

Introduction

Ce document pose les bases de l'électronique.

Il couvre aussi certaines questions du *Services des certificats d'opérateur radioamateur*

Chaque section comprend des explications théoriques et des exercices permettant de vérifier la compréhension des présentations.

La dernière section comprend différents laboratoires qui permettent de mettre en pratique les notions vues précédemment.

Introduction

Matériels nécessaires

Le tableau [1.1](#) contient la liste des composants requis pour les laboratoires.

Le nom de fabricant et le numéro de pièce sont à titre de référence, des substitutions sont possibles.

Introduction

Matériels nécessaires, Composants

Tableau 1.1 – Composants pour les laboratoires.

Item	Fabricant	# pièce
Support de montage	DFrobot	FIT0096
Cavaliers divers AWG #22	Bud Industries	BC-32625
Cavaliers princes crocodiles	Adafruit Industries LLC	4100
Lumière 12 V	JKL Components Corp.	2174
Résistances 470 Ω	Stackpole Electronics Inc	CFM14JT470R
Résistances 3,2 k Ω		
DEL low power	Everlight Electronics Co Ltd	HLMP-K150
Potentiomètre 10 k Ω		
Haut-parleur 8 Ω	DB Unlimited	SM231508-1
Bouton poussoir	Omron Electronics Inc	B3F-6022
Photocell	Advanced Photonix	PDV-P8103
Transistor 2N2222		
Transistor NPN		

Introduction

Matériels nécessaires, Alimentation électrique

Tableau 1.2 – Piles alcalines 1,5 V

Item	Fabricant	# pièce
Piles 1,5 V AA		
Support 6 cellules AA	MPD (Memory Protection Devices)	BH16AAW

Tableau 1.3 – Piles rechargeables 1,2 V

Item	Fabricant	# pièce
Piles 1,2 V AA	Eneloop	
Support 8 cellules AA	MPD (Memory Protection Devices)	BH28AAW

Introduction

Matériels nécessaires, Outils

Tableau 1.4 – Outils pour les laboratoires.

Item	Fabricant	# pièce	Qté
Multimètre V, A, Ω	SparkFun Electronics	TOL-18340	1
Pincette	EROP2ASA		1

Introduction

Matériels nécessaires, Distributeurs

Tableau 1.5 – Distributeurs

Nom	Site web
DigiKey	https://www.digikey.ca/
Mouser	https://www.mouser.ca/
electro sonic	https://www.e-sonic.com/
Sparkfun	https://www.sparkfun.com/
Adafruit	https://www.adafruit.com/

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	$\approx 3,1417$
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 a 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.

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

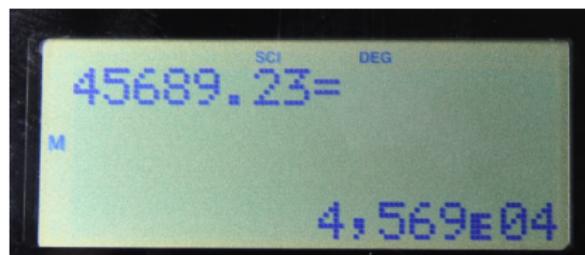


Figure 2.1 – Affichage en mode scientifique.

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.

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

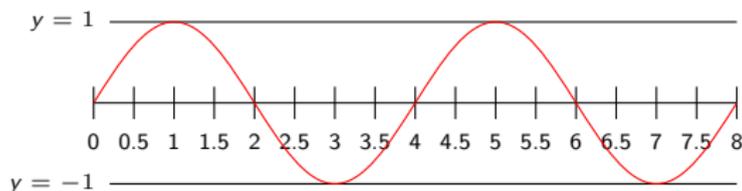


Figure 2.3 – Signal sinusoïdale de 4 secondes (0,25 Hz).

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*.

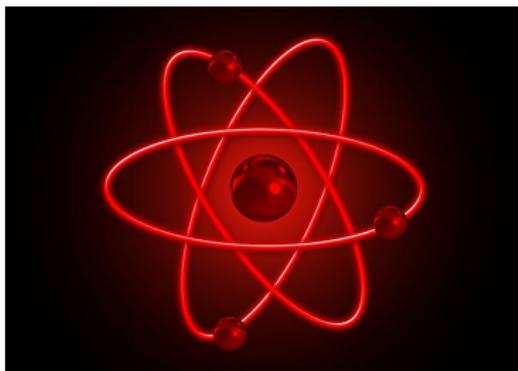


Figure 3.1 – Modèle atomique simplifié.

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.



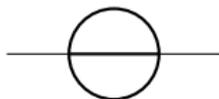
Symbole d'une source de courant.

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.



Symbole 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.



Symbole 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 de bons conducteurs électriques (en ordre croissant de résistance) :

- Argent ;
- Cuivre ;
- Or ;
- Aluminium.

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 entrainera 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*).



Symboles terre, masse, communs (2).

L'électricité

Électricité statique

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

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 Quel est la puissance dégagée par une charge soumise à un courant de 5 A sous une tension de 15 V ?
- 3 Quelle est la tension aux bornes d'une résistance de $10\ \Omega$ laissant circuler un courant de 2 A ?
- 4 Un circuit peut-il fonctionner sans charge ?

L'électricité

Exercices, Réponses

- ① Volts et ampères.
- ② $P = U \times I \Rightarrow 5 \times 15 \Rightarrow 75 \text{ W}$.
- ③ $U = I \times R \Rightarrow 2 \times 10 \Rightarrow 20 \text{ V}$.
- ④ 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 la plupart du temps fait en acier.

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 taux de variation du courant est maximal.

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 **courant alternatif (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.

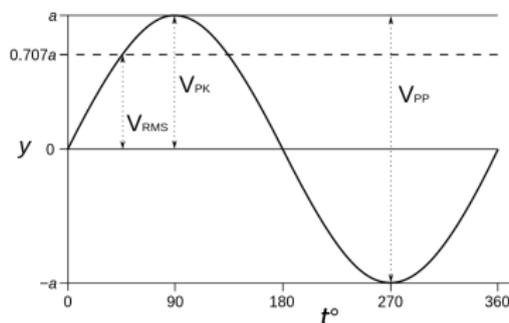


Figure 5.1 – Signal sinusoïdale avec tensions de crête et RMS.

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 Dans quel sens se dirige le *sens conventionnel* du courant ?
- 2 Combien de fois un courant **CA** de 60 Hz change de sens en une seconde ?
- 3 Quel est la tension de crête d'un circuit de 240 V **AC** ?

Courant continu et alternatif

Exercices, Réponses

- 1 Du positif vers le négatif.
- 2 60
- 3 $240 \times \sqrt{2} \Rightarrow 339,41 \text{ V}$

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).



Symboles 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, 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 6.1 – 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 6.2 – 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 6.3 – Batterie automobile au plomb de 12V.

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 6.4 – 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 6.5 – 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 6.6 – 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 et la capacité restent les mêmes

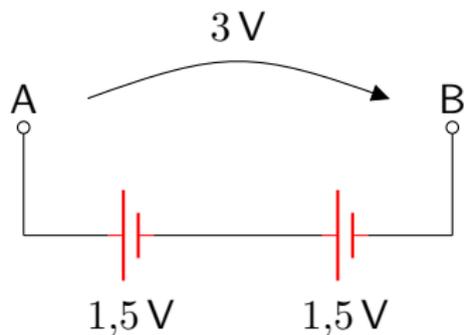


Figure 6.7 – Piles branchées en série.

Piles et batteries

Branchements, Parallèle

Caractéristiques :

- La tension reste la même
- L'intensité et la capacité s'additionnent

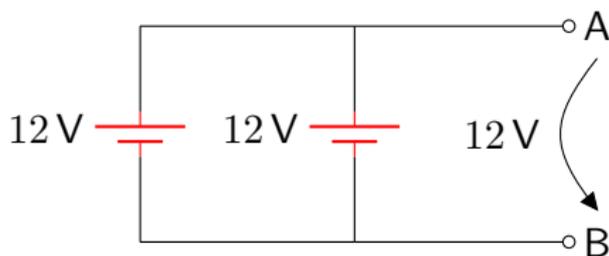


Figure 6.8 – Piles branchées en parallèle.

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.



Symbole d'un fusible.

Les coupe-circuits

Les fusible, Cylindriques

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



Figure 8.1 – Différents fusibles cylindriques.

Les coupe-circuits

Les fusible, Lames

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

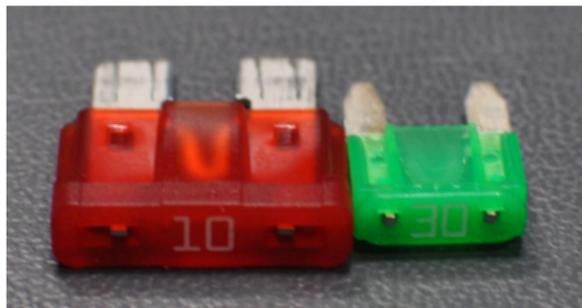


Figure 8.2 – Différents fusibles à lames.

Les coupe-circuits

Les disjoncteurs

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

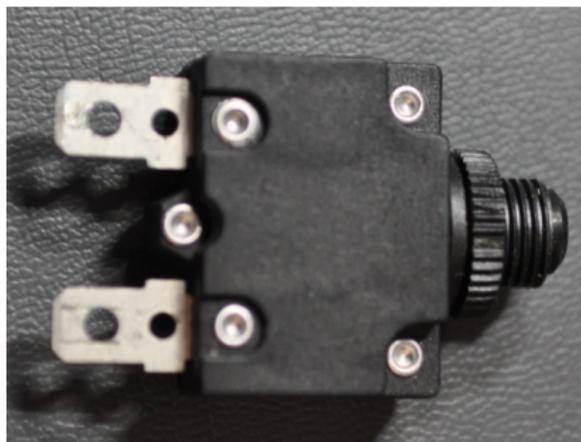


Figure 8.3 – Disjoncteur.

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.

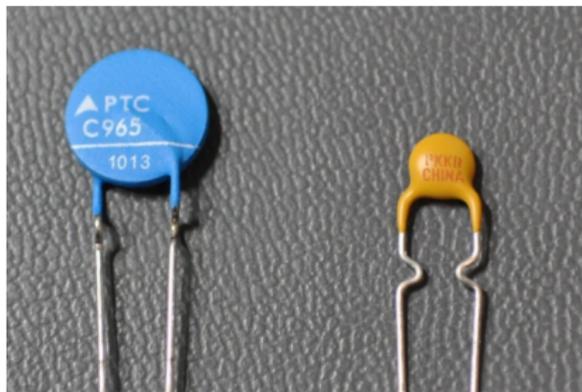


Figure 8.4 – Fusibles réarmables CTP.

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)**



Symboles 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)**



Symboles d'interrupteurs (SPST, DPST).

Les interrupteurs

Exercices

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

Les interrupteurs

Exercices, Réponses

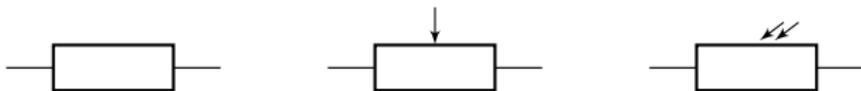
① Non

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),



Symbole d'une résistance, potentiomètre et photorésistance (R).

Les résistances

Types de résistances

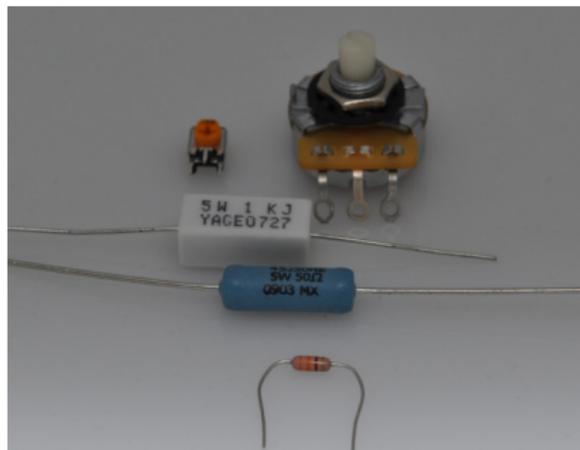


Figure 10.1 – Résistances diverses.

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.

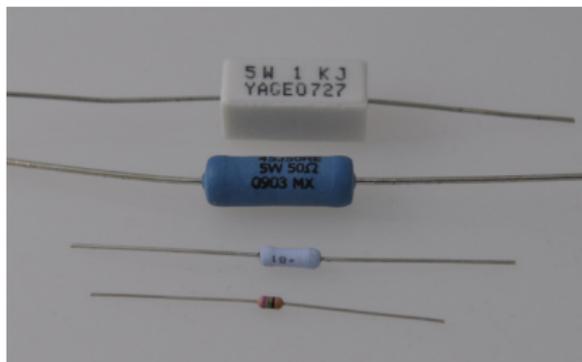


Figure 10.2 – Résistances à valeurs fixes.

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.

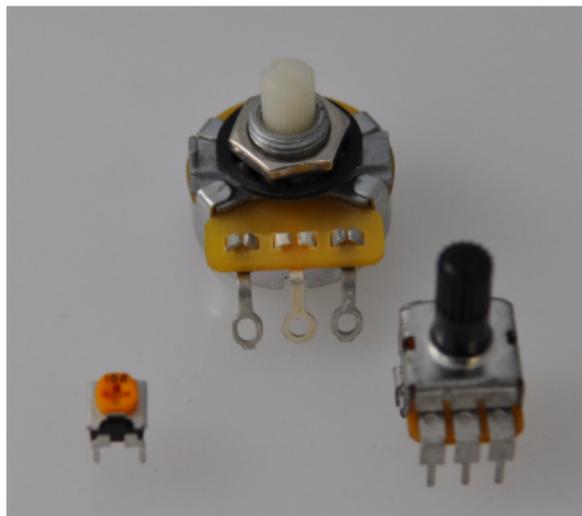


Figure 10.3 – Potentiomètres divers.

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 10.4 – 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.

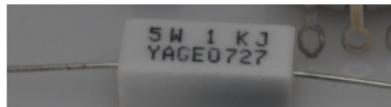
Tableau 10.1 – Code RMK (partiel) pour résistance

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

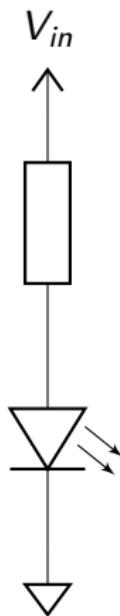


Figure 10.5 – Limiteur de courant.

Les résistances

Applications, Diviseur de tension

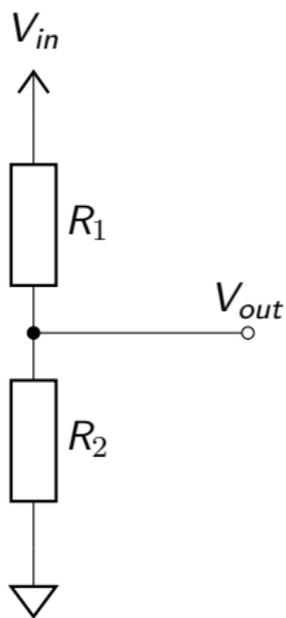


Figure 10.6 – Diviseur de tension.

Les résistances

Applications, Résistances de rappel

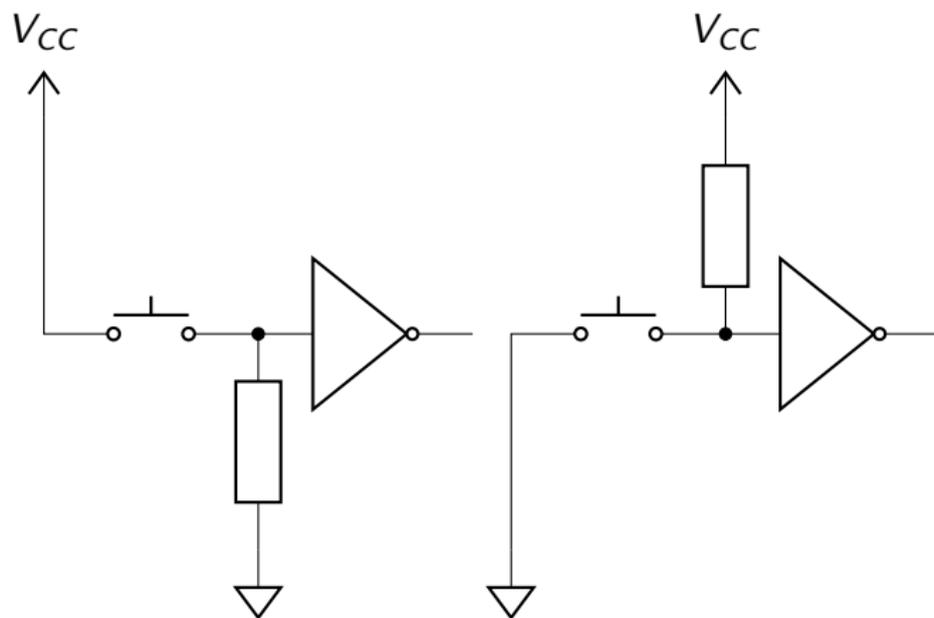


Figure 10.7 – Résistances de rappel (niveau bas et niveau haut).

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

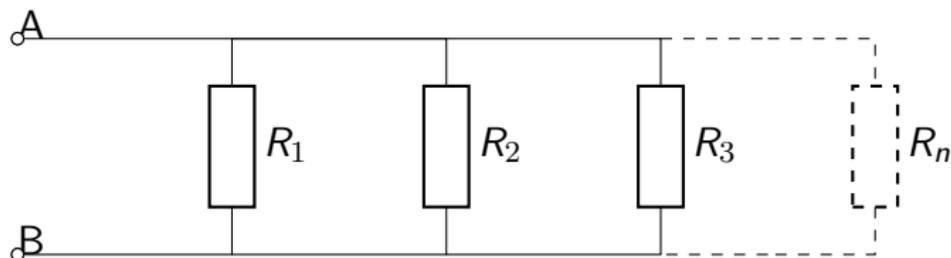


$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \cdots R_n \quad (10.1)$$

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

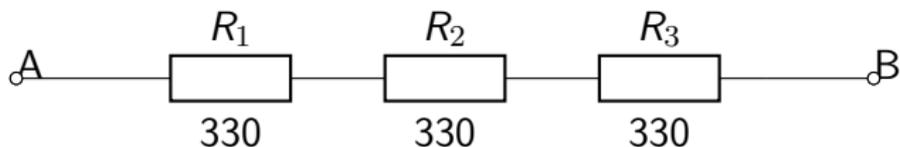
② $\pm 5 \%$

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

Les résistances

Exercices

À partir du circuit suivant :



En supposant une tension de 10 V 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).



Symboles 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

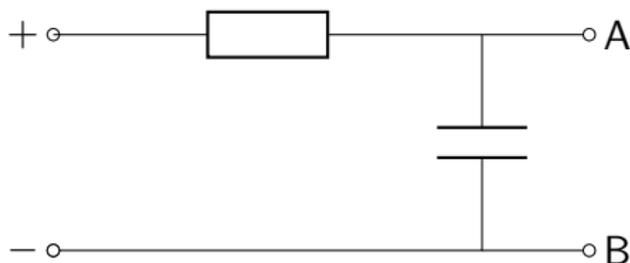
Lorsque que mis sous tension, le courant circule jusqu'à ce que les tensions électriques sur les deux plaques soient égales. A partir de ce moment, plus aucun courant ne passe et on dit que le condensateur est chargé.

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 11.1 – Condensateur en céramique.

Les condensateurs

Types de condensateurs, Condensateurs à film

Le diélectrique est fait d'un film plastique.

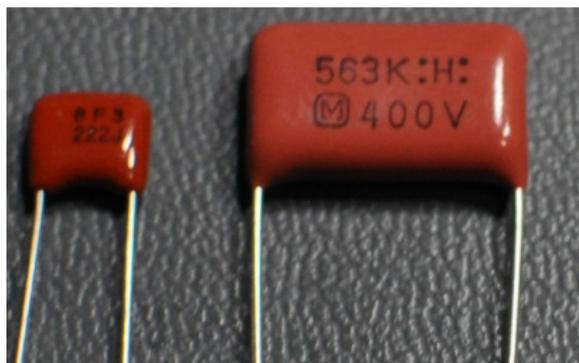


Figure 11.2 – Condensateurs à film.

Les condensateurs

Types de condensateurs, Condensateurs électrolytiques

Ce type de condensateur est polarisé.

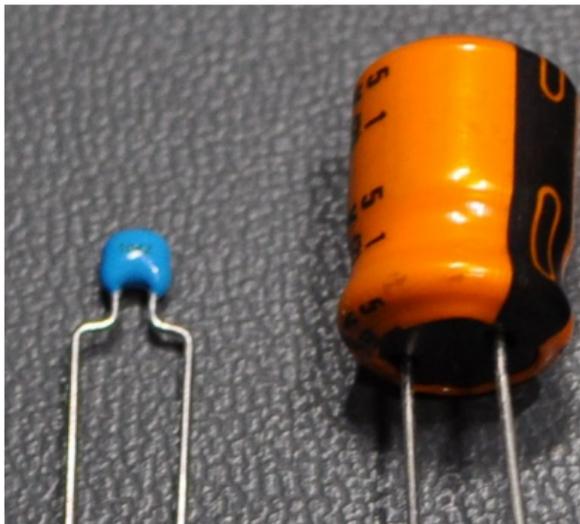


Figure 11.3 – Condensateurs électrolytiques tantalum et aluminium.

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.

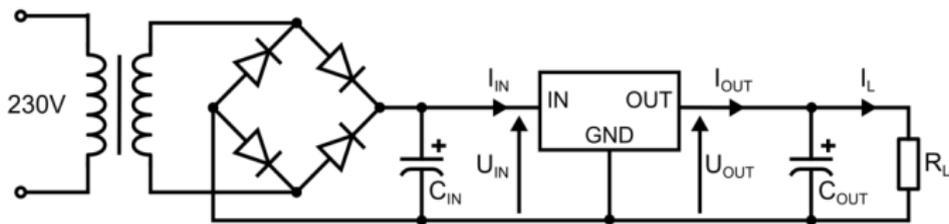


Figure 11.4 – Condensateurs de découplage dans un circuit d'alimentation.

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

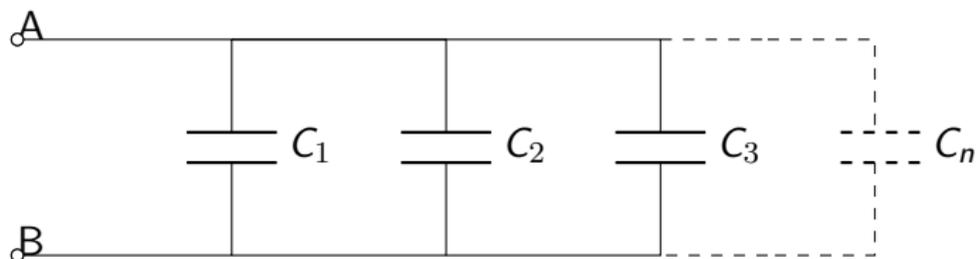
Réseaux et capacitance équivalente, Série



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

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 En branchant deux condensateurs de $20\ \mu\text{F}$ en série, quel est la capacité résultante ?
- 2 Si vous branchez deux condensateurs de $24\ \mu\text{F}$ en parallèle, quelle est la capacité de la combinaison ?

Les condensateurs

Exercices, Réponses

$$\textcircled{1} \frac{0,000\,020}{2} = 0,000\,010 \Rightarrow 10\ \mu\text{F}$$

$$\textcircled{2} 0,000\,024 \times 2 = 0,000\,048 \Rightarrow 48\ \mu\text{F}$$

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

Elles possèdent les caractéristique suivantes :

- Inductance : henry (H)



Symbole 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 crée 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.

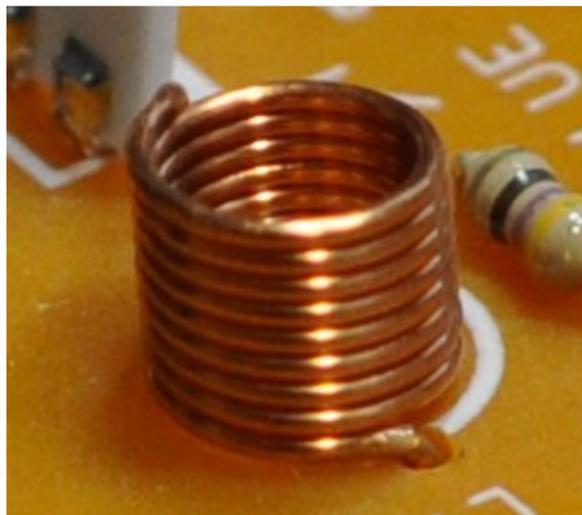


Figure 12.1 – Bobine à air.

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.

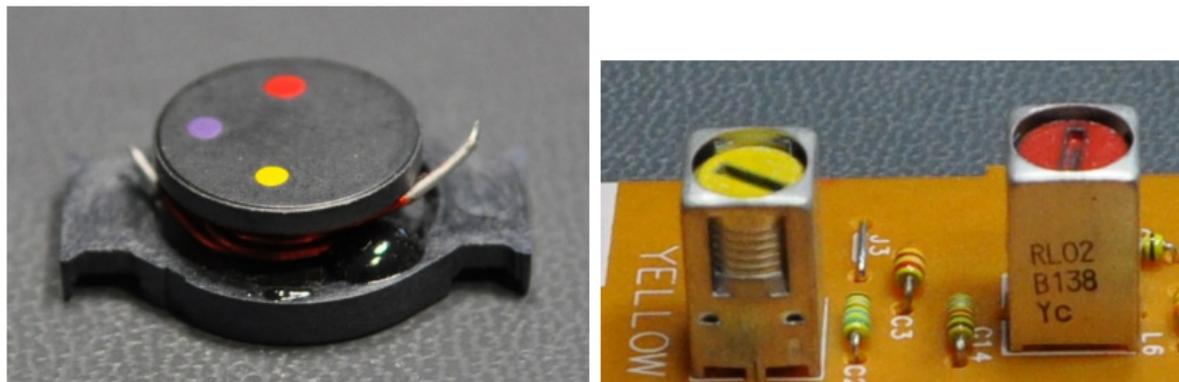


Figure 12.2 – Bobines à ferrite (fixe, variables).

Les bobines

Types, Toroïdal

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



Figure 12.3 – 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 12.4 – 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

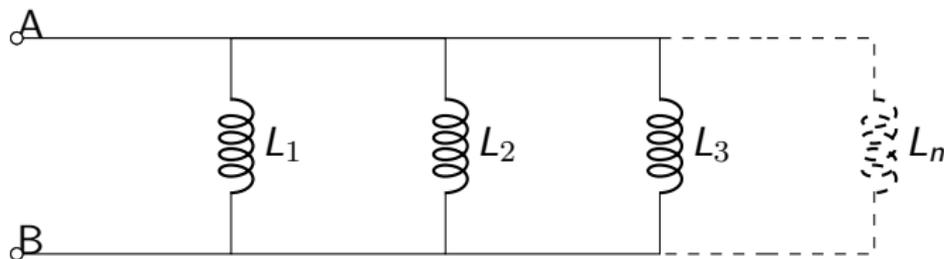


$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 \cdots L_n \quad (12.1)$$

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 Si vous branchez deux bobines de 12 mH en série, quelle est l'inductance de la combinaison ?

Les bobines

Exercices, Réponses

① $0,012 \times 2 = 0,024 \Rightarrow 24 \text{ mH}$

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.

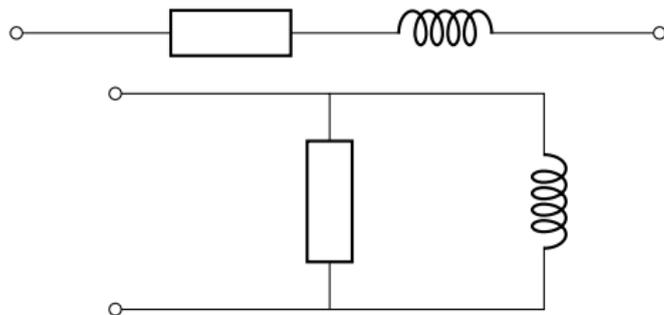


Figure 13.1 – Circuits RL : série et parallèle.

Réactance et impédance

Circuits, RC

Une résistance et un condensateur.

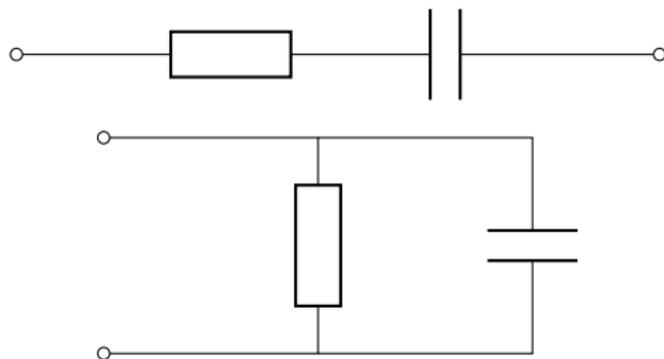


Figure 13.2 – Circuits RC : série et parallèle.

Réactance et impédance

Circuits, LC

Une bobine et un condensateur.

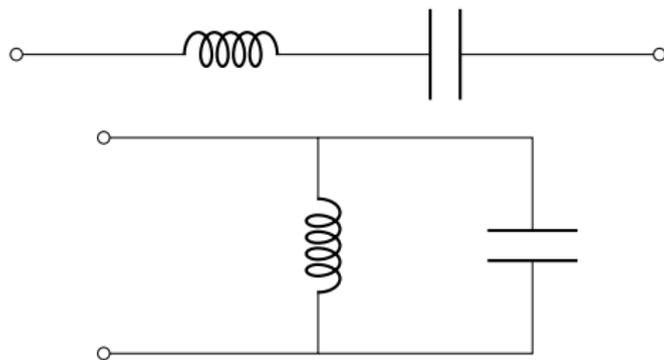


Figure 13.3 – Circuits LC : série et parallèle.

Réactance et impédance

Circuits, RLC

Une résistance, une bobine et un condensateur.

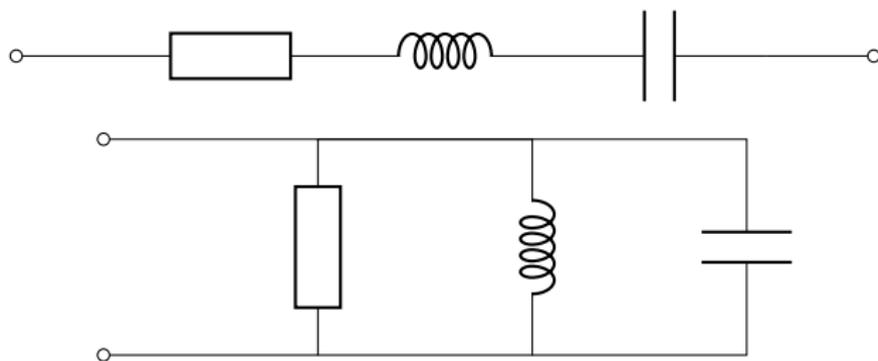


Figure 13.4 – Circuits RLC, série et parallèle.

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](#).

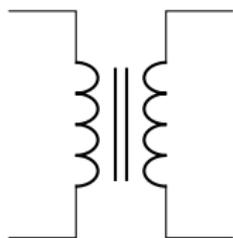


Figure 14.1 – Transformateur (T).

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* en induit un autre aux bornes de la bobine *secondaire*.

Selon le ratio entre le nombre de tours entre le primaire et le secondaire, les transformateurs sont considérés :

- éleveurs (*step-up*) ;
- abaisseurs (*step-down*).

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 Un transformateur avec un secondaire unique de 12 V consomme $0,5\text{ A}$ sur son primaire de 120 V . En supposant qu'il n'y ait aucune perte, quel est le courant débité au secondaire ?
- 2 Un transformateur survolteur 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 Puissance en entrée : $0,5 \times 120 \Rightarrow 60 \text{ W}$

Courant en sortie : $\frac{60}{12} \Rightarrow 5 \text{ A}$

② $0,05 \times 5 = 0,250 \Rightarrow 250 \text{ mA}$

Haut-parleurs

Un haut-parleur permet de reproduire un son à partir d'un signal électrique.

Ces caractéristiques importantes sont :

- Impédance : ohm (Ω);
- Puissance maximale : watt (W).



Symbole d'un haut-parleur (LS).



Figure 15.1 – Haut-parleur

Haut-parleurs

Un haut-parleur est composé d'une membrane reliée à une bobine à air. Cette bobine est placée autour d'un aimant permanent fixé au bâti du haut-parleur.

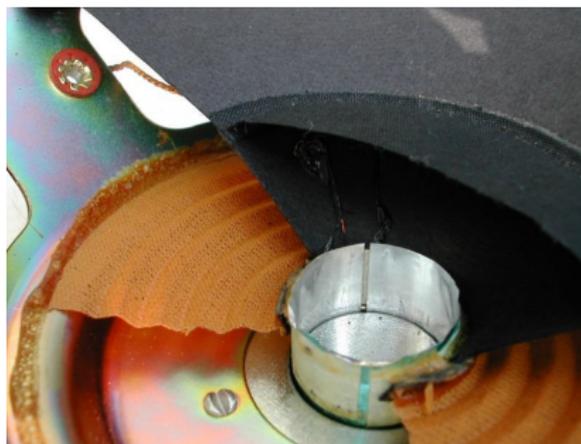


Figure 15.2 – Intérieur d'un haut-parleur

Haut-parleurs

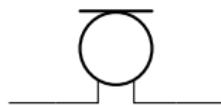
Fonctionnement

Les variations de courant induisent un champ magnétique qui interagit avec l'aimant, faisant vibrer la membrane et créant une onde sonore de même fréquence que le signal électrique.

Haut-parleurs

Les microphones

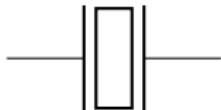
On peut considérer un microphone comme l'inverse d'un haut-parleur : il permet de convertir une onde sonore en un signal électrique.



Symbole d'un microphone (*MK*).

Les quartz

Un quartz (*crystal oscillator*) est un composant qui oscille à une certaine fréquence et ce de manière stable lorsqu'il est stimulé électriquement.



Symbole d'un quartz (Y).



Figure 16.1 – Quartz.

Les quartz

Applications, Réponses

Ils sont utilisés dans les circuits requérant une fréquence très stable.

Les circuits numériques utilisent presque tous au moins un quartz pour synchroniser les différentes opérations.

Les appareils de communication radio en utilisent aussi.

Les diodes sont des composants à semi-conducteur formé d'une jonction *P-N*.

Elles ont 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*).

Les diodes

Fonctionnement

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.

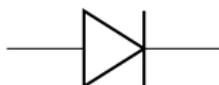
Cette « perte » de tension doit être considérée lors des calculs.

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

- V_F :
 - Silicium : $\approx 0,7V$
 - Germanium : $\approx 0,3V$ à $0,4V$
- Puissance maximale (P_{MAX})



Symbole d'une diode à usage général (D).



Figure 17.1 – Diodes à usage général

Les diodes

Diodes à usage général, Redressement

Les diodes à usage général sont souvent utilisées pour convertir un courant alternatif en un courant continu pulsatif.

Seulement la partie positive du signal peut passer.

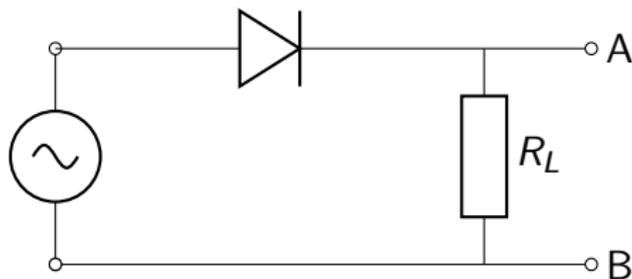


Figure 17.2 – Circuit redresseur.

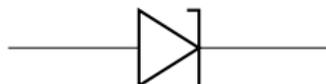
Les diodes

Les diodes Zener

Contrairement à une diode conventionnelle en polarisation inverse, une diode Zener est capable de laisser partir un courant mais seulement à partir d'une certaine tension dite *Tension Zener*.

Leurs caractéristique principales sont :

- Tension Zener (V_Z);
- Puissance de dissipation maximale.



Symbole d'une diode Zener.

Les diodes

Les diodes Zener, Régulateur de tension

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.

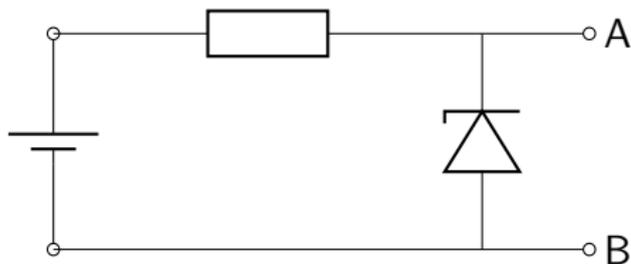


Figure 17.3 – Circuit régulateur de tension.

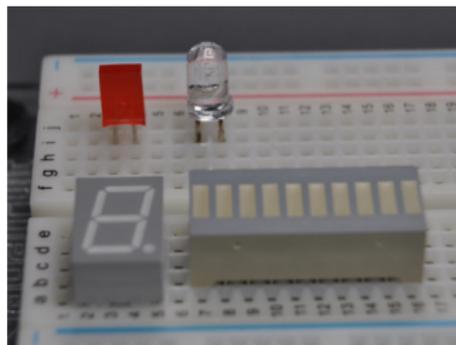
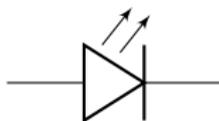
Les diodes

Les diodes électroluminescentes

En polarisation directe, une **diode électroluminescente (DEL)** s'illumine.

Elles possèdent les caractéristiques importantes suivantes :

- Tension de seuil (U_F) ;
- Intensité de seuil (I_F).



Les diodes

Les diodes électroluminescentes, Résistance de protection

Le calcul de la valeur et de la puissance de la résistance de protection se fait avec les équations 17.1 et 17.2.

$$R = \frac{U_s - U_f}{I_f} \quad (17.1)$$

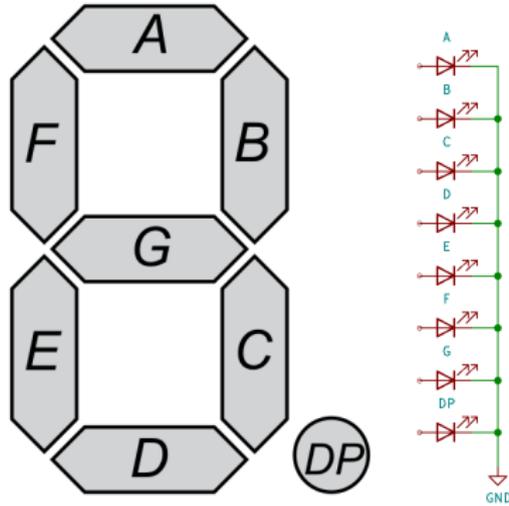
$$P = (U_s - U_f) \times I_f \quad (17.2)$$

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

Les diodes électroluminescentes, Afficheur sept segments



Disposition standard des segments DEL (concept et physique).

Les diodes

Exercices

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

- 1 Les électrodes d'une diode à semi-conducteur s'appellent :
- 2 Pour qu'une diode conduise, elle doit être :
- 3 Quels segments sont nécessaires pour afficher la lettre « H » ?
- 4 Quels segments sont nécessaires pour afficher la lettre « L » ?

Les diodes

Exercices, Réponses

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

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

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

① anode et cathode

② en polarisation directe

③ F,B,G,E,C

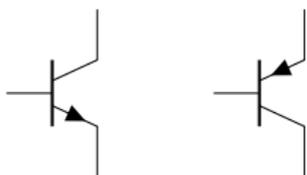
④ F,E,D

Les transistors sont des composants à semi-conducteurs qui permettent le contrôle ou l'amplification de tensions et courants électriques.

Les transistors

Transistors bipolaires

Les transistors bipolaires sont formée de jonctions $N-P-N$ ou $P-N-P$.



Symboles de transistor (Q) NPN et PNP.

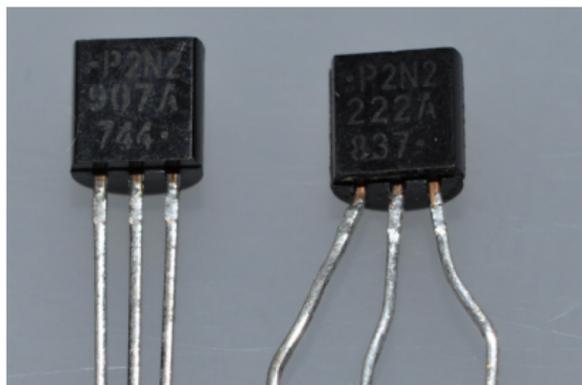


Figure 18.2 – Transistors.

Les transistors

Transistors bipolaires, Fonctionnement

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

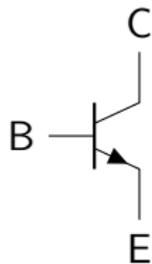


Figure 18.3 – Électrodes d'un transistor bipolaire.

Les transistors

Transistors bipolaires, Modes communs

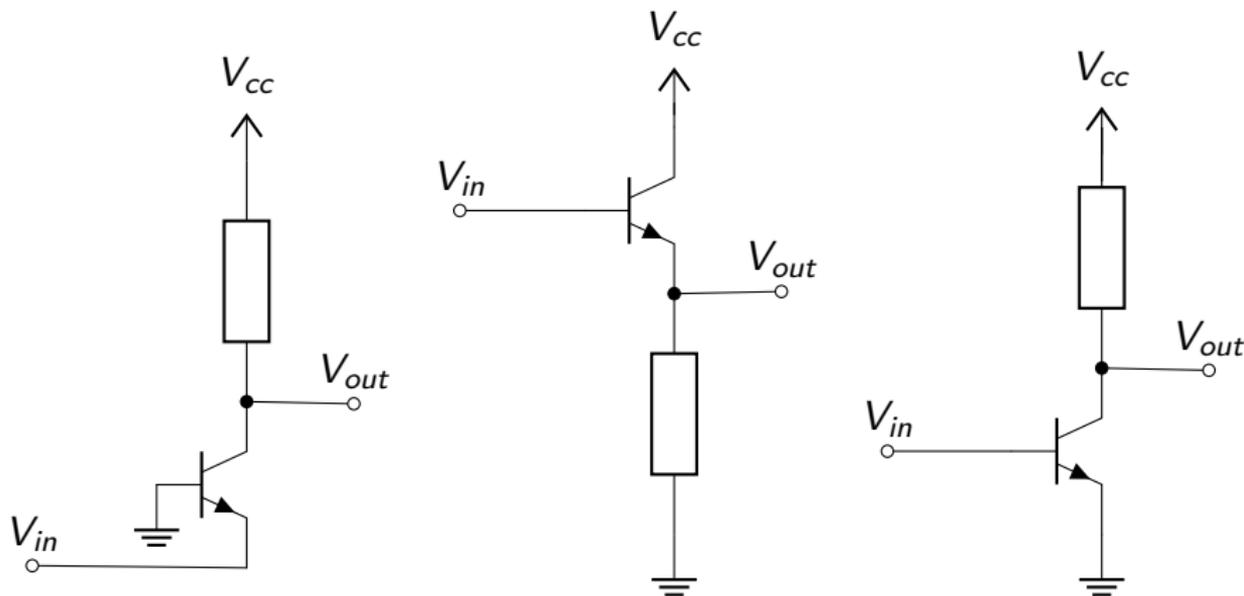


Figure 18.4 – Mode commun transistor PNP : base, collecteur, émetteur.

Les transistors

Transistors bipolaires, Amplification

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

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

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (18.1)$$

Où :

- β : gain ;
- I_C : intensité au collecteur ;
- I_B : intensité à la base.

Les transistors

Transistors bipolaires, Interrupteur

Un transistor peut aussi être utilisé comme un interrupteur en *saturant*, ou non, la base.

Calcul du courant à la base selon le courant nécessaire au collecteur :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (18.2)$$

Calcul de la résistance la base :

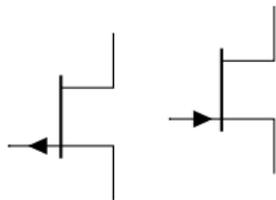
$$R_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_B} \quad (18.3)$$

Les transistors

Transistors à effet de champ

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

Le canal est soit de type *N* ou de type *P*.



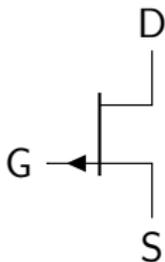
Symboles des transistors à effet de champ (Canal P, Canal N).

Les transistors

Transistors à effet de champ, Fonctionnement

Un transistor à effet de champ est muni de 3 électrodes :

- 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

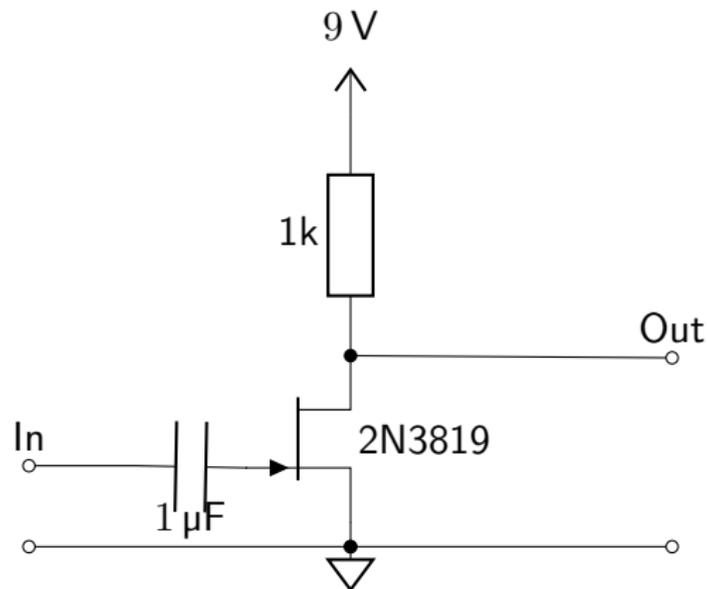


Figure 18.5 – Amplificateur FET non inversé.

Les transistors

Formats

Les transistors sont souvent dans un format physique nommé *TO* (*transistor outline*).

Les transistors

Formats, TO-18

- Boitier : Métallique ;
- Nombre de broches : 3 ;
- Espacement horizontal des broches : dans un cercle d'un diamètre de 0,1 po (2,54 mm).

Les transistors

Formats, TO-92

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

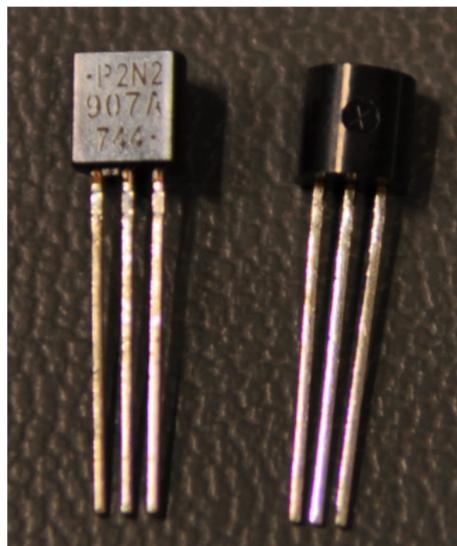


Figure 18.6 – TO-92 (avant et arrière).

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).

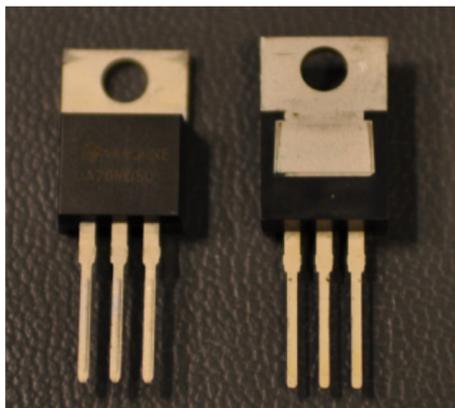


Figure 18.7 – TO-220 (avant et arrière).

Les transistors

Exercices

- Si l'on applique un signal faible à l'entrée d'un transistor et qu'un signal de niveau plus élevé apparaît à la sortie, comment se nomme cet effet ?
- Qu'est-ce qui empêche le remplacement d'un transistor PNP par un transistor NPN ?
- Quels sont les deux types fondamentaux de transistors bipolaires ?
- Dans un transistor à effet de champ, par quelle électrode les porteurs de charge entrent-ils dans le canal ?
- Dans un transistor à effet de champ, quelles deux électrodes sont raccordées aux extrémités du canal ?

Les transistors

Exercices, Réponses

- Amplification
- Les polarités sont inversées
- NPN et PNP
- La source
- La source et le drain

Le décibel

Le décibel (dB) sert à exprimer un rapport entre deux puissances, selon une échelle logarithmique calculé avec l'équation 19.1.

$$X_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \quad (19.1)$$

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

Tableau 19.1 – 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

Format DIP

Le format **Dual in-line package (DIP)** est un boîtier muni de broches sur deux cotés opposés.

- Boîtier : 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

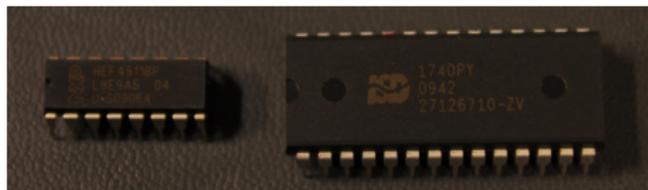


Figure 20.1 – DIP mince et large.

Les circuits intégrés

78xx

Famille de régulateurs de tension linéaire. Ils sont utilisés au lieu de diode Zener dans les circuits demandant plus de puissance.

Souvent dans un format [TO-220](#) :

- Input : Tension d'entrée
- Common : Tension commune
- 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, typiquement de 2,5 V ;
- Le courant en entrée est le même qu'en sortie ce qui, dépendant de la différence des tension d'entrée et de sortie, peut nécessiter un radiateur (heatsink) pour dissiper la puissance perdue en chaleur.

Les circuits intégrés

LM317

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

Disponible en format [TO-220](#).

Les circuits intégrés

LM317, Caractéristiques

Les trois broches ont les significations suivantes :

- Adjust : Signal d'ajustement ;
- Output : Tension de sortie ;
- Input : Tension d'entrée.

Les circuits intégrés

LM386

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

Disponible en format **DIP** 8 broches.

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

Le *NE555* fut introduit en 1972 par *Signetics* (NXP).

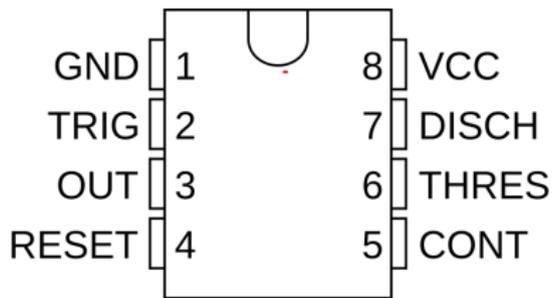


Figure 20.2 – NE555

Il est utilisé pour les modes multivibrateur suivants :

- Monostable (*one-shot*) : Change d'état temporairement ;
- Bistable (*atch*) : Change d'état et maintient cet état ;
- Astable (*free-running*) : Change d'état continuellement.

Les circuits intégrés

Logique

Ce sont les **CI** utilisés dans les circuits numériques, fonctionnant de façon binaire (logique booléenne).

Il sont habituellement en format **DIP** de 16 broches

Les circuits intégrés

Logique

Famille de CI TTL (*Transistor–transistor logic*).

Leurs tensions est habituellement de 3,3 V et 5 V.

Les circuits intégrés

Logique

Famille de **CI** CMOS (*Complementary metal–oxide–semiconductor*).

Leurs plages de tension sont beaucoup plus flexibles que les **CI** TTL.

Les circuits intégrés

Photocoupleurs

Ce sont des **CI** comprenant une **DEL** et une photodiode ou un phototransistor.

Ils permettent d'isoler *électriquement* un signal **CC**.

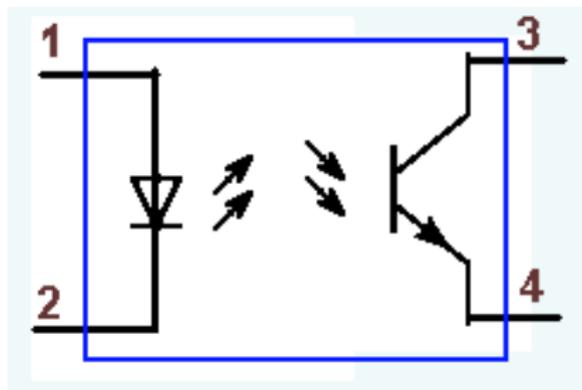


Figure 20.3 – Photocoupleur

Les blocs d'alimentation

Un bloc d'alimentation transforme une source **CA** résidentiel en une source **CC**, souvent de moins de 30 V.

Ils doivent souvent fournir un courant important.

Les blocs d'alimentation

Fonctionnement

Les sections suivantes sont habituellement présentes :

- Transformateur ;
- Pont rectification ;
- Condensateur d'entrée ;
- Régulateur ;
- Condensateur de sortie.

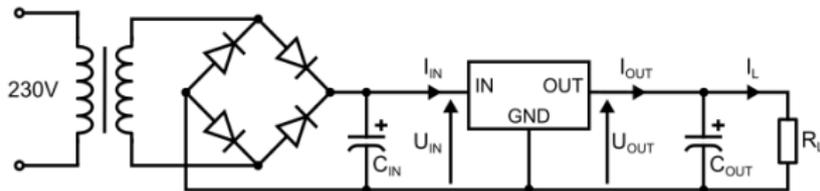


Figure 21.1 – Circuit interne d'un bloc d'alimentation.

Les blocs d'alimentation

Usages

L'utilisation de fils de calibres appropriés est nécessaire pour éviter les pertes de tension.

Un bloc d'alimentation défectueux, de mauvaise qualité ou mal branché, peut parfois engendré un ronflement qui se traduit par un « hum » dans un circuit audio.

Le multimètre

Un multimètre comprend au minimum les fonctions suivantes :

- Ampèremètre ;
- Voltmètre ;
- Ohmmètre.



Figure 22.1 – 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 22.2 – 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 22.3 – 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.

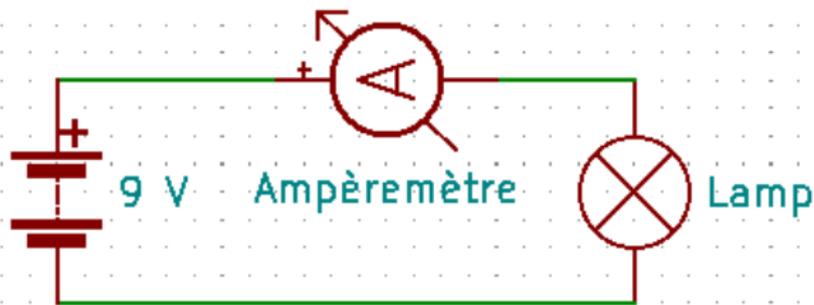


Figure 22.4 – Bornes d'un multimètre.

Le multimètre

Ampèremètre

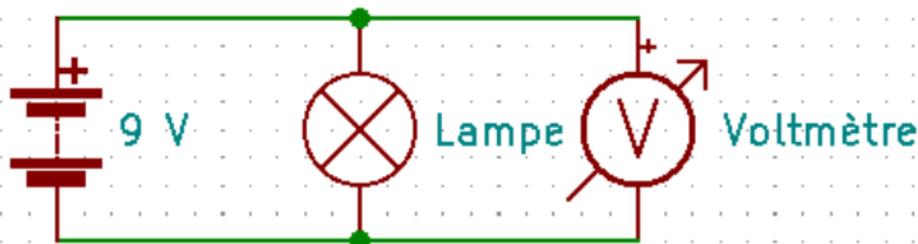
- 1 Brancher le fil d'essai noir dans le connecteur « commun »
- 2 Brancher le fil d'essai rouge sur la borne de la fonction « A » de la bonne plage de valeur
- 3 Sélectionner la plage de lecture adéquate pour la fonction « A »
- 4 Insérer les sondes en **série** dans le circuit, tout en respectant la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

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.

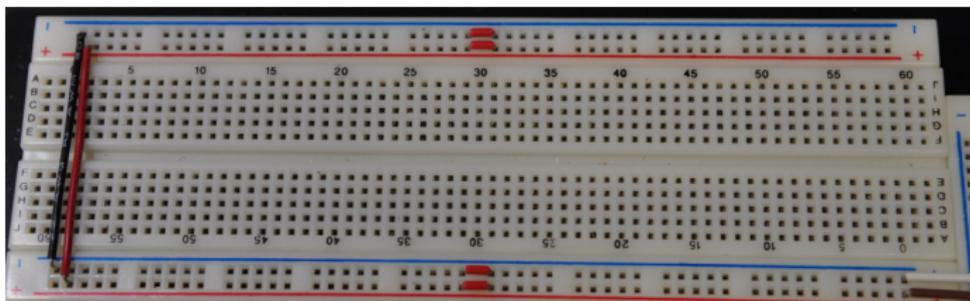


Figure 23.1 – Platines d'expérimentation « full » avec 2 « bus ».

Prototypage

Cavaliers

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

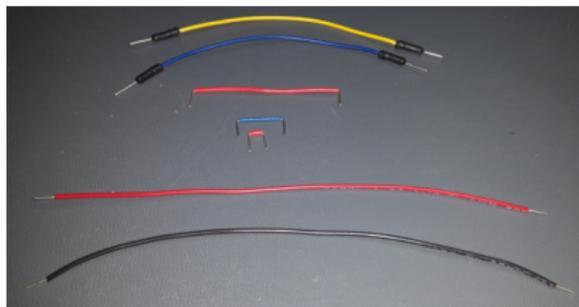


Figure 23.2 – Cavaliers divers.

Prototypage

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.

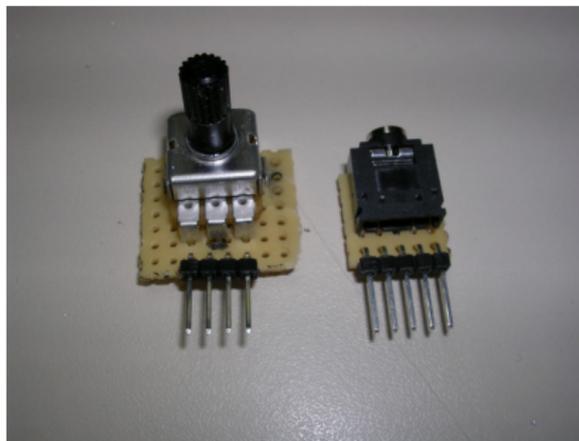


Figure 23.3 – Adaptateurs divers pour platine.

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*).

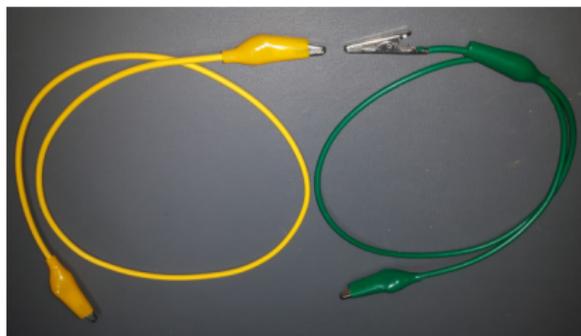


Figure 23.4 – Câbles de liaison avec pinces crocodiles.

Nos allons maintenant utilisées nos nouvelles connaissances pour assembler différents circuits.

Laboratoires

Mon premier circuit

Un circuit simple pour commencer.

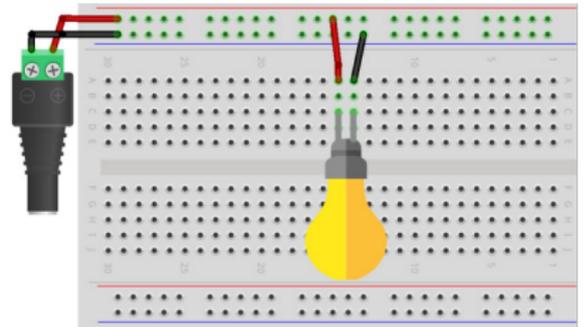
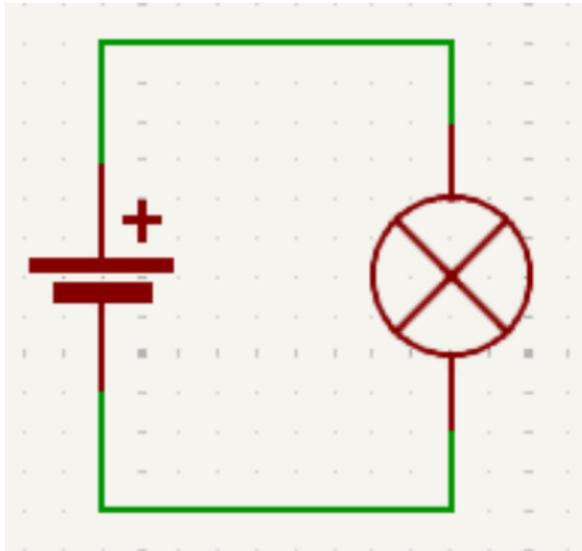
Laboratoires

Mon premier circuit, Composants requis

- Lampe 12V

Laboratoires

Mon premier circuit, Schémas



fritzing

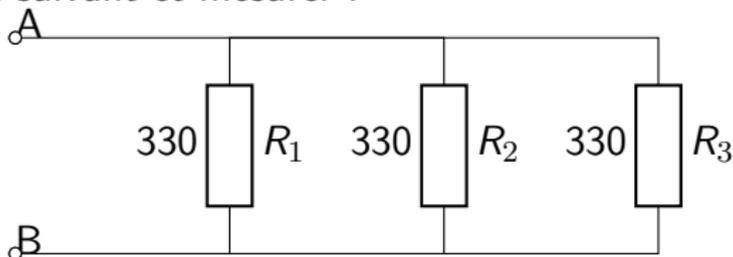
Laboratoires

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 circuit suivant et mesurer :

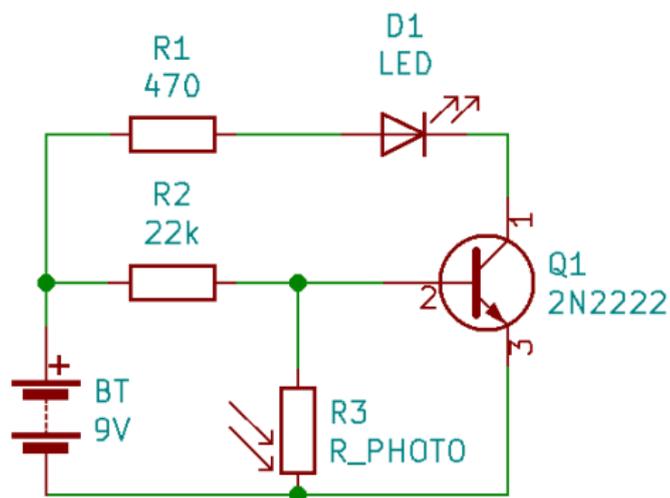


- La résistance équivalente
- La tension de chaque résistance
- Le courant de chaque résistance

Laboratoires

Les transistors

Lab transistors



LM386

Régulateur 5V