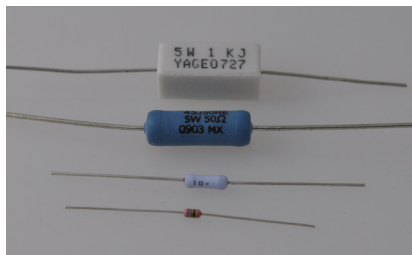


Figure 10.3 – Résistances à valeurs fixes.

Les puissances communes sont de $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2 et 5 W.

Les résistances

Types de résistances, Potentiomètre

Un potentiomètre est une résistance muni de trois broches.

La broche du milieu (*wiper*) est un contact qui permet de varier la résistance en rapport aux deux autres broches.

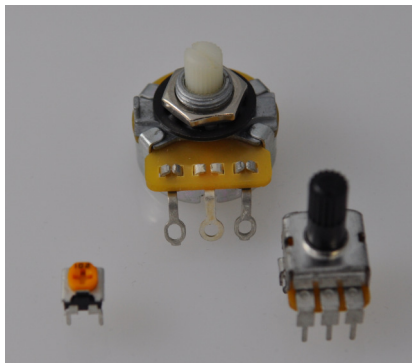


Figure 10.4 – Potentiomètres divers.

Les résistances

Types de résistances, Photorésistance

Une photorésistance est une résistance dont la valeur, d'une manière linéaire, change selon la quantité de lumière qui frappe sa surface.

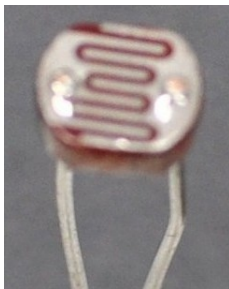


Figure 10.5 – Photorésistance.

Contrairement aux autres types de résistances, elles sont composées de matériaux semi-conducteurs.

Les résistances

Marquage alphanumérique

Le séparateur décimal et la tolérance sont alors remplacés par des lettres.

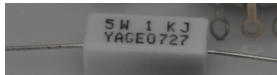
Tableau 10.1 – Code RMK (partiel) pour résistance

Lettre	Préfixe	Tolérance
L	milli	
R	-	
F	-	$\pm 1\%$
G	-	$\pm 2\%$
K	kilo	$\pm 10\%$
M	mega	$\pm 20\%$
G	giga	
T	tera	
J		$\pm 5\%$

Les résistances

Marquage alphanumérique, Lecture

- La première lettre représente la position décimale ;
- La deuxième lettre représente la tolérance.



Résistance de $1\text{ k}\Omega$, $\pm 5\%$

Les résistances

Marquage de couleurs

Tableau 10.2 – Code de couleur (partiel) IEC 60062

Couleur	Valeur	Multiplicateur	Tolérance
Absent	-	-	±20%
Argent	-	10^{-2}	±10%
Or	-	10^{-1}	±5%
Noir	0	10^0	-
Brun	1	10^1	±1%
Rouge	2	10^2	±2%
Orange	3	10^3	±0,05%
Jaune	4	10^4	±0,02%
Vert	5	10^5	±0,5%
Bleu	6	10^6	±0,25%
Violet	7	10^7	±0,10%
Gris	8	10^8	±0,01%
Blanc	9	10^9	-

Les résistances

Marquage de couleurs, Lecture

Selon le nombre de bandes :

- 3 : 1^{er} nombre, 2^e nombre, multiplicateur
- 4 : 1^{er} nombre, 2^e nombre, multiplicateur, tolérance
- 5 : 1^{er} nombre, 2^e nombre, 3^e nombre, multiplicateur, tolérance
- 6 : 1^{er} nombre, 2^e nombre, 3^e nombre, multiplicateur, tolérance, Temperature coefficient of resistance (TCR)



Résistance de $845 \text{ k}\Omega$, $\pm 1 \%$

Les résistances

Applications

Les principaux usages de résistances.

Les résistances

Applications, Limiteur de courant

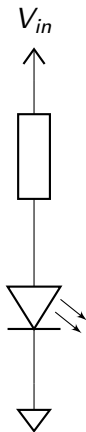


Figure 10.6 – Limiteur de courant.

Les résistances

Applications, Diviseur de tension

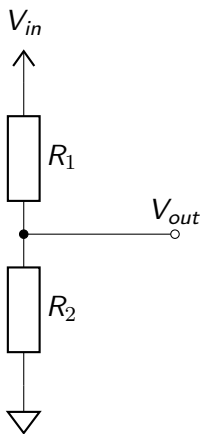


Figure 10.7 – Diviseur de tension.

Les résistances

Applications, Résistances de rappel

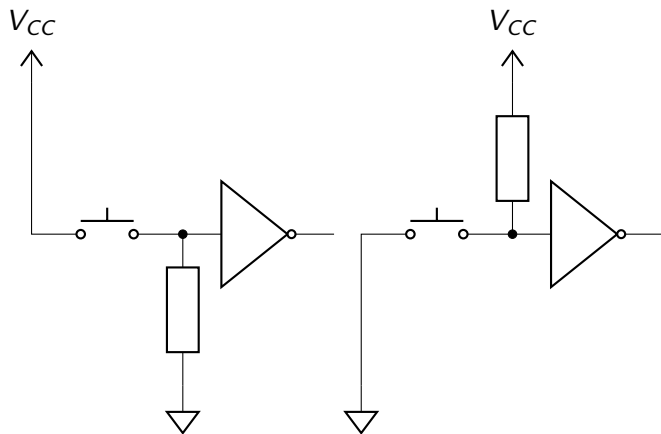


Figure 10.8 – Résistances de rappel (niveau bas et niveau haut).

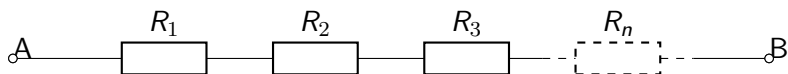
Les résistances

Réseaux et résistance équivalente

Il est possible de faire des « réseaux » de résistances pour atteindre une valeur ou une puissance spécifique.

Les résistances

Réseaux et résistance équivalente, Série

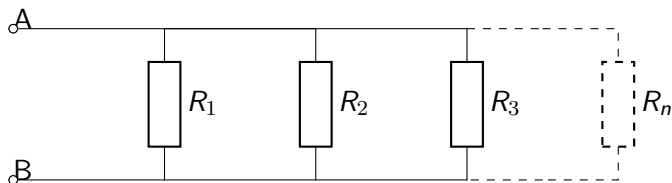


$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \cdots R_n \quad (10.1)$$

- La tension est la somme des tension aux bornes de chaque résistances
- Le courant est le même à travers le circuit.

Les résistances

Réseaux et résistance équivalente, Parallèle



$$R_{eq} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \cdots 1/R_n} \quad (10.2)$$

- La tension est la même aux bornes de chaque résistances ;
- Le courant est la somme des courants à travers le circuit.

Les résistances

Exercices

Une résistance avec les couleurs rouge, violet, brun et or.

Quels sont :

- Sa valeur attendue
- Sa tolérance
- Sa plage de valeur réelle

Les résistances

Exercices, Réponses

① $2,7,1 \Rightarrow 27 \times 10^1 \Rightarrow 270 \Omega$

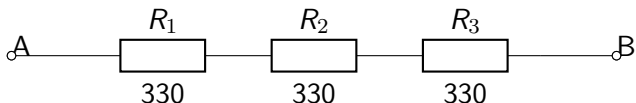
② $\pm 5\%$

③ $256,5 \Omega \text{ à } 283,5 \Omega$

Les résistances

Exercices

À partir du circuit suivant :



En supposant une tension de 10V aux bornes du circuit, calculer :

- La résistance équivalente
- Le courant dans chacune des résistances
- La tension aux bornes de chacune des résistances
- La puissance de chacune des résistances

Les résistances

Exercices, Réponses

① $R_{eq} = 330 + 330 + 330 \Rightarrow 990 \Omega$

② $I = \frac{10}{990} \Rightarrow 0,01 \text{ A}$

③ La tension aux bornes de chacune des résistances :

- $U_{R_1} = 330 \times 0,01 \Rightarrow 3,3 \text{ V}$

- $U_{R_2} = 330 \times 0,01 \Rightarrow 3,3 \text{ V}$

- $U_{R_3} = 330 \times 0,01 \Rightarrow 3,3 \text{ V}$

④ La puissance de chacune des résistances :

- $P_{R_1} = 3,3 \times 0,01 \Rightarrow 0,03 \text{ W}$

- $P_{R_2} = 3,3 \times 0,01 \Rightarrow 0,03 \text{ W}$

- $P_{R_3} = 3,3 \times 0,01 \Rightarrow 0,03 \text{ W}$

Les condensateurs

Un condensateur (*capacitor*) sert à emmagasiner une charge électrique. Il possède les caractéristiques principales suivantes :

- Capacitance : farad (F);
- Tension maximale : volt (V).

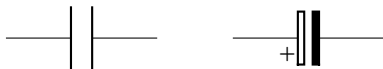


Figure 11.1 – Symboles schématiques de condensateurs (non polarisé, polarisé) (C).

Les condensateurs

Fabrication

Un condensateur est fabriqué par des plaques de métal (armatures) séparées par un diélectrique (isolant).

Le diélectrique, la surface des plaques, leurs nombres et la distance entre celles-ci déterminent la capacité d'un condensateur.

Les condensateurs

Fonctionnement

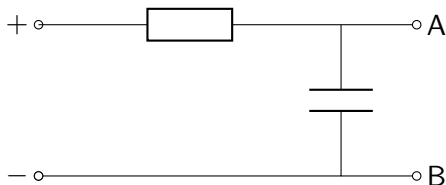
Lorsque que mis sous tension, le courant circule jusqu'à ce que les tensions électriques sur les deux plaques soient égales. A partir de ce moment, plus aucun courant ne passe et on dit que le condensateur est chargé.

En coupant la source de courant, le condensateur va libéré la charge emmagasinée, jusqu'à ce que les tension des plaques soient de nouveau égales.

Les condensateurs

Fonctionnement, Constate de temps

Dans circuit simplifié comme le suivant :



Le temps que prendra un condensateur à se « charger » se calcule avec la formule [11.1](#).

$$\tau = R \times C \quad (11.1)$$

Ce qui équivaut à 63,2% de la tension et 36,8% de l'intensité.

On considère un condensateur complètement chargé après 5τ .

Les condensateurs

Types de condensateurs

Le type d'un condensateur dépend principalement de son diélectrique.

Voici les principaux.

Les condensateurs

Types de condensateurs, Condensateurs variables

Ce sont souvent des condensateurs utilisant l'air comme diélectrique.

Les plaques de la partie mobile (rotor) s'emboîtent dans celles de la partie fixe (stator), changeant la valeur du condensateur selon l'aire de la surface mise en parallèle.

Les condensateurs

Types de condensateurs, Condensateurs en céramique

Condensateurs à valeurs fixes d'on le diélectrique est fait de céramique.



Figure 11.2 – Condensateur en céramique.

Les condensateurs

Types de condensateurs, Condensateurs à film

Le diélectrique est fait d'un film plastique.

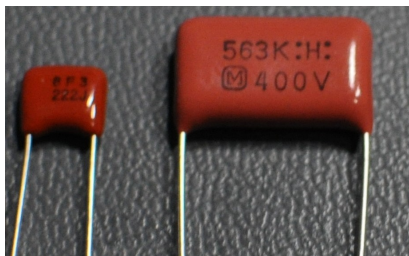


Figure 11.3 – Condensateurs à film.

Les condensateurs

Types de condensateurs, Condensateurs électrolytiques

Ce type de condensateur est polarisé.

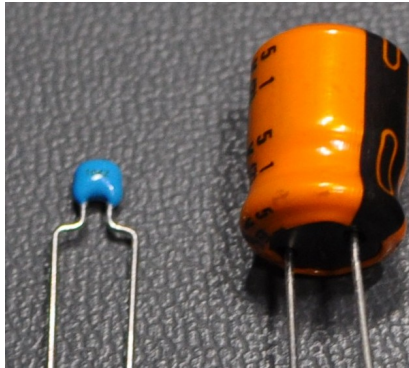


Figure 11.4 – Condensateurs électrolytiques tantalum et aluminium.

Les condensateurs

Applications

Voici les principaux usages des condensateurs.

Les condensateurs

Applications, Découplage

Installés en parallèle près des broches d'alimentation d'un circuit **CC**, ils permettent d'atténuer les variations de tension.

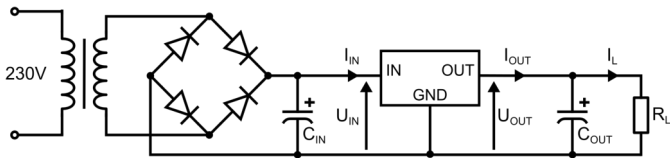


Figure 11.5 – Condensateurs de découplage dans un circuit d'alimentation.

Les condensateurs

Applications, Filtres

Ils sont aussi utilisés pour faire des *filtres* qui permettent de bloquer ou laisser passer certaines fréquences.

Les condensateurs

Réseaux et capacitance équivalente

Tout comme les résistances, les condensateurs peuvent être branchés entre eux en série et en parallèle.

Les condensateurs

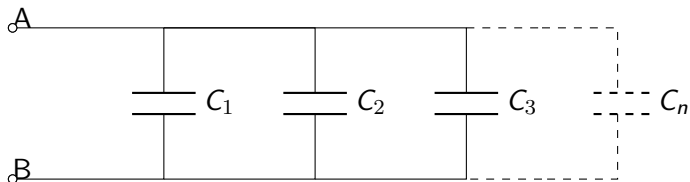
Réseaux et capacitance équivalente, Série



$$C_{eq} = \frac{1}{1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3 \dots 1/c_n} \quad (11.2)$$

Les condensateurs

Réseaux et capacitance équivalente, Parallèle



$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \cdots C_n \quad (11.3)$$

Les condensateurs

Exercices

- 1 La capacité totale de trois condensateurs de $15\ \mu\text{F}$ branchés en série est égale à quoi ?
- 2 Quel ensemble de condensateurs en série permettrait de remplacer le plus exactement possible un condensateur défectueux de $10\ \mu\text{F}$?

Les condensateurs

Exercices, Réponses

- ① $5 \mu\text{F}$
- ② Deux condensateurs de $20 \mu\text{F}$

Une bobine (*inductor*) s'oppose aux changements de *courant*.

Elles possèdent les caractéristique suivantes :

- Inductance : henry (H)



Figure 12.1 – Symbole schématique d'une bobine (L).

Les bobines

Fabrication

Une bobine est formée d'un conducteur enroulé autour d'un noyau. Ce noyau est le plus souvent ferreux.

Le type de matériel utilisé pour le noyau, son diamètre et sa longueur ainsi que le nombre de tour du conducteur détermine sa valeur.

Les bobines

Fonctionnement

Un *courant* circulant dans un conducteur entraîne la formation d'un champ magnétique perpendiculaire au conducteur.

Ce champ magnétique s'oppose aux fluctuations du courant. Un courant continu y circule sans restriction.

Lorsque la source de courant est coupée, le champ magnétique s'effondre (*collapse*) et créer un courant de sens inverse dans le conducteur de la bobine.

Les bobines

Types

Nous allons voir un bref aperçu de différents types de bobines.

Les bobines

Types, Air

Ce type de bobine est simplement un conducteur isolé et enroulé.

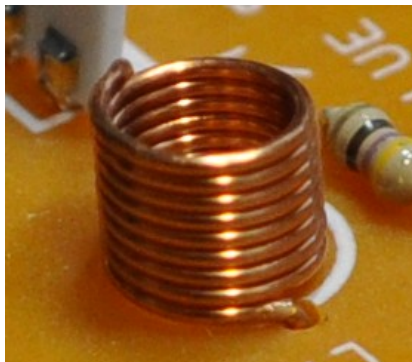


Figure 12.2 – Bobine à air.

Les bobines

Types, Ferrite

Ce type de bobine est semblable à une bobine à air mais le noyau est un corps ferreux, appelé *ferrite*. Ce noyau peut parfois être ajustable.

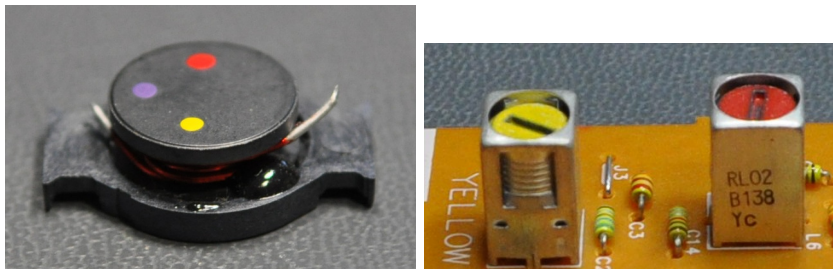


Figure 12.3 – Bobines à ferrite (fixe, variables).

Les bobines

Types, Toroïdal

Ce type de bobine est composé d'un conducteur enroulé autour d'un anneau de ferrite.



Figure 12.4 – Bobine toroïdal.

Les bobines

Applications

Voici quelques applications utilisant des bobines.

Les bobines

Applications, Lissage d'une alimentation ou signal

Suppression de signaux parasites sur des câbles de communications ou d'alimentation.

Le conducteur passe dans un tube de ferrite. Il peut parfois faire plusieurs tours.



Figure 12.5 – Ferrite autour d'un fil.

Les bobines

Applications, Filtres

Ils sont aussi utilisés pour faire des *filtres* qui permettent de bloquer ou laisser passer certaines fréquences.

Les bobines

Réseaux et inductance équivalente

Tout comme les résistances et les condensateurs, les bobines peuvent être branchées entre elles en série et en parallèle.

Les bobines

Réseaux et inductance équivalente, Série

Dans un circuit contenant plusieurs bobines en *série*, l'inductance équivalente (L_{eq}) entre les points A et B est représentée par l'équation 12.1

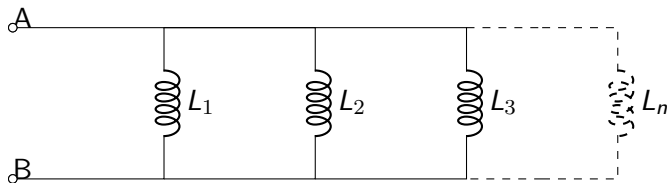


$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 \cdots L_n \quad (12.1)$$

Les bobines

Réseaux et inductance équivalente, Parallèle

Dans un circuit contenant plusieurs bobines en *parallèle*, l'inductance équivalente (L_{eq}) entre les points A et B est représentée par l'équation 12.2



$$L_{eq} = \frac{1}{1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 \cdots 1/L_n} \quad (12.2)$$

Les bobines

Exercices

- 1 Une bobine défectueuse de 10 mH peut être remplacée par deux bobine en série de quelle valeurs ?

Les bobines

Exercices, Réponses

① 5 mH

Réactance et impédance

Maintenant nous allons voir les effets des résistances, condensateurs et bobines combinés.

Réactance et impédance

Réactance

La réactance est un effet de résistance sur un circuit capacitif ou inductif.

- Symbole : X
- Unité de mesure : ohm (Ω)

Une réactance positive sera qualifiée d'inductive, alors qu'une réactance négative sera qualifiée de capacitive.

Réactance et impédance

Réactance, Capacitive

La réactance capacitive est *inversement* proportionnelle à la fréquence et est calculée avec l'équation 13.1.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (13.1)$$

Où :

- X_C : la réactance capacitive, en ohms (Ω)
- π : la constante *pi* (3.14)
- f : la fréquence, en hertz (Hz)
- C : la capacitance, en farads (F)

Réactance et impédance

Réactance, Inductive

La réactance inductive est proportionnelle à la fréquence et est calculée avec l'équation 13.2.

$$X_L = 2\pi fL \quad (13.2)$$

Où :

- X_L : la réactance inductive, en ohms (Ω)
- π : la constante *pi* (3.14)
- f : la fréquence, en hertz (Hz)
- L : l'inductance, en henrys (H)

Réactance et impédance

Impédance

L'impédance est la somme de la résistance et de la réactance.

- Symbole : Z
- Unité de mesure : ohm (Ω)

Calculée avec l'équation 13.3.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (13.3)$$

Où :

- Z : l'impédance, en ohms (Ω)
- R : la résistance, en ohms (Ω)
- X_L : la réactance inductive, en ohms (Ω)
- X_C : la réactance capacitive, en ohms (Ω)

Réactance et impédance

Résonance

Un circuit est dit résonnant quand les réactances conductives et inductives sont égales.

Elle est calculée avec l'équation 13.4.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (13.4)$$

L'ajout d'une résistance dans le circuit n'influence pas la fréquence de résonance (circuit LCR).

Réactance et impédance

Circuits

Différents combinaisons de circuits peuvent être faites, en série et en parallèle.

Réactance et impédance

Circuits, RL

Une résistance et une bobine.

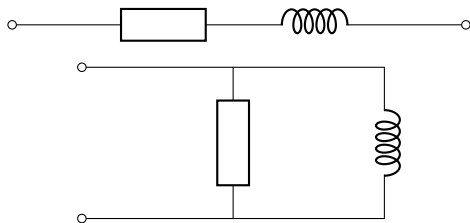


Figure 13.1 – Circuits RL : série et parallèle.

Réactance et impédance

Circuits, RC

Une résistance et un condensateur.

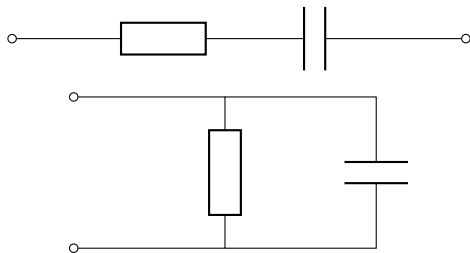


Figure 13.2 – Circuits RC : série et parallèle.

Réactance et impédance

Circuits, LC

Une bobine et un condensateur.

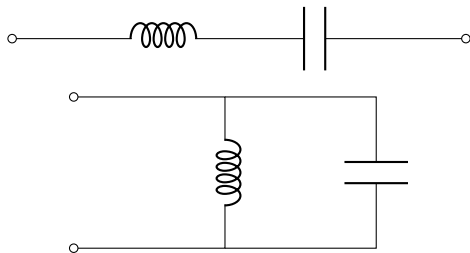


Figure 13.3 – Circuits LC : série et parallèle.

Réactance et impédance

Circuits, RLC

Une résistance, une bobine et un condensateur.

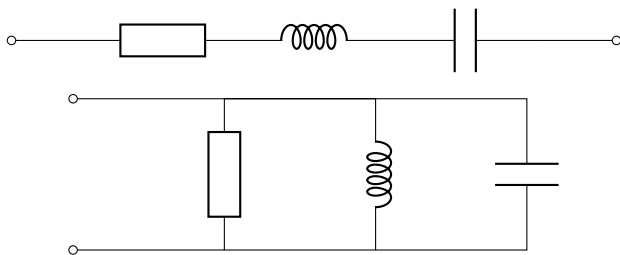


Figure 13.4 – Circuits RLC, série et parallèle.

Réactance et impédance

Exercices

- 1 Lorsqu'on applique une tension alternative de fréquence variable aux bornes d'une bobine montée en parallèle avec un condensateur, on constate que l'impédance atteint son maximum à une fréquence donnée. Cette fréquence est nommé :
- 2 La résonance est la condition qui existe quand :

Réactance et impédance

Exercices, Réponses

- ① La fréquence de résonance
- ② La réactance inductive et la réactance capacitive sont égales

Transformateurs

Un transformateur (*transformer*) est un composant servant à augmenter ou abaisser une tension électrique [CA](#).

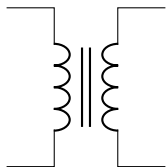


Figure 14.1 – Transformateur (T).

Transformateurs

Fabrication

Un transformateur est en fait deux bobines enroulées sur le même noyau.

Ce noyau peut être une simple ferrite ou être un assemblage de fines lamelles métalliques dans un même boîtier.

Transformateurs

Fonctionnement

Un courant **CA** aux bornes de la bobine *primaire* (courant magnetisant) en induit un autre aux bornes de la bobine *secondaire*.

Le ratio du nombre de tours de conducteurs entre le primaire et le secondaire détermine si la tension au secondaire est augmentée (step-up) ou diminuée (step-down) et dans quelle proportion.

Transformateurs

Applications

Voici quelques usages des transformateurs.

Transformateurs

Applications, Isolation

Transformateur ayant rapport 1 : 1.

Il sert à protéger un circuit AC d'une tension CC accidentelle, comme par exemple la foudre.

Transformateurs

Applications, Baluns

Lorsque l'impédance d'un circuit doit être ajusté pour un autre circuit.

Souvent utilisé pour « matcher » des circuits RF.



Figure 14.2 – Balun.

Transformateurs

Applications, Transformateur d'alimentation

Un transformateur utilisé pour abaisser la tension secteur 120 V en une tension plus basse (< 50 V).

Il est souvent le premier élément d'un bloc d'alimentation CC.



Figure 14.3 – Transformateur d'alimentation.

Transformateurs

Exercices

- 1 Le primaire d'un transformateur consomme 250 mA sous 240 V. En supposant le transformateur sans pertes et un seul enroulement secondaire, quel est le courant fourni au secondaire sous 12 V ?
- 2 Un transformateur comprend un primaire et un secondaire dont le rapport de transformation est de $1/5$. En supposant un rendement parfait, quel est le courant primaire si le secondaire fournit 50 mA ?

Transformateurs

Exercices, Réponses

① 5 A

② 250 mA

Haut-parleurs

Un haut-parleur est en fait un inducteur autour d'un aimant permanent et attaché à une membrane.

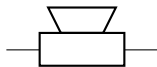


Figure 15.1 – Symbole schématique d'un haut-parleur (*LS*).

Les variations de courant induisent un champ magnétique qui interagit avec l'aimant, faisant vibrer la membrane et reproduisant une fréquence.

microphones

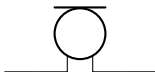


Figure 16.1 – Symbole schématique d'un microphone (*MK*).

Crystaux

(*Crystal oscillator*)

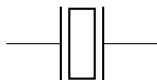


Figure 17.1 – Symbole schématique d'un quartz (Y).

Solar cell

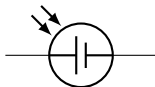


Figure 18.1 – Symbole schématique d'une cellule voltaïque (*BT*).

Diodes

Les diodes

Diodes à usage général

Composant à semi-conducteur formé d'une jonction $P-N$ ayant pour principale caractéristique de ne laisser passer le courant que dans un sens, c'est à dire de l'anode (A) vers la cathode (K).

Caractéristiques :

- Puissance maximale (P_{MAX})

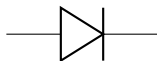


Figure 19.1 – Symbole schématique d'une diode (D).



Les diodes

Diodes à usage général

Lorsqu'une diode est branchée en *polarisation directe*, elle laisse passer le courant mais seulement une fois que sa *tension de seuil* (forward-threshold voltage), appelée V_F , est atteinte.

Cette « perte » de tension doit être considérée lors des calculs et dépend du matériau utilisé pour la fabrication de la diode :

- Silicium : $\approx 0,7\text{V}$
- Germanium : $\approx 0,3\text{V}$ à $0,4\text{V}$

Branchée en *polarisation inverse*, la diode ne laisse passer qu'un faible courant de fuite (*leakage*) appelé I_S .

Les diodes

Diodes à usage général, Protection

Protection relais

Les diodes

Diodes à usage général, Redressement

Conversion d'un courant alternatif en un courant continu pulsatif.

Seulement la partie positive du signal ne peut passer.

circuit

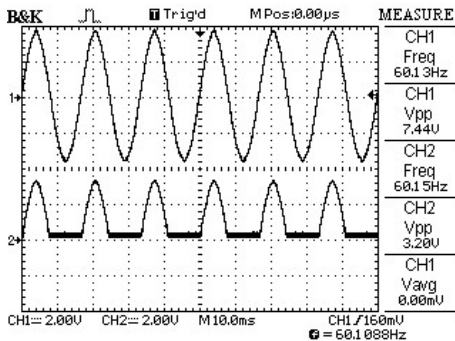
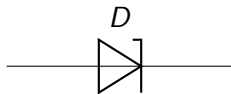


Figure 19.3 – Redressement d'un signal alternatif.

Les diodes

Diodes Zener

Contrairement à une diode conventionnelle, une diode Zener en polarisation inverse est capable de maintenir une tension stable sans être détruite.

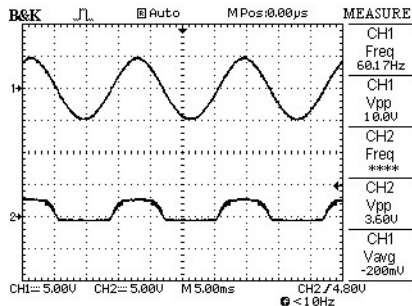
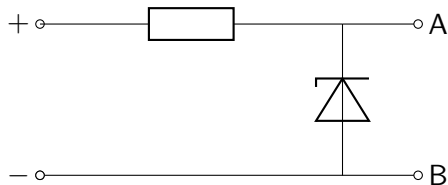


Symbole d'une diode Zener.

Les diodes

Diodes Zener, Polarisation

En polarisation inverse, une fois la tension Zener (V_Z) atteinte, une diode Zener se met à conduire dans le sens inverse, tout en gardant la tension constante.



Zener comme limiteur de tension.

Les diodes

Diodes électroluminescentes

Une **diode électroluminescente (DEL)** s'illumine lorsque qu'elle est en polarisation directe. Caractéristiques importantes :



luminosité et couleur

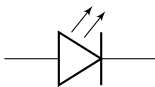
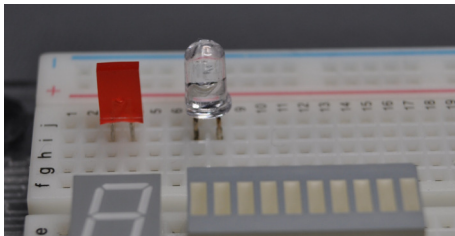


Figure 19.4 – Symbole d'une DEL.



Les diodes

Diodes électroluminescentes, Résistance de protection

Le calcul de la valeur et de la puissance de la résistance de protection se fait avec les équations 19.1 et 19.2.

$$R = \frac{U_s - U_f}{I_f} \quad (19.1)$$

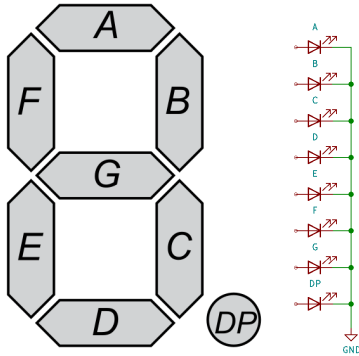
$$P = (U_s - U_f) \times I_f \quad (19.2)$$

Où :

- U_s : La tension de la source d'alimentation ;
- U_f : La tension *forward* de la DEL ;
- I_f : Le courant *forward* de la DEL.

Les diodes

Diodes électroluminescentes, Afficheur 7 segments



Disposition des segments DEL (concept et physique).

Selon la fiche technique de la [DEL HLMP-K150](#)

- $V_F = 1,6\text{ V}$
- $I_F = 1\text{ mA}$

Calculer la résistance nécessaire pour une tension d'alimentation de

- 1 5 V
- 2 9 V
- 3 9,6 V

Les diodes

Exercices

$$\textcircled{1} R = \frac{5 - 1,8}{0,001} = 3200 \Rightarrow 3,2 \text{ k}\Omega$$

$$\textcircled{2} R = \frac{9 - 1,8}{0,001} = 7200 \Rightarrow 7,2 \text{ k}\Omega$$

$$\textcircled{3} R = \frac{9,6 - 1,8}{0,001} = 7800 \Rightarrow 7,8 \text{ k}\Omega$$

- Quels segments sont nécessaires pour afficher la lettre « H » ?
- Quels segments sont nécessaires pour afficher la lettre « L » ?

Les diodes

Exercices

① F,B,G,E,C

② F,E,D

Explication transistors

Les transistors

Transistors bipolaires

Composant à semi-conducteur formée de jonctions $N-P-N$ ou $P-N-P$.

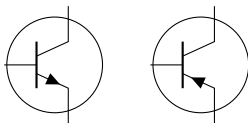


Figure 20.1 – Symboles schématiques de transistor (Q) NPN et PNP.

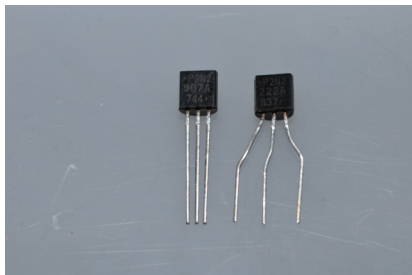


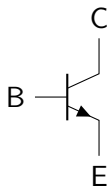
Figure 20.2 – Transistors.

Les transistors

Transistors bipolaires

Un transistor bipolaire est muni de 3 électrodes :

- Collecteur (C) : l'entrée du signal
- Base (B) : le contrôle du signal
- Émetteur (E) : la sortie du signal



Les transistors

Transistors bipolaires, Fonctionnement

Une légère augmentation du courant entre la base et l'émetteur en contrôle un plus grand entre l'émetteur et le collecteur.

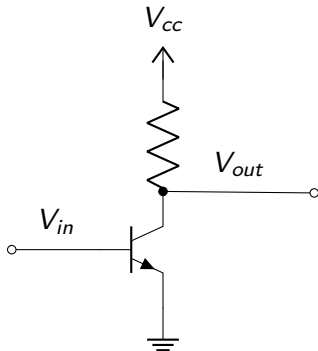


Figure 20.3 – Fonctionnement d'un transistor (émetteur commun).

Les transistors

Transistors bipolaires, Fonctionnement

Le gain en courant, bêta (β) ou h_{FE} , est le rapport entre les courants circulant entre le collecteur et la base.

$$\beta = \frac{I_c}{I_b} \quad (20.1)$$

Où :

- β : gain
- I_c : intensité au collecteur (A)
- I_b : intensité à la base (A)

Les transistors

Transistors bipolaires, Usages

Émetteur commun

Collecteur commun

Base commune

Les transistors

Transistors bipolaires, Interrupteur

Un transistor peut aussi être utilisé comme un interrupteur en *saturant*, ou non, la base (V_{cc} vs GND).

transistor sw

Les transistors

Transistors à effet de champ

Transistor dans lequel le courant d'un canal est contrôlé par un champ électrique.

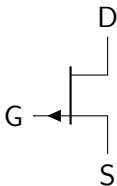


Figure 20.4 – Symboles des transistors à effet de champ (Canal P, Canal N).

Les transistors

Transistors à effet de champ

- Drain : électrode où les porteurs de charge sortent du canal.
- Porte (gate) : électrode commandant la conductance du canal, proportionnellement à la *tension* de polarisation.
- Source : électrode où les porteurs de charge entrent dans le canal.



Les transistors

Transistors à effet de champ



Les transistors

Formats

Format *TO* (Transistor Outline)

format tyransistors

Les transistors

Formats, TO-92

- Boitier : Plastique ou epoxy ;
- Nombre de broches : 3 ;
- Espacement horizontal des broches : 0,05 po (1,274 mm).

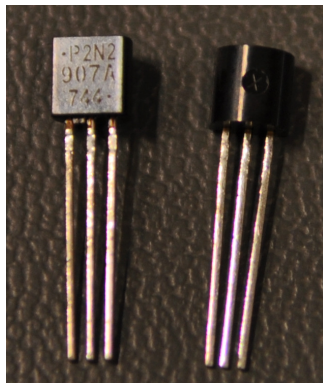


Figure 20.5 – TO-92 (avant et arrière).

Les transistors

Formats, TO-220

- Boitier : Céramique monté sur une plaque d'aluminium et muni d'un trou pour sa fixation à un radiateur (heatsink) optionnel ;
- Nombre de broches : 3 ;
- Espacement horizontal des broches : 0,1 po (2,54 mm).

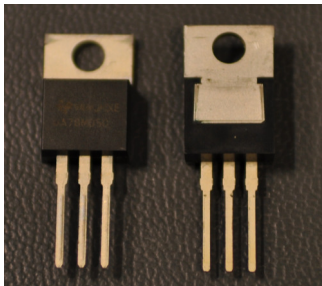


Figure 20.6 – TO-220 (avant et arrière).

Le décibel

Le décibel (dB) est le dixième de l'unité non *SI bel* (B).

Il sert à exprimer un rapport entre deux puissances, selon une échelle logarithmique calculé avec l'équation 21.1.

$$X_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \quad (21.1)$$

Le décibel est souvent utilisé en télécommunication et en audio pour indiquer un gain ou une perte dans un signal.

Tableau 21.1 – Rapports des puissances et décibels

db	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10	16	20	30
Rapport	1	1,26	1,6	2	2,5	≈3,2	4	5	8	10	40	100	1000

Le décibel

Exercices

- Un gain de 2 d'un signal est exprimé comment en décibel ?

Le décibel

Exercices

① 3 dB

Les circuits intégrés

Un **circuit intégré (CI)** est un ensemble de composants intégrés dans un même module, de plastique ou de céramique.

Un **CI** contient la plupart du temps des transistors, leurs nombres variant entre quelques dizaines et des millions.

Ils sont utilisés entre autres, comme :

- Amplificateurs opérationnels (op amp) ;
- Régulateur de tension ;
- Convertisseurs de niveau électrique ;
- Convertisseurs analogiques et digitaux ;
- Mémoires ;
- Processeurs.

Les circuits intégrés

Électricité statique

Une **décharge électrostatique (DES)**, ESD en anglais, est souvent inoffensive pour un être humain mais peut endommager ou détruire des composants de types *semi-conducteurs*.

Les circuits intégrés

Formats

a faire

Dual in-line package (DIP)

Format à insérer.

- Boitier : Plastique (PDIP) ou céramique (CDIP) ;
- Nombre de broches : variables (4, 8, 16, 28, 32) ;
- Espacement horizontal des broches : 0,1 po
- Espacement vertical des broches :
 - Mince (narrow) : 0,3 po
 - Large (wide) : 0,6 po

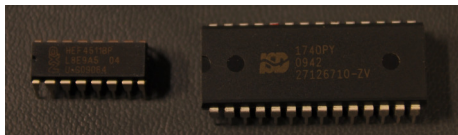


Figure 22.1 – DIP mince et large.

Les circuits intégrés

78xx

Familles de régulateurs de tension linéaire.

Souvent dans un format TO-220 :

- Input : Tension d'entrée
- Common :

Mise à la terre
- Output : Tension de sortie
- Avantages
 - Seulement un condensateur externe est requis comme composant supplémentaire ;
 - Une protection de courant est intégrée au régulateur.
- Inconvénients :
 - La tension d'entrée doit toujours être plus élevée que celle de sortie,

Les circuits intégrés

78xx

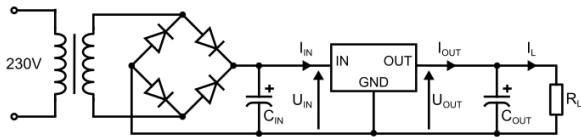


Figure 22.2 – Exemple d'un circuit de régulation CA/CC.

Les circuits intégrés

LM317

Régulateur de tension linéaire ajustable introduit par *National Semiconductor* (Texas Instruments).

Amplificateur audio basse tension introduit par *National Semiconductor* (Texas Instruments).

Avec une source d'alimentation de 9 V, il est possible d'avoir une puissance de sortie jusqu'à 1 W, selon le modèle.

Minuterie introduit par *Signetics* (NXP).

Les circuits intégrés

Logique

74xx & 40xx

Les circuits intégrés

Opto-coupleurs

opto-coupleurs

Le multimètre

Un multimètre comprend au minimum les fonctions suivantes :

- Ampèremètre ;
- Voltmètre ;
- Ohmmètre.



Figure 25.1 – Différents multimètres (analogue et numérique).

Le multimètre

Types

Il existe deux grands types de multimètre :

- Analogue : cadran gradué et aiguille ;
- Numérique : écran **affichage à cristaux liquides (ACL)**.

Le multimètre

Éléments

Nous allons maintenant voir les principaux éléments d'un multimètre.

Le multimètre

Éléments, Sélecteur et fonctions

Les différentes fonctions sont accessibles via un sélecteur et parfois quelques boutons.



Figure 25.2 – Sélecteur de fonctions d'un multimètre.

Le multimètre

Éléments, Sondes

Le multimètre est raccordé au circuit (ou composant) à mesurer à l'aide de fils toronnés, identifiés par les couleurs rouge et noire.

Une des extrémités, très pointue, sert de sonde dans le circuit.



Figure 25.3 – Sondes d'un multimètre.

Le multimètre

Éléments, Bornes

L'autre extrémité du fil d'essai est branchée au multimètre, de façon permanente ou via une fiche de type « banane » de 4 mm.

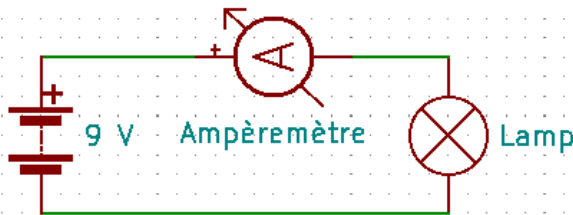


Figure 25.4 – Bornes d'un multimètre.

Le multimètre

Ampèremètre

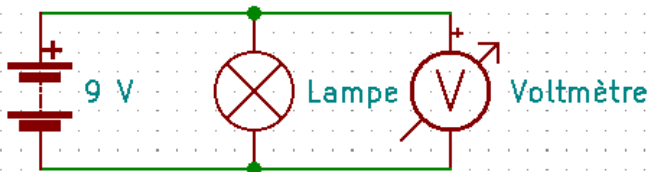
- 1 Brancher le fil d'essai noir dans le connecteur « commun »
- 2 Brancher le fil d'essai rouge sur la borne de la fonction « A » de la bonne plage de valeur
- 3 Sélectionner la plage de lecture adéquate pour la fonction « A »
- 4 Insérer les sondes en **série** dans le circuit, tout en respectant la polarité



Le multimètre

Voltmètre

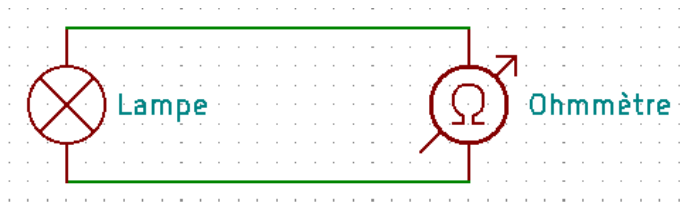
- 1 Brancher le fil d'essai noir dans le connecteur « commun »
- 2 Brancher le fil d'essai rouge sur la borne de la fonction « V » pour la plage voulue
- 3 Sélectionner la plage de lecture adéquate de la fonction « V »
- 4 Insérer les sondes en **parallèle** aux bornes de la tension à mesurer, tout en respectant la polarité



Le multimètre

Ohmmètre

- 1 Isoler le composant à mesurée du reste du circuit.
- 2 Brancher le fil d'essai noir dans le connecteur « commun »
- 3 Brancher le fil d'essai rouge sur la borne de la fonction « Ω »
- 4 Sélectionner la plage de lecture adéquate pour la fonction « Ω »
- 5 Placer les sondes aux bornes du composant



Nous allons voir comment réaliser des circuits temporaires.

Cette étape est souvent nécessaire avant de réaliser un circuit final et lors d'expérimentations et d'études.

Outils

Prototypage

Platines d'expérimentation

Les platines d'expérimentation sont des supports en plastique munis de points d'insertions dans lequel des contacts électriques sont déjà en place.

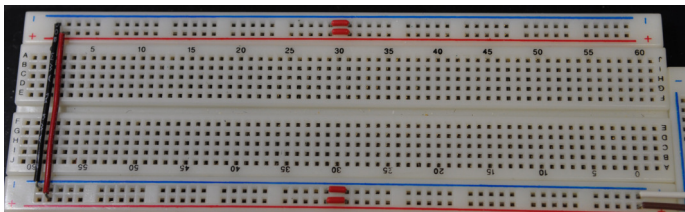


Figure 26.1 – Platines d'expérimentation « full » avec 2 « bus ».

Prototypage

Platines d'expérimentation, Cavaliers

Les différentes sections sont reliées par des *cavaliers* (*jumper wire*) de calibre 22 AWG dénudés sur 4,8 mm à 7,9 mm.

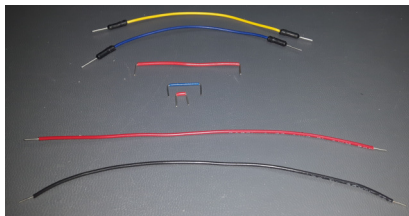


Figure 26.2 – Cavaliers divers.

Prototypage

Platines d'expérimentation, Adaptateurs

Certains composants ne sont pas conçus pour être utilisés sur des platines d'expérimentation.

Des adaptateurs peuvent être achetés, ou même construits, à cette fin.

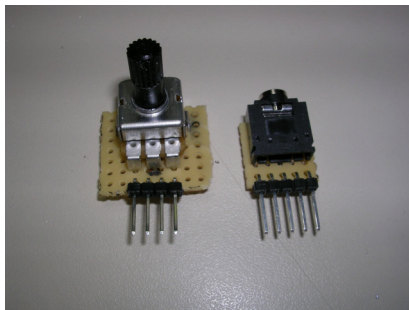


Figure 26.3 – Adaptateurs divers pour platine.

Prototypage

Câbles de liaison

Parfois, on doit relier des composants ayant des broches ou des contacts ne pouvant être enfichés sur une platine.

On utilise alors des *câbles de liaisons*.

Les plus courants sont ceux munis de pinces crocodiles (*alligator clip*).

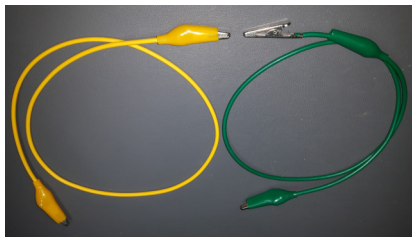


Figure 26.4 – Câbles de liaison avec pinces crocodiles.

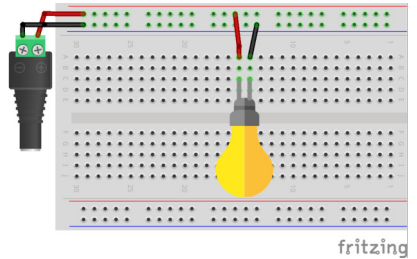
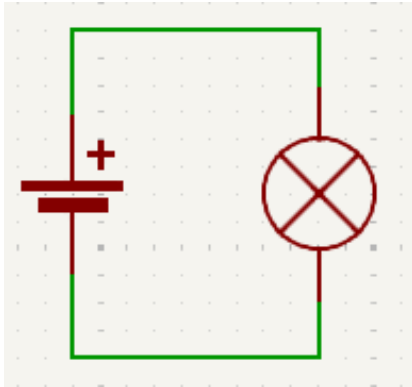
Laboratoires

Mon premier circuit, Matériel requis

- Platine d'expérimentation
- Cavaliers
- Source d'alimentation
- Lampe 12V

Laboratoires

Mon premier circuit, Schémas



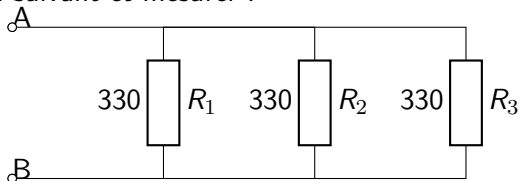
Laboratoires

Mon premier circuit, Étapes

- 1 Brancher la lampe
- 2 Insérer les fils entre les bus et la lampe
- 3 Insérer les piles/batterie dans le support
- 4 Brancher l'alimentation électrique aux bus
- 5 Vérifier que la lumière s'allume

- Refaire le circuit du laboratoire précédant.
- Mesurer la tension aux bornes de la lampe.
- Mesurer le courant circulant dans la lampe.
- Mesurer la résistance de la lampe.

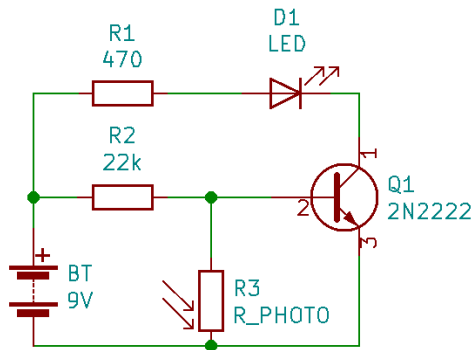
Câbler le réseau suivant et mesurer :



- La résistance équivalente
- La tension de chaque résistance
- Le courant de chaque résistance

Laboratoires

Les transistors



Mesurer la tension à la base (U_b) et au collecteur (U_c) lorsque :

- 1 La DEL est allumée
- 2 La DEL est éteinte

Laboratoires

Les transistors



① $U_b \approx V, U_c \approx V$

② $U_b \approx V, U_c \approx V$

Laboratoires

Les CI