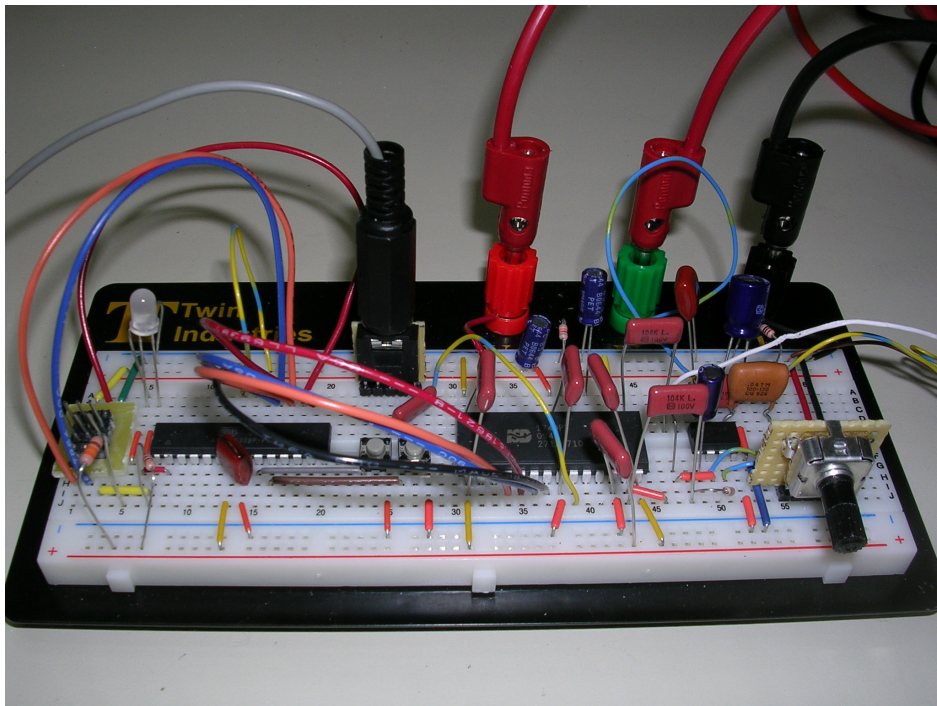


Initiation à l'électronique

Patrice Nadeau

Version : 0.00.01





Patrice Nadeau, 2021 - 2025

© 2021 - 2025 **Patrice Nadeau**. Initiation à l'électronique

Cette oeuvre, création, site ou texte est sous licence *Creative Commons Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International*. Pour accéder à une copie de cette licence, merci de vous rendre à l'adresse suivante <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> ou envoyez un courrier à *Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA*.

Exceptions

Les items suivants ne font pas partis de cette licence :

- Les logos « Patrice Nadeau » et « Solutions libres Patrice Nadeau »
- Les logos et images appartenant à leur(e)s propriétaires respectifs

L'auteur n'assume aucune responsabilité résultant de l'utilisation de ce document.

Table des matières

1	Introduction	1
2	Notions générales	2
2.1	Lettres grecques	2
2.2	Symboles mathématiques	2
2.3	Constantes mathématiques	2
2.4	Normes et standards	3
2.5	Le système international d'unités	5
2.6	Notation scientifique	6
2.7	Fréquence	8
2.8	Exercices	9
3	L'électricité	11
3.1	L'atome	11
3.2	Le courant électrique	12
3.3	La tension électrique	12
3.4	La résistance électrique	13
3.5	La loi d'Ohm	14
3.6	La puissance électrique	14
3.7	Équations supplémentaires	15
3.8	Circuits électriques	15
3.9	Sécurité	16
3.10	Exercices	18
4	Magnétisme et électromagnétisme	20
4.1	Aimants permanent	20
4.2	Champ magnétique	20
4.3	Induction	20
4.4	Exercices	21
5	Courant continu et alternatif	23
5.1	Courant continu	23
5.2	Courant alternatif	23
5.3	Exercices	25
6	Piles et batteries	27
6.1	Les piles primaires	27
6.2	Les piles secondaires	29
6.3	Branchements	32
6.4	Exercices	34
7	Les fils électriques	36

7.1	Âme	36
7.2	Gaine	37
7.3	Exercices	38
8	Les coupe-circuits	40
8.1	Les fusible	40
8.2	Les disjoncteurs	41
8.3	Fusibles réarmables	42
8.4	Exercices	44
9	Les interrupteurs	46
9.1	Boutons poussoirs	46
9.2	Directionnels	46
9.3	Exercices	47
10	Les résistances	49
10.1	Types de résistances	49
10.2	Marquage alphanumérique	51
10.3	Marquage de couleurs	52
10.4	Applications	53
10.5	Réseaux et résistance équivalente	55
10.6	Exercices	57
11	Les condensateurs	61
11.1	Fabrication	61
11.2	Fonctionnement	61
11.3	Types de condensateurs	62
11.4	Applications	64
11.5	Réseaux et capacitance équivalente	65
11.6	Exercices	66
12	Les bobines	68
12.1	Fabrication	68
12.2	Fonctionnement	68
12.3	Types	68
12.4	Applications	70
12.5	Réseaux et inductance équivalente	71
12.6	Exercices	72
13	Réactance et impédance	74
13.1	Réactance	74
13.2	Impédance	75
13.3	Résonance	75

13.4	Circuits	75
13.5	Exercices	78
14	Transformateurs	80
14.1	Fabrication	80
14.2	Fonctionnement	80
14.3	Applications	80
14.4	Exercices	83
15	Haut-parleurs	85
16	Microphones	85
17	Les quartz	85
18	Cellule photovoltaïque	86
19	Les diodes	87
19.1	Diodes à usage général	87
19.2	Diodes Zener	88
19.3	Diodes électroluminescentes	89
19.4	Exercices	92
20	Les transistors	96
20.1	Transistors bipolaires	96
20.2	Transistors à effet de champ	98
20.3	Formats	98
21	Le décibel	100
21.1	Exercices	101
22	Les circuits intégrés	103
22.1	Électricité statique	103
22.2	Formats	104
22.3	78xx	105
22.4	LM317	105
22.5	LM386	106
22.6	555	106
22.7	Logique	106
22.8	Opto-coupleurs	106
23	Les blocs d'alimentation	107
24	Les amplificateurs	108

25 Le multimètre	109
25.1 Types	109
25.2 Éléments	110
25.3 Ampèremètre	111
25.4 Voltmètre	112
25.5 Ohmmètre	113
26 Prototypage	114
26.1 Les outils	114
26.2 Platines d'expérimentation	114
26.3 Câbles de liaison	116
27 Laboratoires	117
27.1 Matériels nécessaires	117
27.2 Mon premier circuit	118
27.3 Le multimètre	120
27.4 Résistances	120
27.5 Les condensateurs	120
27.6 Les transistors	120
27.7 Les CI	122
A Bibliographie	123

Liste des tableaux

2.1	Alphabet grec (partiel)	2
2.2	Constantes mathématiques utilisées dans ce document	3
2.3	Unités courantes du SI	5
2.4	Préfixes communs du SI	6
2.5	Plages de fréquence	8
7.1	Différents calibres AWG.	37
10.1	Code RMK (partiel) pour résistance	51
10.2	Code de couleur (partiel) IEC 60062	52
21.1	Rapports des puissances et décibels	100
27.1	Outils et composants pour les laboratoires.	117
27.2	Piles alcalines 1,5 V	117
27.3	Piles rechargeables 1,2 V	118
27.4	Distributeurs	118

Table des figures

2.1	Affichage en mode scientifique.	7
2.2	Affichage en mode ingénieur.	7
2.3	Signal sinusoïdale de 4 secondes (0,25 Hz).	8
3.1	Modèle atomique simplifié.	11
3.2	Symbole schématique d'une source de courant	12
3.3	Symbole schématique d'une source de tension.	12
3.4	Symbole schématique d'une résistance.	13
3.5	Symboles schématiques terre, masse, communs (2).	16
5.1	Signal sinusoïdale avec tensions de crête et RMS.	23
6.1	Symboles schématiques pile et batterie (positif à gauche).	27
6.2	Différents formats de piles et batteries alcalines.	28
6.3	Différents formats de piles boutons lithium.	29
6.4	Batterie automobile au plomb de 12 V.	30
6.5	Piles Ni-MH (AAA et AA) avec adaptateurs (C et D).	31
6.6	Pile lithium-Ion.	31
6.7	Batterie $LiFePO_4$	32
6.8	Piles branchées en série.	33
6.9	Piles branchées en parallèle.	33
7.1	Différents fils électriques.	36
7.2	Symboles de fils se croisant, sans contact et avec contact.	36
8.1	Symbole schématique d'un fusible.	40
8.2	Différents fusibles cylindriques.	41
8.3	Différents fusibles à lames.	41
8.4	Disjoncteur.	42
8.5	Fusibles réarmables CTP.	42
9.1	Différents types d'interrupteurs.	46
9.2	Symboles schématiques d'interrupteurs (NO, NC).	46
9.3	Symboles schématiques d'interrupteurs (SPST, DPST).	46
10.1	Symbole schématique d'une résistance, potentiomètre et photorésistance (R).	49
10.2	Résistances diverses.	49
10.3	Résistances à valeurs fixes.	50
10.4	Potentiomètres divers.	50
10.5	Photorésistance.	51
10.6	Limiteur de courant.	53
10.7	Diviseur de tension.	54
10.8	Résistances de rappel (niveau bas et niveau haut).	54
11.1	Symboles schématiques de condensateurs (non polarisé, polarisé) (C).	61
11.2	Condensateur en céramique.	63
11.3	Condensateurs à film.	63
11.4	Condensateurs électrolytiques tantalum et aluminium.	64
11.5	Condensateurs de découplage dans un circuit d'alimentation.	64

12.1	Symbole schématique d'une bobine (L).	68
12.2	Bobine à air.	69
12.3	Bobines à ferrite (fixe, variables).	69
12.4	Bobine toroïdal.	70
12.5	Ferrite autour d'un fil.	70
13.1	Circuits RL : série et parallèle.	76
13.2	Circuits RC : série et parallèle.	76
13.3	Circuits LC : série et parallèle.	76
13.4	Circuits RLC, série et parallèle.	77
14.1	Transformateur (T).	80
14.2	Balun.	81
14.3	Transformateur d'alimentation.	82
15.1	Symbole schématique d'un haut-parleur (LS).	85
16.1	Symbole schématique d'un microphone (MK).	85
17.1	Symbole schématique d'un quartz (Y).	85
18.1	Symbole schématique d'une cellule voltaïque (BT).	86
19.1	Symbole schématique d'une diode (D).	87
19.2	Diodes à usage général	87
19.3	Redressement d'un signal alternatif.	88
19.4	Symbole d'une DEL.	89
19.5	DEL divers.	90
19.6	DEL dans un circuit.	90
20.1	Symboles schématiques de transistor (Q) NPN et PNP.	96
20.2	Transistors.	96
20.3	Fonctionnement d'un transistor (émetteur commun).	97
20.4	Symboles des transistors à effet de champ (Canal P, Canal N).	98
20.5	TO-92 (avant et arrière).	99
20.6	TO-220 (avant et arrière).	100
22.1	Bracelet, sac et mousse anti-statique.	104
22.2	DIP mince et large.	104
22.3	Exemple d'un circuit de régulation CA/CC.	105
25.1	Différents multimètres (analogue et numérique).	109
25.2	Sélecteur de fonctions d'un multimètre.	110
25.3	Sondes d'un multimètre.	111
25.4	Bornes d'un multimètre.	111
26.1	Platines d'expérimentation «full» avec 2 «bus».	114
26.2	Cavaliers divers.	115
26.3	Adaptateurs divers pour platine.	115
26.4	Câbles de liaison avec pinces crocodiles.	116

Glossaire

- AC** alternative current. [23](#), [25](#), [81](#)
- ACL** affichage à cristaux liquides. [109](#)
- ANSI** American National Standards Institute. [4](#)
- AWG** American Wire Gauge. [37](#), [38](#), [39](#)
- BIPM** Bureau international des poids et mesures. [3](#), [5](#)
- BMS** Battery Management System. [29](#)
- CA** courant alternatif. [18](#), [23](#), [24](#), [25](#), [80](#), [112](#)
- CC** courant continu. [23](#), [27](#), [64](#), [81](#)
- CEI** Commission électrotechnique internationale. [3](#)
- CI** circuit intégré. [103](#)
- CTP** coefficient en température positif. [42](#)
- DC** direct current. [23](#)
- DEL** diode électroluminescente. [89](#), [90](#), [91](#), [92](#)
- DES** décharge électrostatique. [103](#)
- DIP** dual in-line package. [104](#)
- DPDT** double position double throw. [46](#)
- DPST** double position single throw. [46](#)
- IC** integrated circuit. [103](#)
- IEC** International Electrotechnical Commission. [4](#), [12](#), [37](#), [51](#), [52](#), [123](#)
- IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers. [4](#), [85](#)
- ISO** International Organization for Standardization. [4](#), [5](#)
- LiFePO₄** lithium-fer-phosphate. [32](#)
- Li-ion** lithium-ion. [31](#), [32](#)
- MALT** mise à la terre. [37](#)

NC normally close. [46](#)

Ni-MH nickel-métal-hydrure. [30](#), [31](#), [34](#)

Ni-Cd nickel-cadmium. [30](#)

NO normally open. [46](#)

OQLF Office québécois de la langue française. [4](#), [6](#)

PPTC polymeric positive temperature coefficient device. [42](#)

SI système international d'unités. [5](#), [6](#), [7](#), [100](#)

SPDT single position double throw. [46](#)

SPST single position single throw. [46](#)

TCR temperature coefficient of resistance. [53](#)

UIT Union internationale des télécommunications. [8](#)

1 Introduction

Ce document pose les bases de l'électronique.

Il n'est pas une traduction d'ouvrages anglophones nord-américains, ni une copie de manuel français mais plutôt une production québécoise utilisant des standards internationaux.

Ce document couvre aussi certaines questions du *Certificat d'opérateur radioamateur avec compétence de base*¹ du **30 mars 2023**.

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.

¹<https://ised-isde.canada.ca/site/services-certificats-operateur-radioamateur/fr>

2 Notions générales

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

2.1 Lettres grecques

En science, plusieurs lettres de l'alphabet grec sont utilisées.

Parmi les plus fréquentes :

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

2.2 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

2.3 Constantes mathématiques

Les *constantes mathématiques* sont des valeurs représentés par des lettres afin de simplifier les équations.

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

Ces valeurs sont souvent intégrées dans les calculatrices scientifiques.

2.4 Normes et standards

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.

Pour des raisons historiques, politiques ou simplement d'ego, certains organismes se font concurrence, résultant en des normes avec plusieurs identifications.

Dans certains domaines, d'autres « standards » sont utilisés et ont même force de loi, comme les différents *Code de construction*.

Nous allons voir les principaux organismes responsable des normes que nous utiliserons.

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/>

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/>

Aussi connu sous le nom [International Electrotechnical Commission \(IEC\)](#).

American National Standards Institute

Le [American National Standards Institute \(ANSI\)](#) gère diverses normes.

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

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/>

Institute of Electrical and Electronics Engineers

Le [Institute of Electrical and Electronics Engineers \(IEEE\)](#) gère des normes électroniques.

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

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/>

2.5 Le système international d'unités

Anciennement appelé « système métrique », le **système international d'unités (SI)** est le système d'unités le plus largement utilisé au monde.

Le **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.

Il est aussi couvert dans la norme **ISO 80000-1 2009**

Les unités

Le tableau 2.3 liste les principales unités **SI** utilisées en électronique.

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

Il est important de noter qu'une même lettre peut désigner deux unités différentes, selon si elle est en minuscule ou en majuscule. Une *seconde* (s) n'est pas du tout la même chose qu'un *siemens* (S).

Les préfixes

Quand de très grandes ou très petites quantités sont exprimées, on utilise souvent des *préfixes* pour réduire le nombre de chiffres.

Le tableau 2.4 liste les préfixes les plus courants en électronique.

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

Le *kilogramme* (kg) est la seule unité du **SI** qui contient un préfixe dans son nom et dans son symbole.

Encore une fois, la case d'un caractère est très significative. La différence entre milli (*m*) et méga (*M*) est énorme.

Écriture des nombres

Voici un résumé des normes d'écriture du **SI** :

- 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.

☞ Selon l'**OQLF**, le séparateur décimal est une virgule.

Ainsi 15600.2 volts s'écrira 15 600,2 V ou, en arrondissant, 15 kV.

2.6 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.

$$\pm a \times 10^n \tag{2.1}$$

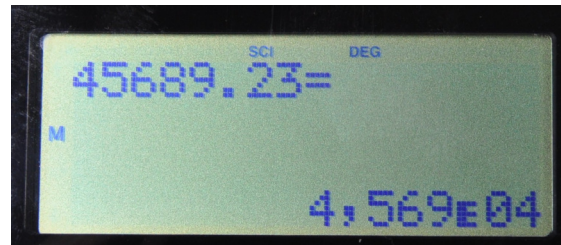


Figure 2.1 – Affichage en mode scientifique.

Différents exemples :

- 0,1 : 1×10^{-1}
- 42 : $4,2 \times 10^1$
- 45 689,23 : $4,568\,923 \times 10^4$

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.

Cela permet de changer de préfixe SI facilement.

Différents exemples :

- 0,1 : 100×10^{-3}
- 42 : 42
- 45 689,23 : $45,689\,23 \times 10^3$

2.7 Fréquence

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

Elle se calcule avec la formule 2.3.

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

Où :

- f : La fréquence, en hertz (Hz),
- T : Le temps d'un cycle, en secondes (s).

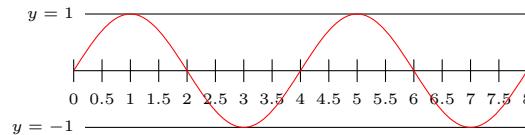


Figure 2.3 – Signal sinusoïdale de 4 secondes (0,25 Hz).

Plages de fréquences

On regroupe par *plages* différentes 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)

Plus une fréquence audio sera élevée, plus le son correspondant sera aigu.

Les plages utilisées en radiocommunication (HF, VHF et UHF) sont souvent subdivisées et associées à des usages particuliers, définis par l'[Union internationale des télécommunications \(UIT\)](#).

2.8 Exercices

- Combien y a-t-il de centimètres dans deux mètres ?
- Comment est exprimé 0,250 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 ?

Réponses

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

3 L'électricité

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.

3.1 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*.

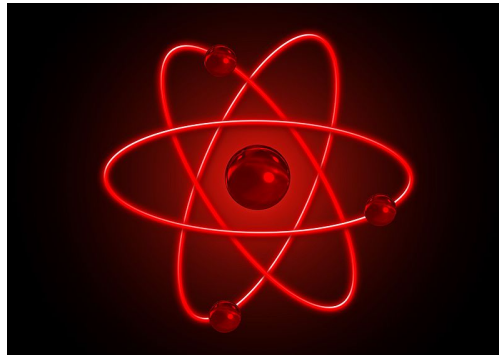


Figure 3.1 – Modèle atomique simplifié.

Par exemple, une molécule d'eau est composée de 2 atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H_2O).

Neutrons

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

Protons

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

Électrons

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

3.2 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.

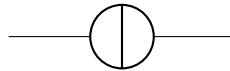


Figure 3.2 – Symbole schématisé d'une source de courant

Dans une analogie hydraulique, on peut comparer le courant au débit d'un cours d'eau.

3.3 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.

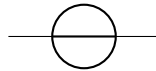


Figure 3.3 – Symbole schématisé d'une source de tension.

D'autres symboles sont aussi utilisés, correctement ou non, selon le contexte :

- Un potentiel électrique (V) ;
- Une force électromotrice (\mathcal{E}) ;
- Un champ électrique (E).

Selon le IEC, le terme *force électromotrice* (\mathcal{E}) est déconseillé et est remplacé par *tension de source* (U_S)².

Dans une analogie hydraulique, on peut comparer la tension au dénivelé d'un cours d'eau.

²<https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=131-12-22>

3.4 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.

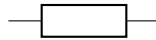


Figure 3.4 – Symbole schématique d'une résistance.

On utilise aussi le terme de *charge* (*load*).

Dans une analogie hydraulique, on peut comparer la résistance à un barrage sur un cours d'eau.

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

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.

Dans un monde idéal, un conducteur possède une résistance nulle (0Ω).

La résistance électrique d'un matériau peut être affectée par certains phénomènes externe, comme la température.

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.

Dans un monde idéal, un isolant possède une résistance infini (∞).

Il est à noter que le terme isolant est relatif. À partir d'une certaine tension, dite de *claquage*, un arc électrique se produiras, traversant l'isolant et pouvant même le détruire.

La foudre est un exemple d'un courant traversant un isolant (air).

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).

3.5 La loi d'Ohm

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

$$U = I \times R \tag{3.1}$$

Où :

- U : La tension ;
- I : L'intensité ;
- R : La résistance.

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.

3.6 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.

Lorsque la puissance est une source, comme dans le cas d'une génératrice, on parle de puissance *active*.

Si la puissance est utilisée par une charge, comme un chauffage électrique, on parle alors de puissance *passive*.

Plus la puissance est élevée, plus la consommation électrique est grande.

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.

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

Où :

- P : La puissance (W) ;
- U : La tension (V) ;
- I : L'intensité (A).

3.7 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.

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

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

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

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

Ces équations sont sans doute les plus importantes en électricité.

3.8 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.

Schématisme des sources électriques

Dans un schéma, 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 ;
 - 0 V (*ground*).



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

Cela allège de beaucoup le diagramme, surtout si différentes valeurs de tension sont utilisées dans le circuit.

Malheureusement, on utilise souvent le terme « ground » sans vraiment faire de distinctions.

3.9 Sécurité

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.

Le terme *électrocution* désigne une électrisation entraînant la mort.

Conseils

Même si les laboratoires dans ce livre sont conçus pour utiliser des tensions de faible niveau, quelques conseils de sécurité doivent être suivis, surtout si vous commencez à travailler avec des appareils branchés au réseau électrique résidentiel.

- 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.

3.10 Exercices

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 $10\ \Omega$ 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 ?

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.

4 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*.

4.1 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.

4.2 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.

On peut donc créer un *électroaimant*.

4.3 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.

4.4 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 ?

Réponses

1. de même nom
2. acier

5 Courant continu et alternatif

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.

5.1 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*).

C'est le sens conventionnel qui est le plus souvent utilisé, incluant dans ce document.

5.2 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.

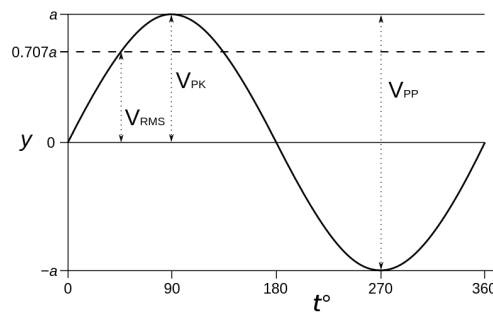


Figure 5.1 – Signal sinusoïdale avec tensions de crête et RMS.

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.

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

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

La valeur de $\frac{1}{\sqrt{2}}$ est souvent arrondi à 0.707.

En Amérique du nord, les tensions secteurs CA sont, en général, de 120 V et 240 V (RMS) à une fréquence de 60 Hz.

D'autres pays utilisent une tension de 240 V (RMS) à une fréquence de 50 Hz.

5.3 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 ?

Réponses

1. 60

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

6 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).

Parfois la capacité est affichée en *ampèreheure* (Ah). Cette affichage, toléré, permet de visualiser rapidement le temps utile que la pile peut fournir de l'énergie.

Par exemple, une batterie ayant une capacité de 50 Ah pourra alimenter durant 1 h une charge de 50 A ou durant 2 h une charge de 25 A.

Cette valeur de durée est théorique. La fiche technique doit être consultée pour vérifier divers paramètres pouvant influencer cette valeur, comme la température.

1 coulomb étant équivalent à 3600 ampèreheure, la formule 6.1 peut être utilisée pour la conversion.

$$x = \frac{q}{3600} \quad (6.1)$$

6.1 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.

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.

Ce type de pile a pratiquement été remplacé par les piles alcalines.

Alcalines

Ce sont les piles et batteries utilisées dans la vie quotidienne pour les petits appareils électroniques.

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

Une batterie rectangulaire 9 V est en fait un assemblage de plusieurs piles.

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.

On considère généralement qu'une pile alcaline ayant une tension, sans charge, aux alentours de 0,9 V comme hors d'usage.

La capacité n'est généralement pas indiquée sur la pile elle-même, on doit la trouver dans la fiche technique. On peut prendre pour acquis qu'une pile de dimension AA peut délivrer 700 mAh, un format plus gros aura plus de capacité.

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.

Pour celles ci aussi, leurs capacités n'est pas indiquée sur le boîtier de la pile.

6.2 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 certains 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.

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 12 V.

Mise à part les batteries automobiles et marines, on utilise surtout des versions scellés (*sealed lead-acid*) pour éviter un contact avec l'acide.

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)³.

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.

³<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0066>



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

Les piles **Ni-MH** peuvent *généralement* être un remplacement pour les piles alcalines, à moins d'indication contraire.

On considère qu'à une tension de 1,0 V, la pile doit être rechargée.

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.

Encore plus que les autres, ce type de piles ne doit pas être court-circuité.

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 3,2 V.



Figure 6.7 – Batterie LiFePO_4 .

Elle sont parfois nommées *LFP*.

6.3 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.

Série

Un branchement *en série* est fait lorsque plusieurs piles ou batteries, sont branchées en reliant la borne négative d'une d'elles, à la borne positive de la suivante.

Caractéristiques :

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

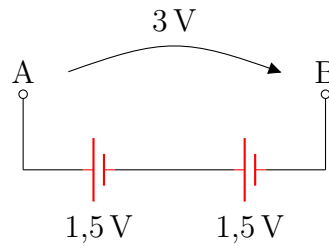


Figure 6.8 – Piles branchées en série.

C'est le type de branchement que l'on voit le plus fréquemment avec des piles cylindriques.

Parallèle

Un branchement *en parallèle* est fait lorsque plusieurs piles ou batteries, sont branchées en reliant les bornes négative ensemble et les bornes positive ensemble.

Caractéristiques :

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

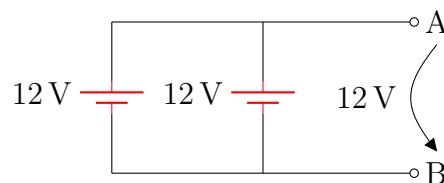


Figure 6.9 – Piles branchées en parallèle.

C'est le type de branchement qui est fréquemment utilisé avec des batteries 12V.

6.4 Exercices

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

Réponses

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

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

3. $8 \times 1,2 \Rightarrow 9,6$ V

7 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.

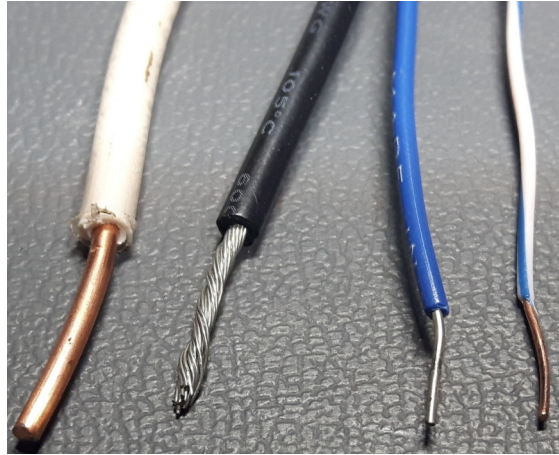


Figure 7.1 – Différents fils électriques.

Dans un schéma, les fils sont représentés par des traits reliant les composants.

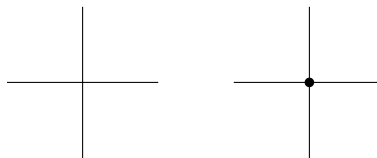


Figure 7.2 – Symboles de fils se croisant, sans contact et avec contact.

Lorsque plusieurs fils électriques sont mis ensemble dans une même gaine extérieure on parle de *câble* électrique. Une rallonge électrique en est un exemple.

7.1 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 ensemble.

Un fil toronné sera plus cher mais beaucoup plus flexible.

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 [IEC 60228](#).

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

Tableau 7.1 – Différents calibres AWG.

AWG	mm	Exemples
12	2,588 mm	Câblage électrique domestique 240 V
14	1,628 mm	Câblage électrique domestique 120 V
18	1,024 mm	Rallonge électrique standard
22	0,644 mm	Fils électriques utilisés couramment en électronique
24	0,511 mm	Fils d'un câble Ethernet

7.2 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

Certaines couleurs de gaine sont souvent réservées à une utilisation particulière :

- Rouge : Alimentation positive ;
- Noir : Alimentation négative ;
- Vert (vert et jaune) : [mise à la terre \(MALT\)](#).

7.3 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 ?

Réponses

1. AWG 12
2. Le fil toronné

8 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

Afin de garder la même qualité de protection, il ne faut jamais contourner un coupe-circuit ou le remplacer par un autre de plus grande valeur.

8.1 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.

Le fusible est installé dans un porte-fusible, interne ou externe à un boîtier.

Une fois la source du problème corrigée, le fusible doit être remplacé par un autre de même caractéristiques.

Il est recommandé de mettre le circuit hors tension lors du remplacement d'un fusible.

Leurs très grand inconvénients est de devoir garder sous la main des remplacements ayant les mêmes caractéristiques mécaniques et électriques.

Cylindriques

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



Figure 8.2 – Différents fusibles cylindriques.

On les rencontre souvent dans les appareils radio et les automobiles d'avant 1990.

Lames

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

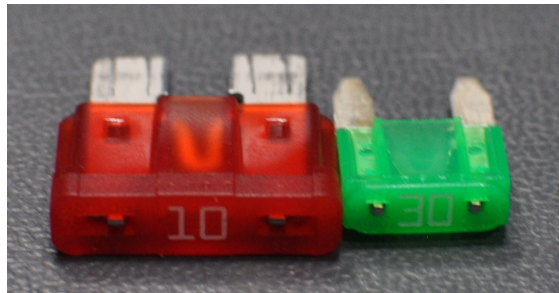


Figure 8.3 – Différents fusibles à lames.

On les appellent aussi *fusibles automobiles*.

8.2 Les disjoncteurs

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

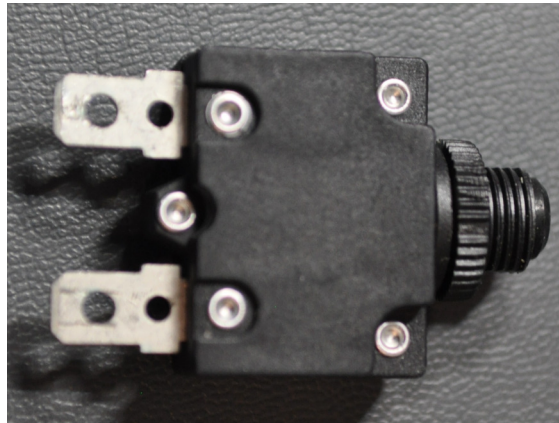


Figure 8.4 – Disjoncteur.

Lors d'une surcharge, le disjoncteur se déclenche (*trip*) et ouvre le circuit.

Une fois la source du problème corrigée, il suffit de réenclencher le disjoncteur qui est habituellement accessible de l'extérieur du boîtier.

Le disjoncteur est parfois intégré à un interrupteur, comme par exemple sur une barre d'alimentation.

8.3 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.

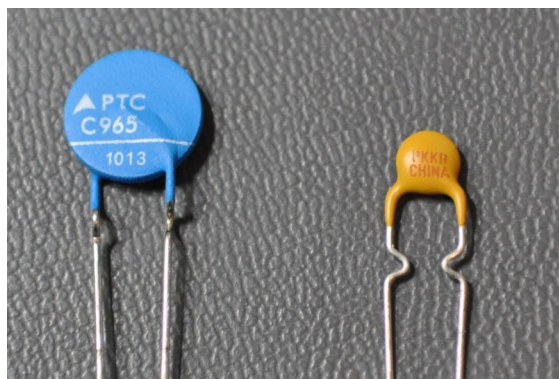


Figure 8.5 – Fusibles réarmables CTP.

En anglais on parle de [polymeric positive temperature coefficient device \(PPTC\)](#). Les termes *polyfuse* et *polyswitch* sont aussi utilisés.

Une fois la source du problème corrigée, le fusible réarmable se refroidira et se réarmera sans aucune intervention.

Ils sont utilisés dans les appareils scellés.

8.4 Exercices

1. Doit on remplacer un disjoncteur après son déclenchement ?

Réponses

1. Non, simplement le réenclencher

9 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.

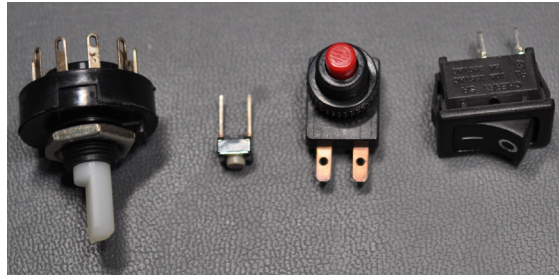


Figure 9.1 – Différents types d'interrupteurs.

9.1 Boutons poussoirs

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

- Normalement ouvert : [normally open \(NO\)](#)
- Normalement fermé : [normally close \(NC\)](#)



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

9.2 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).

9.3 Exercices

Questions

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

Réponses

1. Non

10 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),

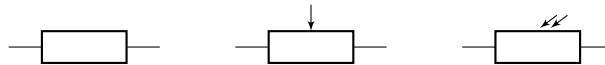


Figure 10.1 – Symbole schématique d'une résistance, potentiomètre et photorésistance (R).

Les termes *resistor* et *résisteur* sont parfois rencontrés afin d'éviter de confondre le concept et le composant.

10.1 Types de résistances

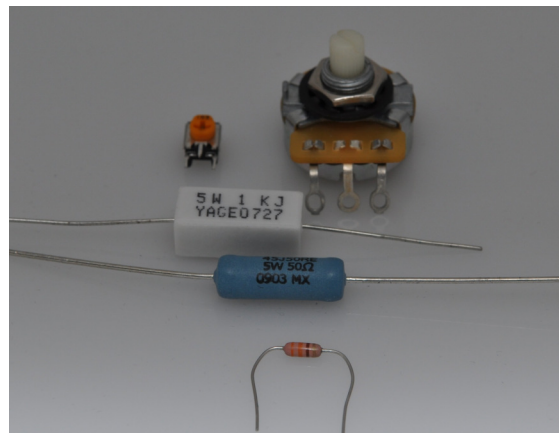


Figure 10.2 – Résistances diverses.

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.

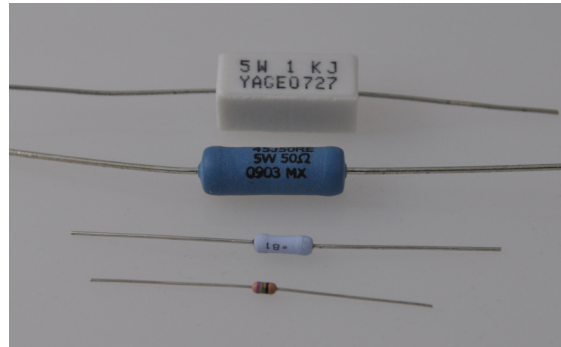


Figure 10.3 – Résistances à valeurs fixes.

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

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.

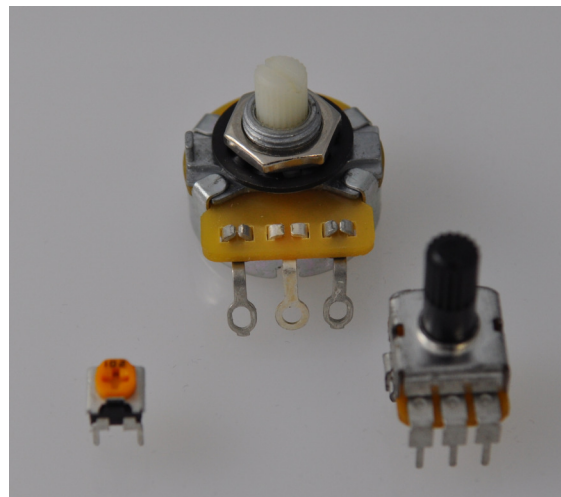


Figure 10.4 – Potentiomètres divers.

Ce contact peut être à glissière ou rotatif.

Certains potentiomètres contiennent aussi un interrupteur.

Les potentiomètres ne sont pas tous linéaires. Certains sont dit *logarithmiques* et sont utilisés dans les circuits audio pour répliquer l'effet de volume que l'oreille humaine perçoit.

Photorésistance

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

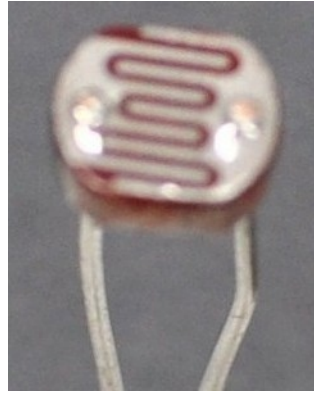


Figure 10.5 – Photorésistance.

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

Le changement de valeur prend habituellement 10 ms à se produire.

Elles sont souvent utilisées dans les lampes extérieures pour l'allumage automatique.

10.2 Marquage alphanumérique

La valeur d'une résistance est parfois inscrite en utilisant le code « RKM » de la norme [IEC 60062](#).

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

Tableau 10.1 – Code RMK (partiel) pour résistance

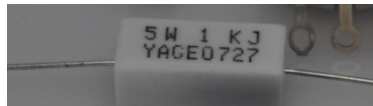
Lettre	Préfixe	Tolérance
L	milli	
R	-	
F	-	±1%
G	-	±2%
K	kilo	±10%
M	mega	±20%
G	giga	
T	tera	
J		±5%

Ce type de marquage est aussi régulièrement utilisé dans les schémas.

Lecture

La lecture se fait de la manière suivante :

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



Résistance de 1 kΩ, ±5 %

10.3 Marquage de couleurs

Sur certaines résistances à valeurs fixes, la valeur et la tolérance sont indiquées par de 3 à 6 bandes de couleur, selon la norme [IEC 60062](#).

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	-

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 k Ω , $\pm 1\%$

Le problème de ce type de marquage est que certaines personnes ne perçoivent pas toute la gamme de couleur (daltonisme).

10.4 Applications

Les principaux usages de résistances.

Limiteur de courant

Pour réduire le courant utilisé par un autre composant.

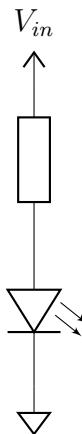


Figure 10.6 – Limiteur de courant.

Diviseur de tension

Pour avoir une tension relative à une autre.

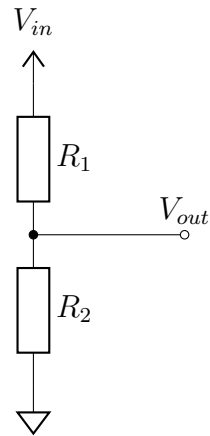


Figure 10.7 – Diviseur de tension.

La tension de sortie est calculée avec l'équation 10.1.

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (10.1)$$

Un potentiomètre est souvent utilisé lorsque la valeur de sortie doit être ajustée.

Résistances de rappel

Dans certains circuits, il arrive qu'une broche doit être à un niveau stable afin d'éviter le phénomène de *floating pin*.

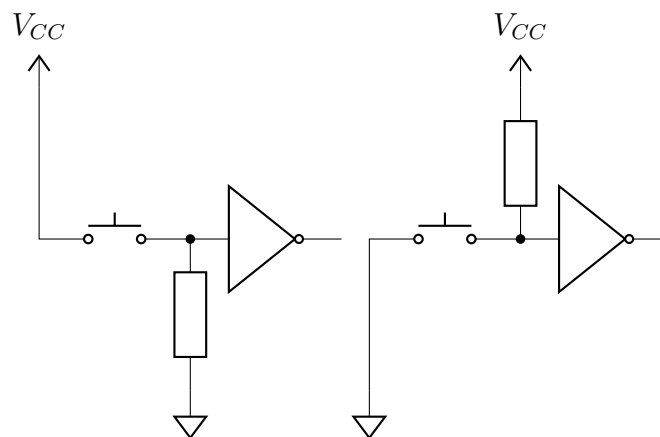


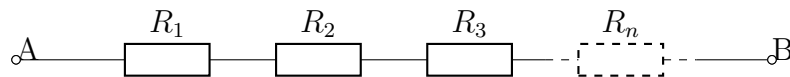
Figure 10.8 – Résistances de rappel (niveau bas et niveau haut).

10.5 Réseaux et résistance équivalente

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

Série

Dans un circuit contenant plusieurs résistances en *série*, la résistance équivalente (R_{eq}) entre les points A et B est représentée par l'équation 10.2.



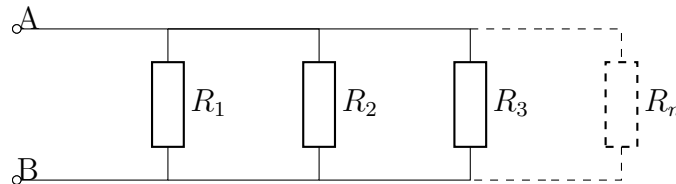
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \cdots R_n \quad (10.2)$$

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

Lorsque les résistances ont toutes la même valeur, l'équation 10.2 peut être simplifiée pour $R_{eq} = R \times n$.

Parallèle

Dans un circuit contenant plusieurs résistances en *parallèle*, la résistance équivalente (R_{eq}) entre les points A et B est représentée par l'équation 10.3.



$$R_{eq} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \cdots 1/R_n} \quad (10.3)$$

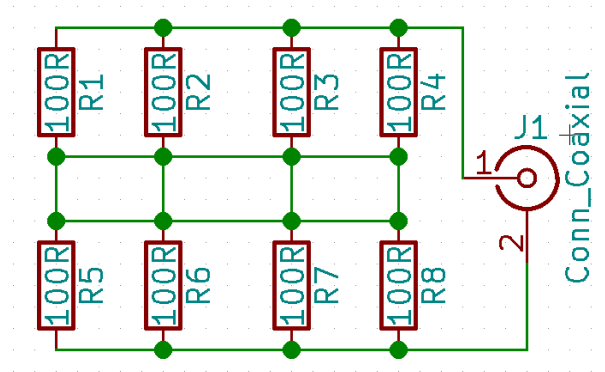
- La tension est la même aux bornes de chaque résistances ;
- Le courant est la somme des courants à travers le circuit.

Lorsque les résistances ont toutes la même valeur, l'équation 10.3 peut être simplifiée pour

$$R_{eq} = \frac{R}{n}.$$

Mixte

Il est aussi possible de combiner des résistance en série et en parallèle, comme dans le schéma suivant :



Charge fictive 50Ω .

Dans ce cas ci, nous avons deux réseaux séries de quatre résistances parallèles, ce qui permet d'obtenir une valeur de 50Ω 2 W avec huit résistance de 100Ω $0,25 \text{ W}$.

10.6 Exercices

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

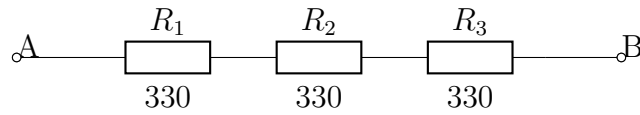
Quels sont :

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

Réponses

1. 2, 7, 1 $\Rightarrow 27 \times 10^1 \Rightarrow 270 \Omega$
2. $\pm 5 \%$
3. 256,5 Ω à 283,5 Ω

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

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 :

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

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

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

11 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 valeurs courantes sont souvent en deçà de 1 F.

11.1 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.

11.2 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.

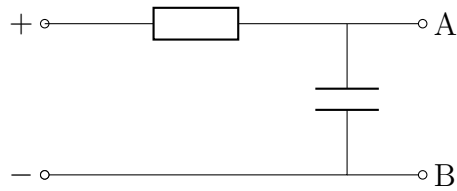
En coupant la source de courant, le condensateur va libéré la charge emmagasinée, jusqu'à ce que les tension des plaques soient de nouveau égales.

Un condensateur bloque un courant continue mais laisse passer un courant alternatif, il s'oppose donc aux changements de *tension*.

Un condensateur peut garder sa charge électrique sur une longue période. Il est fortement recommandé de déchargé un condensateur en utilisant une résistance de puissance appropriée et non pas un simple bout de fil.

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.

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

Où :

- τ : temps en seconde (s) ;
- R : résistance ;
- C : capacitance.

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

On considère un condensateur complètement chargé après 5τ .

11.3 Types de condensateurs

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

Voici les principaux.

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.

Ils étaient souvent présents dans les appareils radio antérieur aux années 1980.

Condensateurs en céramique

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



Figure 11.2 – Condensateur en céramique.

Condensateurs à film

Le diélectrique est fait d'un film plastique.

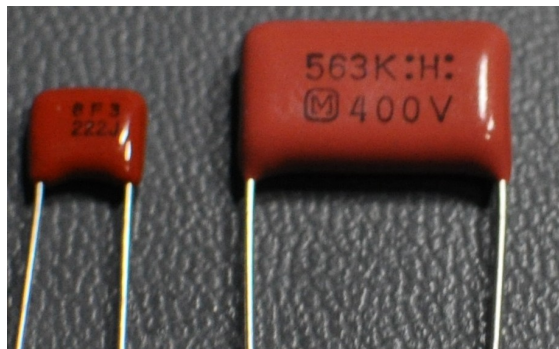


Figure 11.3 – Condensateurs à film.

On appelle parfois ce type de condensateur *condensateur à polymère*.

Condensateurs électrolytiques

Ce type de condensateur est polarisé.

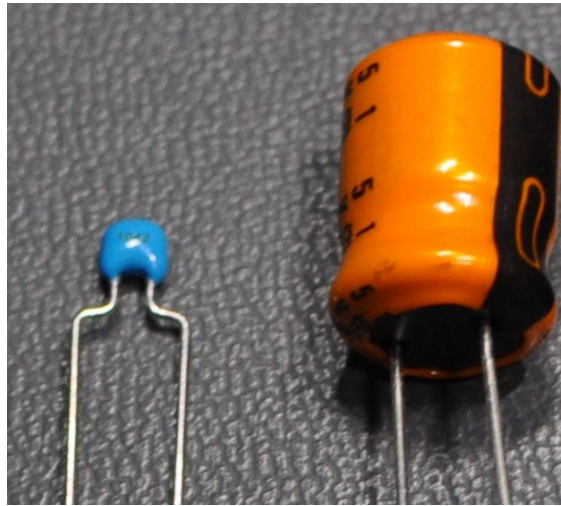


Figure 11.4 – Condensateurs électrolytiques tantalum et aluminium.

Ce sont des condensateurs avec des valeurs plus élevées dans un format compact.

Ils existent principalement en deux formats :

- Axial : Les broches sont à chaque bout, comme une résistance ;
- Radial : En forme de cylindre, les broches étant sous le dessous.

Une polarisation inverse ou un dépassement de tension maximale peut faire augmenter la pression interne et entraîner une explosion du condensateur.

11.4 Applications

Voici les principaux usages des condensateurs.

Découplage

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

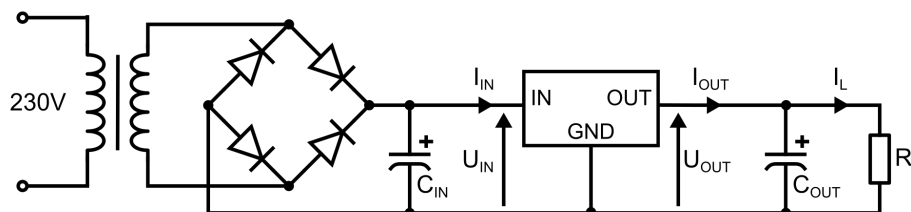


Figure 11.5 – Condensateurs de découplage dans un circuit d'alimentation.

On utilise aussi le terme « by-pass ».

Filtres

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

Nous en verrons plus de détails dans une prochaine section.

11.5 Réseaux et capacitance équivalente

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

Série

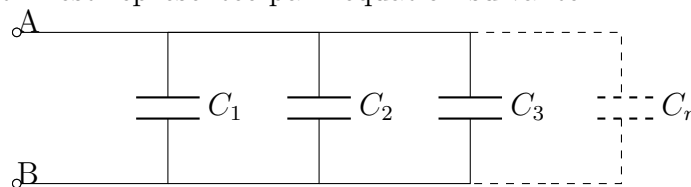
Dans un circuit contenant plusieurs condensateurs en *série*, la capacité équivalente (C_{eq}) entre les points A et B est représentée par l'équation suivante :



$$C_{eq} = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 \dots 1/C_n} \quad (11.2)$$

Parallèle

Dans un circuit contenant plusieurs condensateurs en *parallèle*, la capacité équivalente (C_{eq}) entre les points A et B est représentée par l'équation suivante :



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

11.6 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 $10\ \mu\text{F}$?

Réponses

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

12 Les bobines

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).

12.1 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.

12.2 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.

12.3 Types

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

Air

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

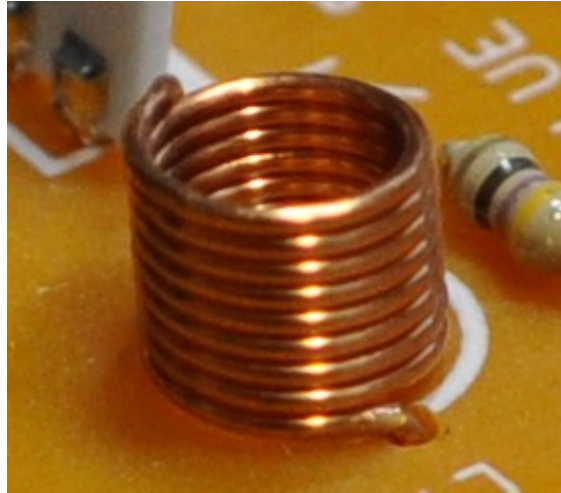


Figure 12.2 – Bobine à air.

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.

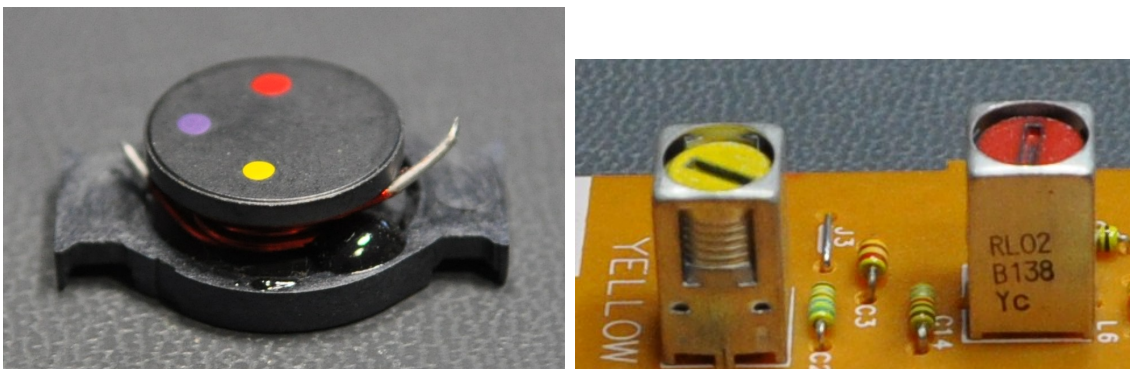


Figure 12.3 – Bobines à ferrite (fixe, variables).

Toroïdal

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



Figure 12.4 – Bobine toroïdal.

12.4 Applications

Voici quelques applications utilisant des bobines.

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.

On utilise souvent le terme « choke » pour désigné cette usage.

Filtres

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


Nous en verrons plus de détails dans une prochaine section.

12.5 Réseaux et inductance équivalente

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

Série

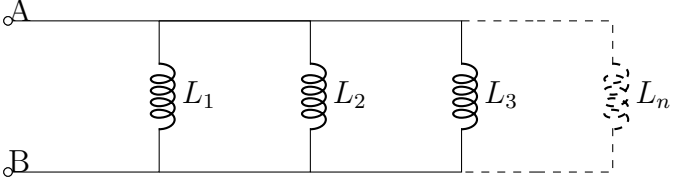
Dans un circuit contenant plusieurs bobines en *série*, l'inductance équivalente (L_{eq}) entre les points A et B est représentée par l'équation 12.1



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

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



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

12.6 Exercices

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

Réponses

1. 5 mH

13 Réactance et impédance

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

13.1 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.

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)

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)

13.2 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)

Dans un monde idéal, les résistances n'ont aucune réactance et les condensateurs et bobines n'ont aucune résistance.

Dans un circuit comprenant une bobine et un condensateur :

- L'impédance des deux éléments en série est au minimum.
- L'impédance des deux éléments en parallèle est au maximum.

13.3 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).

Les circuits résonnants sont utilisés pour construire des *filtres*, audio et radio, afin de sélectionner des fréquences spécifiques.

13.4 Circuits

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

RL

Une résistance et une bobine.

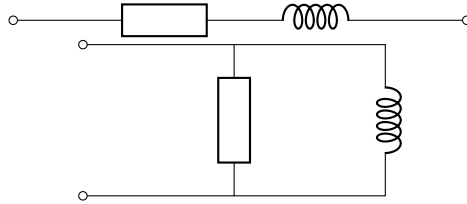


Figure 13.1 – Circuits RL : série et parallèle.

RC

Une résistance et un condensateur.

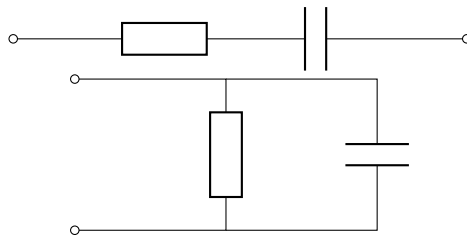


Figure 13.2 – Circuits RC : série et parallèle.

LC

Une bobine et un condensateur.

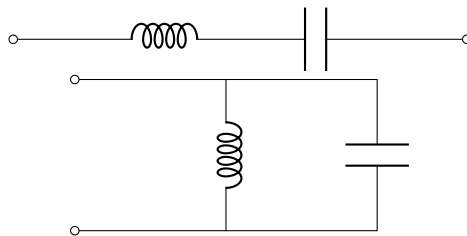


Figure 13.3 – Circuits LC : série et parallèle.

RLC

Une résistance, une bobine et un condensateur.

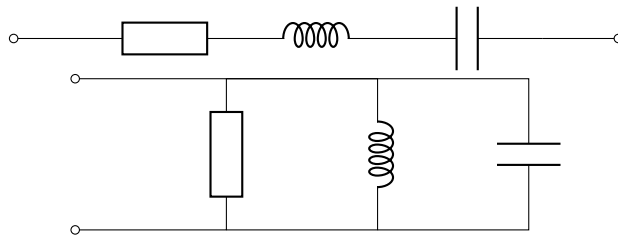


Figure 13.4 – Circuits RLC, série et parallèle.

13.5 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 :

Réponses

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

14 Transformateurs

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

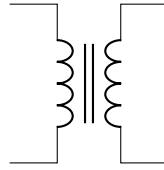


Figure 14.1 – Transformateur (T).

14.1 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.

14.2 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.

Il est important de noter que la puissance est, théoriquement, la même aux bornes du primaire et du secondaire. En pratique, une légère perte d'énergie est transformée en chaleur à cause de la résistance du conducteur utilisé.

Il existe des transformateurs avec plusieurs secondaires.

Supposons une transformateur de 50 W ayant 40 tours au primaire et 20 tours au secondaire (rapport de 2:1).

Alimentée par une tension de 120 V, il pourras fournir une tension de 60 V et un courant de 0,8 A.

14.3 Applications

Voici quelques usages des transformateurs.

Isolation

Transformateur ayant rapport 1 : 1.

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

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.

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.

14.4 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 ?

Réponses

1. 5 A
2. 250 mA

15 Haut-parleurs

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.

16 Microphones

microphones

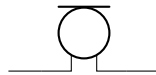


Figure 16.1 – Symbole schématique d'un microphone (MK).

17 Les quartz

Crystaux

(*Crystal oscillator*)

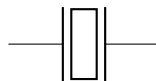


Figure 17.1 – Symbole schématique d'un quartz (Y).

Le terme « xtal » est aussi utilisé. Par contre, la lettre de référence X est réservée aux réceptacles de fusibles et de lampes, selon le standards [IEEE 315-1975](#).

18 Cellule photovoltaïque

Solar cell

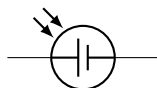


Figure 18.1 – Symbole schématique d'une cellule voltaïque (*BT*).

19 Les diodes

Diodes

19.1 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})

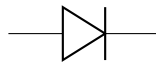


Figure 19.1 – Symbole schématique d'une diode (D).

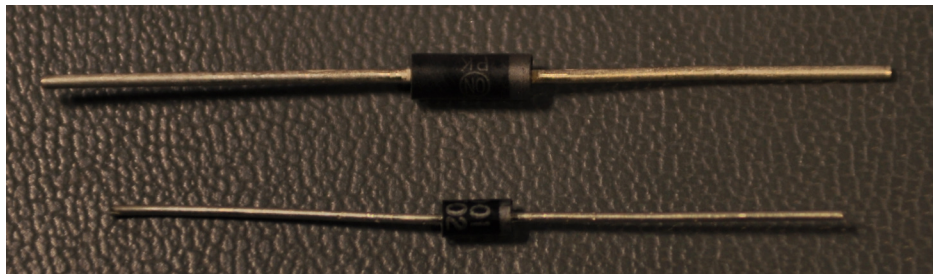


Figure 19.2 – Diodes à usage général

La cathode est indiquée physiquement par la bande noire ou grise.

Formats :

- DO-204 ;
- DO-7 (DO-204-AA) ;
- DO-35 (DO-204-AH or SOD27) ;
- DO-41 (DO-204-AL or SOD66).

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 .

Protection

Protection relais

Redressement

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

Seulement la partie positive du signal ne peut passer.

circuit

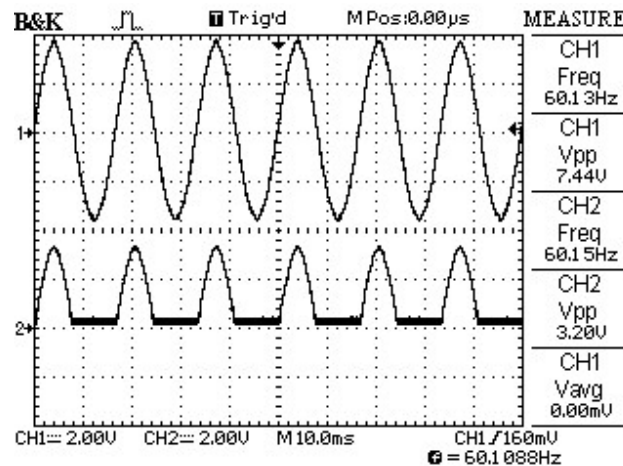
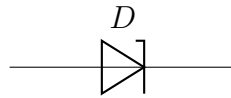


Figure 19.3 – Redressement d'un signal alternatif.

Pont redresseur

19.2 Diodes Zener

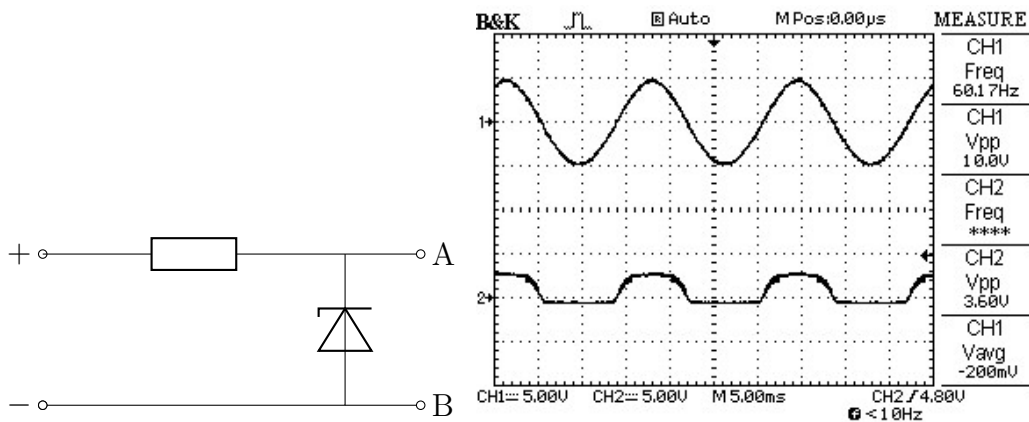
Contrairement à une diode conventionnelle, une diode Zener en polarisation inverse est capable de maintenir une tension stable sans être détruite.



Symbole d'une diode Zener.

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.

Elles sont donc surtout utilisées comme limiteur de tension, c'est à dire assurer une tension maximale à partir d'une source variable.

19.3 Diodes électroluminescentes

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

-

luminosité et couleur

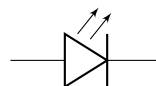


Figure 19.4 – Symbole d'une DEL.

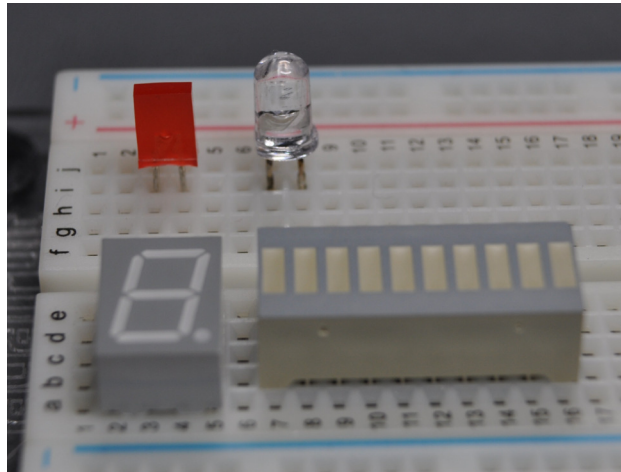


Figure 19.5 – DEL divers.

Identification des broches

- Anode : Broche la plus longue
- Cathode : Coté plat du boîtier

Selon les matériaux utilisés lors de la fabrication, les photons émis seront dans la plage de la lumière :

- Visible
- Ultraviolet
- Infrarouge

Certaines DEL peuvent émettre plusieurs couleurs et possèdent plus de deux électrodes.

Résistance de protection

Afin d'éviter de détruire la DEL, le courant y circulant doit être limité à l'aide d'une résistance insérée en série.

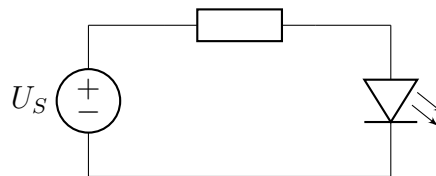


Figure 19.6 – DEL dans un circuit.

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 :

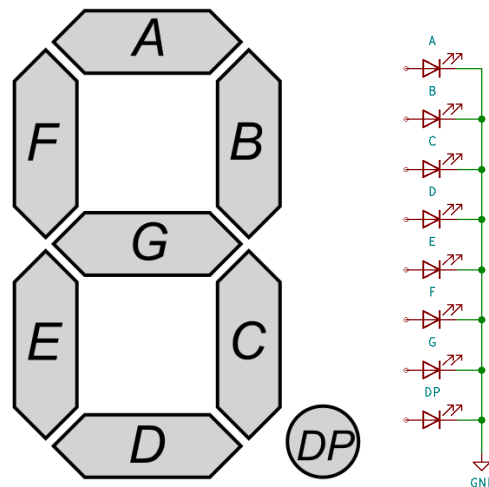
- U_s : La tension de la source d'alimentation ;
- U_f : La tension *forward* de la DEL ;
- I_f : Le courant *forward* de la DEL.

Afficheur 7 segments

a revoir ou placer

Une série de DEL dans un même boîtier servant à représenter principalement les nombres de 0 à 9. Souvent une DEL est aussi comprise et servant de « point décimal » dans le coin inférieur droit.

L'identification des segments est standard selon le schémas suivant :



Disposition des segments DEL (concept et physique).

Il existe aussi d'autres formats allant jusqu'à 16 segments.

Une erreur fréquente est de n'utiliser qu'une seule résistance commune pour toutes les DEL. Cela résulte en une luminosité variable, selon le nombre de segment allumés.

19.4 Exercices

Selon la fiche technique de la [DEL HLMP-K150](#)⁴

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

Calculer la résistance nécessaire pour une tension d'alimentation de

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

⁴https://media.digikey.com/pdf/Data_Sheets/Everlight_PDFs/HLMP-D,K.pdf

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

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

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

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

1. F,B,G,E,C
2. F,E,D

20 Les transistors

Explication transistors

20.1 Transistors bipolaires

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

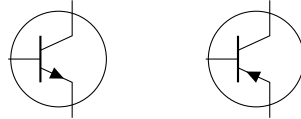


Figure 20.1 – Symboles schématisés de transistor (Q) NPN et PNP.

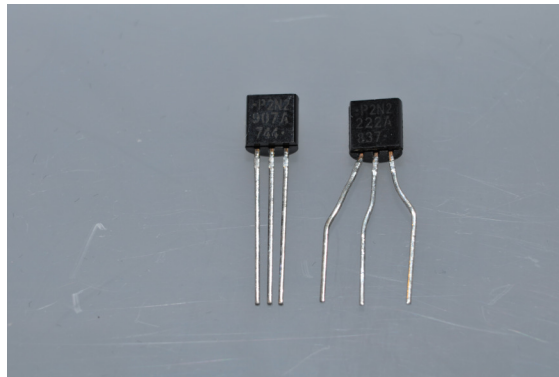
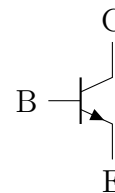


Figure 20.2 – Transistors.

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 modèles $2N2222$ (NPN) et $2N2907$ (PNP) sont des transistors bipolaires souvent rencontrés.

Fonctionnement

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

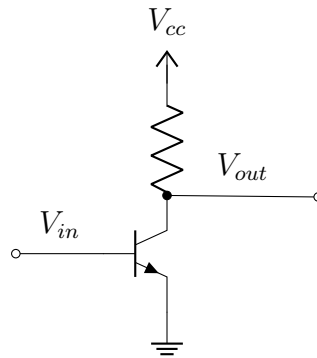


Figure 20.3 – Fonctionnement d'un transistor (émetteur commun).

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)

Plus cette valeur est basse, plus l'amplification possible est élevé.

Usages

Émetteur commun

Collecteur commun

Base commune

Interrupteur

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

transistor sw

20.2 Transistors à effet de champ

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

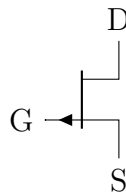


Figure 20.4 – Symboles des transistors à effet de champ (Canal P, Canal N).

Ce type de transistor est aussi appelé transistor unipolaire. En anglais : Field Effect Transistor ou FET

Caractéristiques

- 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.



Un transistor à effet de champ peut être facilement détruit par une décharge d'électricité statique.

Utilisation

20.3 Formats

Format *TO* (Transistor Outline)

format transistors

TO-92

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

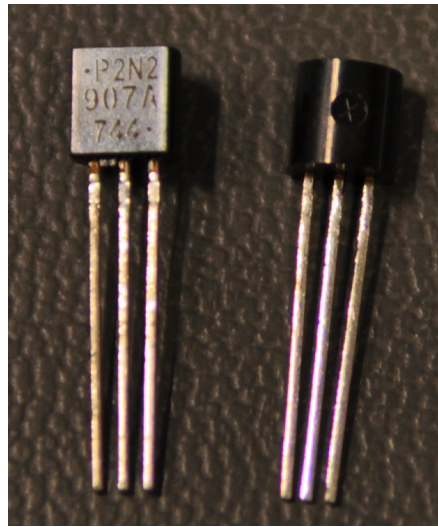


Figure 20.5 – TO-92 (avant et arrière).

Aussi connu sous le nom *SOT54*.

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).

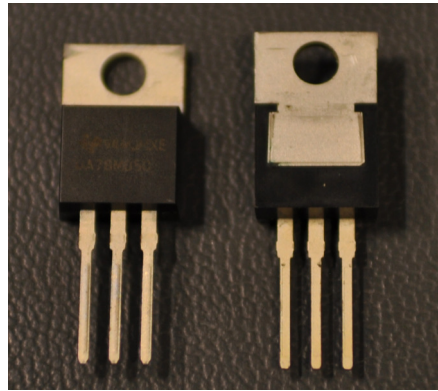


Figure 20.6 – TO-220 (avant et arrière).

21 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

Ainsi, pour une perte de moitié d'un signal (2:1), on indiquera qu'il est de -3 dB.

Comme les décibels peuvent s'additionner, un gain en puissance de quatre se traduit par 6 dB (3 dB + 3 dB) et un gain de huit se traduit par 9 dB (3 dB + 3 dB + 3 dB).

21.1 Exercices

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

1. 3dB

22 Les circuits intégrés

IPD : Integrated passive devices

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 termes *puce*, *chip* et **integrated circuit (IC)** sont aussi utilisés.

22.1 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*.

Afin de diminuer les risques, les précautions suivantes sont de mise :

- Ne pas toucher les contacts d'un circuit ou composant ;
- L'utilisation d'un bracelet et/ou d'une surface anti-statique ;
- L'entreposage des composants dans des contenants prévus à cet effet.



Figure 22.1 – Bracelet, sac et mousse anti-statique.

22.2 Formats

a faire

DIP

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

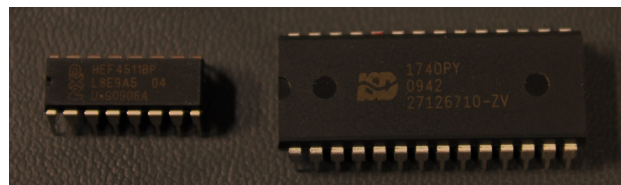


Figure 22.2 – DIP mince et large.

La broche numéro 1 est toujours celle dans le coin inférieur gauche, indiquée par un point ou une encoche sur le boitier, et la numération se fait dans le sens inverse des aiguilles d'une

montre.

Socket ordinaire et ZIF

22.3 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

La tension de sortie est indiquée par xx .

- 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.

La série $79xx$ existe pour des tension de sortie négative.

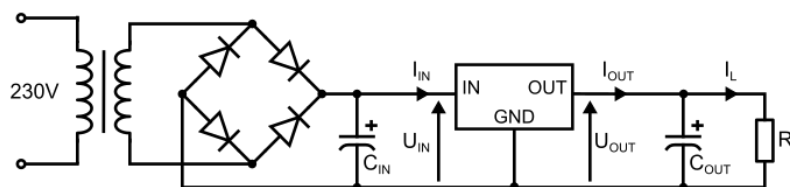


Figure 22.3 – Exemple d'un circuit de régulation CA/CC.

22.4 LM317

Régulateur de tension linéaire ajustable introduit par *National Semiconductor* (Texas Ins-

truments)⁵.

Le *LM337* est la version avec une tension de sortie négative.

22.5 LM386

Amplificateur audio basse tension introduit par *National Semiconductor* (Texas Instruments)⁶.

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

22.6 555

Minuterie introduit par *Signetics* (NXP)⁷.

Des modèles double (556) et même quadruple (558) existent.

22.7 Logique

74xx & 40xx

22.8 Opto-coupleurs

opto-coupleurs

⁵<https://www.ti.com/lit/gpn/lm317>

⁶<https://www.ti.com/lit/gpn/lm386>

⁷<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/ICM7555.pdf>

23 Les blocs d'alimentation

B-003-017

24 Les amplificateurs

amplis

25 Le multimètre

L'instrument de mesure le plus utilisé en électricité et électronique.

Un multimètre comprends au minimum les fonctions suivantes :

- Ampèremètre ;
- Voltmètre ;
- Ohmmètre.



Figure 25.1 – Différents multimètres (analogue et numérique).

Certains multimètre possèdent d'autres fonctions comme :

- Capacimètre ;
- Fréquencemètre ;
- Test de diodes ;
- Test transistors ;
- Sondes de température.

25.1 Types

Il existe deux grands types de multimètre :

- Analogue : cadran gradué et aiguille ;
- Numérique : écran [affichage à cristaux liquides \(ACL\)](#).

Les modèles analogues sont plus fragile et la lecture est un peu plus ardue. Par contre, les fonctions d'ampèremètre et de voltmètre n'ont pas besoin de piles.

Les modèles numériques requiert des piles pour toutes les fonctions mais sont plus simples à utiliser.

Dans cette livre, nous nous concentrerons sur les modèles numériques de base.

25.2 Éléments

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

Sélecteur et fonctions

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



Figure 25.2 – Sélecteur de fonctions d'un multimètre.

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.

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.

Au minimums deux bornes sont présentes :

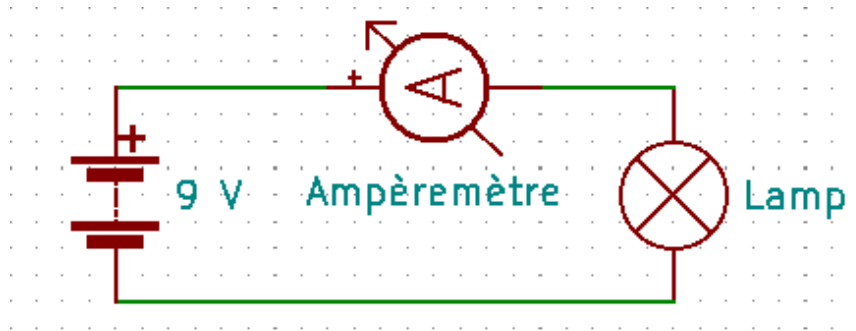
- *COM* : La borne commune
- Une borne pour les différentes fonctions.

Souvent d'autre bornes existent pour des fonctions supplémentaires ou des plages de mesure spécifiques.

25.3 Ampèremètre

Un ampèremètre sert à mesurer le courant. Il se branche en *série* dans un circuit et se comporte comme une résistance de faible valeur, laissant circuler tout le courant.

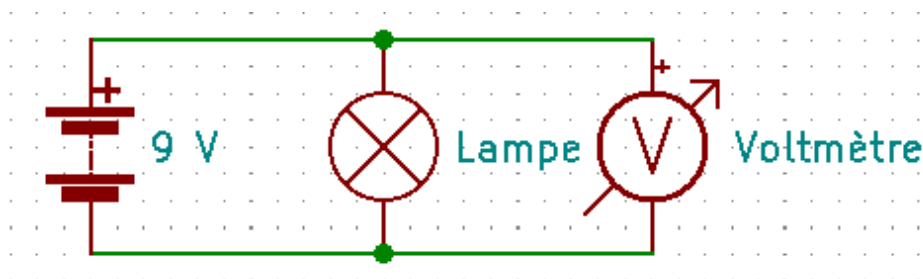
1. Brancher le fil d'essai noir dans le connecteur « commun »
2. Brancher le fil d'essai rouge sur la borne de la fonction « A » de la bonne plage de valeur
3. Sélectionner la plage de lecture adéquate pour la fonction « A »
4. Insérer les sondes en **série** dans le circuit, tout en respectant la polarité



25.4 Voltmètre

Un voltmètre sert à mesurer une tension. Il se branche en *parallèle* dans un circuit et se comporte comme une résistance de valeur infinie, ne laissant passer aucun courant.

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



Dans un circuit **CA** avec un signal sinusoïdal, la valeur lue sera la valeur efficace (RMS).

25.5 Ohmmètre

Un ohmmètre indique la résistance d'un composant en envoyant un faible courant dans un circuit et mesurant la perte de tension.

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



26 Prototypage

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.

26.1 Les outils

Outils

26.2 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.

Elles sont utilisées pour des expérimentations et le prototypage d'un circuit avant sa réalisation sur un support permanent.

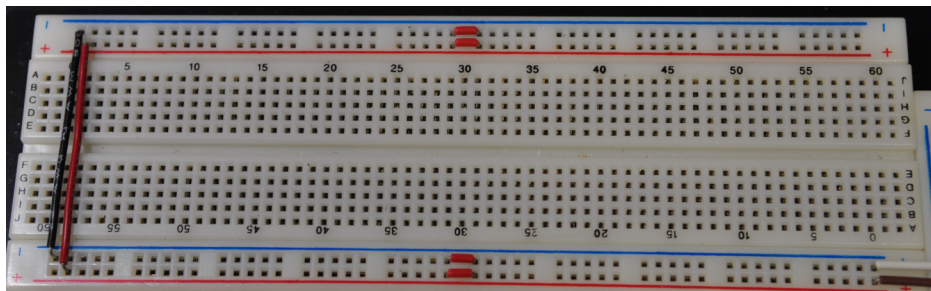


Figure 26.1 – Platines d'expérimentation « full » avec 2 « bus ».

Les noms « protoboard » et « breadboard » sont souvent utilisés pour les désigner.

Les points d'insertion sont identifiés par des colonnes et rangés. Les colonnes, numériques, sont séparées en deux sections alphabétiques. Les points d'insertion de ces sections sont reliés électriquement entre eux.

Ces platines existent en trois grandeurs standards :

- *Full* : 64 rangés (640 points), souvent accompagné de 2 « bus »
- *Half* : 30 rangés (300 points), souvent accompagné de 2 « bus »
- *Mini* : 17 rangés (170 points)

Grâce à des encoches, certaines de ces platines peuvent être attachées ensemble :

- Grandeur *Full* : Sur la largeur ;

- Grandeur *Half* : Autant sur la largeur que sur la longueur.

Cavaliers

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

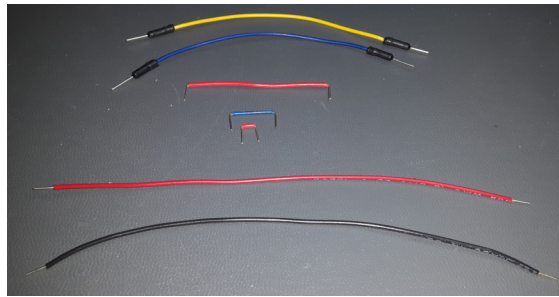


Figure 26.2 – Cavaliers divers.

Les longs cavaliers fait de fils toronnés sont munis d'une tige solide pour faciliter leurs insertions.

Pour les plus courts, ils sont habituellement fait d'un fil plein et formés de façon à reposer à plat sur la platine, réduisant l'apparence « spaghetti ».

Adaptateurs

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

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

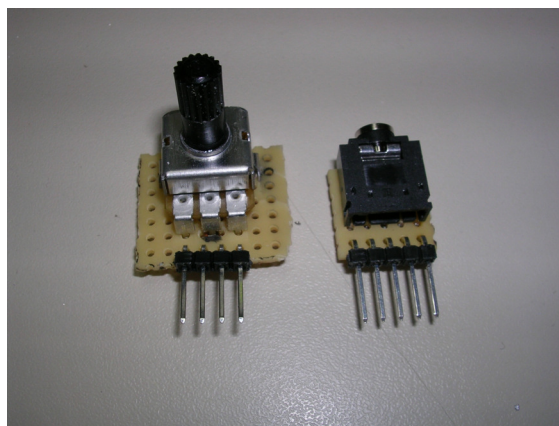


Figure 26.3 – Adaptateurs divers pour platine.

26.3 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*).

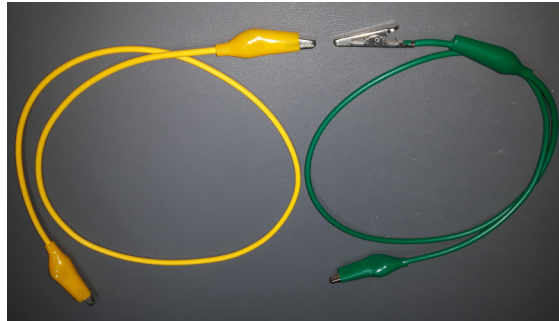


Figure 26.4 – Câbles de liaison avec pinces crocodiles.

27 Laboratoires

27.1 Matériels nécessaires

Le tableau 27.1 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.

EROP2ASA

Tableau 27.1 – Outils et composants pour les laboratoires.

Item	Fabricant	# pièce	Qté
Support de montage	DFrobot	FIT0096	1
Cavaliers divers AWG #22	Bud Industries	BC-32625	1
Cavaliers princes crocodiles	Adafruit Industries LLC	4100	1
Lumière 12 V	JKL Components Corp.	2174	1
Résistances 470 Ω	Stackpole Electronics Inc	CFM14JT470R	10
Résistances 3,2 k Ω			10
DEL low power	Everlight Electronics Co Ltd	HLMP-K150	10
Potentiomètre 10 k Ω			1
Haut-parleur 8 Ω	DB Unlimited	SM231508-1	1
Bouton poussoir	Omron Electronics Inc	B3F-6022	4
Photocell	Advanced Photonix	PDV-P8103	1
Transistor 2N2222			1
Transistor NPN			4
Diode			4
Relais 5 V	CIT Relay and Switch	J104D2C5VDC.20S	1
Régulateur 5 V	onsemi	MC78M05CTG	1
Panneau solaire	Panasonic - BSG	AM-1456CA-DGK-E	1
Multimètre V, A, Ω	SparkFun Electronics	TOL-18340	1

Une des sources d'alimentation électrique suivantes sera nécessaire pour la réalisation des laboratoires :

Tableau 27.2 – Piles alcalines 1,5 V

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

Tableau 27.3 – Piles rechargeables 1,2 V

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

Le tableau 27.4 liste quelques distributeurs fiables et possédant un accès aux fiches techniques.

Tableau 27.4 – Distributeurs

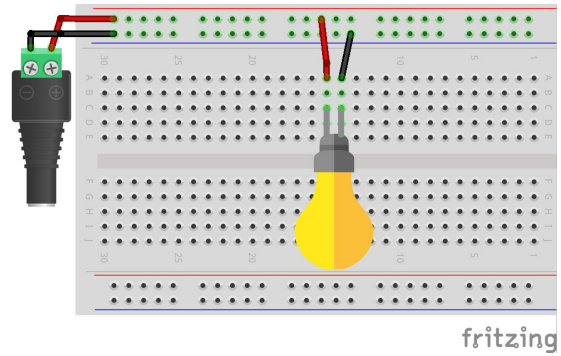
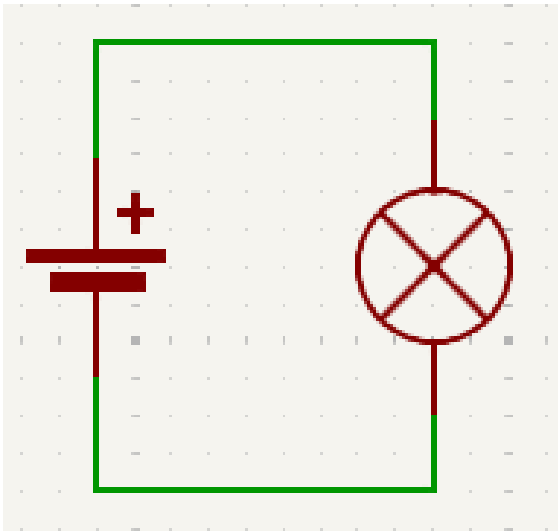
Nom	Site web
DigiKey	https://www.digikey.ca/
Mouser	https://www.mouser.ca/
electro sonic	https://www.e-sonic.com/
Sparkfun	https://www.sparkfun.com/
Adafruit	https://www.adafruit.com/

27.2 Mon premier circuit

Matériel requis

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

Schémas



Étapes

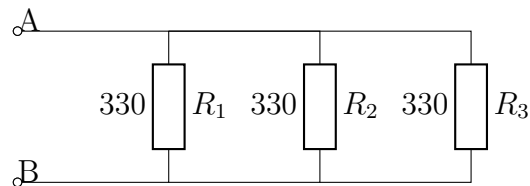
1. Brancher la lampe
2. Insérer les fils entre les bus et la lampe
3. Insérer les piles/batterie dans le support
4. Brancher l'alimentation électrique aux bus
5. Vérifier que la lumière s'allume

27.3 Le multimètre

- 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.

27.4 Résistances

Câbler le réseau suivant et mesurer :



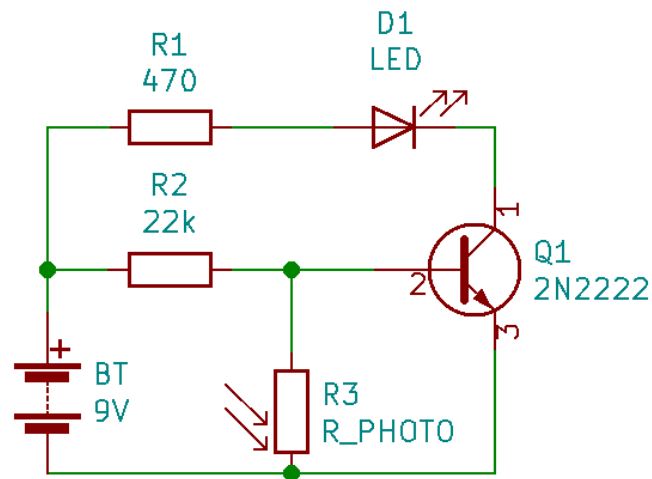
- La résistance équivalente
- La tension de chaque résistance
- Le courant de chaque résistance

27.5 Les condensateurs

lab

27.6 Les transistors

Exercices et lab 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

1. $U_b \approx V, U_c \approx V$

2. $U_b \approx V, U_c \approx V$

27.7 Les CI

Régulateur 5V

A Bibliographie

- Lessons In Electric Circuits :
<http://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/>
- ARRL Handbook for Radio Communications :
<http://www.arrl.org/shop/Technical/>
- TAB ELECTRONICS GUIDE TO UNDERSTANDING ELECTRICITY AND ELECTRONICS :
<https://www.mhprofessional.com/>
- À la découverte de l'électronique, édition 2017 :
<https://clubs.raqi.ca/ve2gcf/>
- Canadian Amateur Radio Advanced Qualification Study Guide :
<https://coaxpublications.ca/>
- Wikipedia :
<https://wikipedia.com/>
- Le Système international d'unités, 9^e édition
<https://www.bipm.org/fr/publications/si-brochure/>
- Banque de questions pour le certificat d'opérateur radioamateur avec compétence de base
https://apc-cap.ic.gc.ca/datafiles/amateur_basic_questions_fr.pdf
- IEC 60062 : <https://www.sis.se/api/document/preview/8021442>
- IEC 60228 : <https://webstore.iec.ch/publication/71891>
- Electropedia (IEC) : <https://www.electropedia.org/>
- AWG vs SI : <https://learnmetrics.com/wire-gauge-chart-amp-wire-sizes/>
- Résumé – Notation scientifique et de l'ingénieur : <https://prof.delbecque.org/wp-content/uploads/2019/07/NotationScientifique.pdf>

Préfixes

tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

Unités

Tension	U (E,V)	volt	V
Courant	I	ampère	A
Puissance	P	watt	W
Conductance	C	siemens	S
Résistance	R	ohm	Ω
Réactance	X	ohm	Ω
Impédance	Z	ohm	Ω
Capacitance	C	farad	F
Inductance	L	henry	H
Fréquence	f	hertz	Hz

Formules de base

Loi d'Ohm : $U = I \times R$

Effet Joule : $P = U \times I$

$U_{RMS} = U_{PEAK} \times 0,707$

Résistances

Série : $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \cdots R_n$

$U_{Rt} = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} \cdots U_{Rn}$

$I_{Rt} = I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} \cdots I_{Rn}$

Parallèle : $R_{eq} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \cdots 1/R_n}$

$U_{Rt} = U_{R1} = U_{R2} = U_{R3} \cdots U_{Rn}$

$I_{Rt} = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} \cdots I_{Rn}$

Condensateurs

Série : $C_{eq} = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 \cdots 1/C_n}$

Parallèle : $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \cdots C_n$

Inducteurs

Série : $L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 \cdots L_n$

Parallèle : $L_{eq} = \frac{1}{1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 \cdots 1/L_n}$

Réactance

Capacitive : $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$

Inductive : $X_L = 2\pi fL$

Impédance

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

Résonance

$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

décibel

dB	Gain
1	1
3	2
10	10

6 dB = 3 dB + 3 dB

8 dB = 3 dB + 3 dB + 2 dB

Code de couleur

Couleur	Valeur	Tolérance
Noir	0	
Marron	1	±1%
Rouge	2	±2%
Orange	3	
Jaune	4	
Vert	5	±0.5%
Bleu	6	±0.25%
Violet	7	±0.10%
Gris	8	±0.05%
Blanc	9	
Or		±5%
Argent		±10%

Amplificateurs

Classe	Angle	Distorsion	Efficacité	Utilisation
A	360°	Low	Low	Audio
AB	360° à 180°	Medium	Mieux que A, pire que B	Audio power
B	180°	High	Moderate	Audio power/RF
C	<180°	Extreme	High	RF power

Constante de temps

$$t = R \times C \text{ (s)}$$

t	Charge	Décharge
1	62,4%	36,8%
2	86,5%	13,5%

Diodes

Anode (+), Cathode(-)

$$\text{Zener : } R = \frac{U_{in} - U_Z}{I_Z}$$

$$\text{DEL : } R = \frac{U_{in} - U_{DEL}}{I_{DEL}}$$

Transistors

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

$$\beta(h_{FE}) = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Liste des points à traiter

Haut-parleurs	85
microphones	85
Crystaux	85
Solar cell	86
Diodes	87
Protection relais	88
circuit	88
Pont redresseur	88
luminosité et couleur	89
a revoir ou placer	91
Explication transistors	96
Émetteur commun	97
Collecteur commun	97
Base commune	97
transistor sw	97
.	98
format tytransistors	98
IPD : Integrated passive devices	103
a faire	104
Socket ordinaire et ZIF	105
Mise à la terre	105
74xx & 40xx	106
opto-coupleurs	106
B-003-017	107
amplis	108
Outils	114
EROP2ASA	117
lab	120
Exercices et lab transistors	120
.	122
Régulateur 5V	122