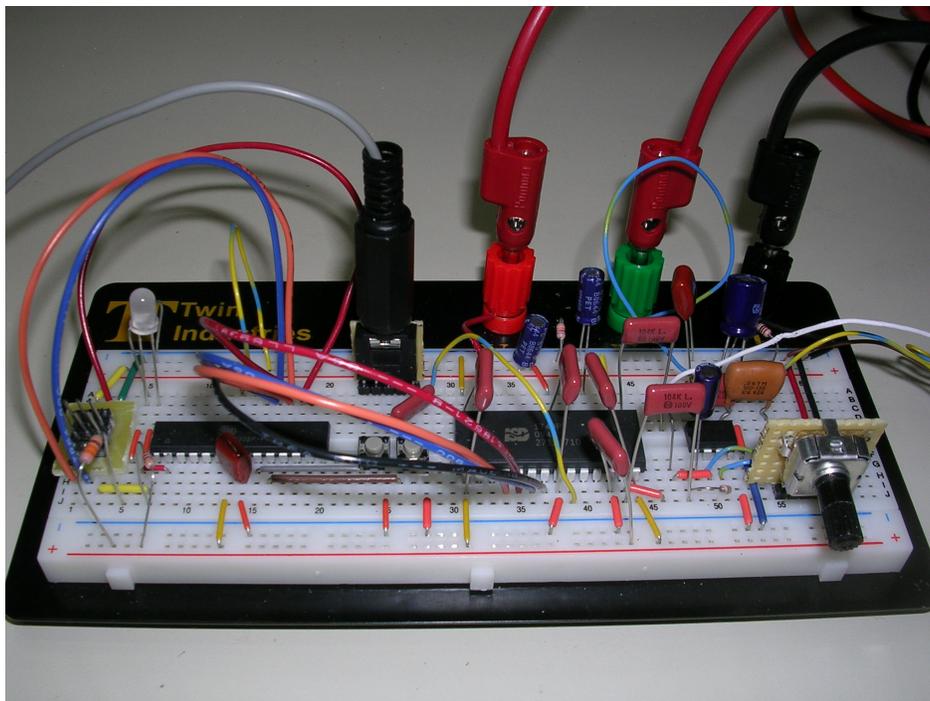


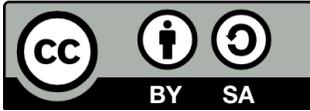
Initiation à l'électronique

Patrice Nadeau

Version : 0.00.04



Page laissée intentionnellement vide.



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
1.1	Matériels nécessaires	1
2	Notions générales	3
2.1	Lettres grecques	3
2.2	Symboles mathématiques	3
2.3	Constantes mathématiques	3
2.4	Normes et standards	4
2.5	Le système international d'unités	6
2.6	Notation scientifique	7
2.7	Fréquence	9
2.8	Exercices	10
3	L'électricité	12
3.1	L'atome	12
3.2	Le courant électrique	13
3.3	La tension électrique	13
3.4	La résistance électrique	14
3.5	La loi d'Ohm	15
3.6	La puissance électrique	15
3.7	Équations supplémentaires	16
3.8	Circuits électriques	16
3.9	Électricité statique	17
3.10	Sécurité	18
3.11	Exercices	19
4	Magnétisme et électromagnétisme	21
4.1	Aimants permanent	21
4.2	Champ magnétique	21
4.3	Induction	21
4.4	Exercices	22
5	Courant continu et alternatif	24
5.1	Courant continu	24
5.2	Courant alternatif	24
5.3	Exercices	26
6	Les fils et supports électriques	28
6.1	Les fils électriques	28
6.2	Câbles de liaison	29
6.3	Platines d'expérimentation	30

6.4	Circuits imprimés	32
6.5	Exercices	33
6.6	Laboratoire	35
7	Piles et batteries	36
7.1	Les piles primaires	36
7.2	Les piles secondaires	38
7.3	Branchements	41
7.4	Exercices	42
8	Les coupe-circuits	44
8.1	Les fusible	44
8.2	Les disjoncteurs	45
8.3	Fusibles réarmables	46
8.4	Exercices	48
9	Les interrupteurs	50
9.1	Boutons poussoirs	50
9.2	Directionnels	50
9.3	Exercices	51
10	Les résistances	53
10.1	Types de résistances	53
10.2	Marquage alphanumérique	55
10.3	Marquage de couleurs	56
10.4	Applications	57
10.5	Réseaux et résistance équivalente	59
10.6	Exercices	61
11	Les condensateurs	65
11.1	Fabrication	65
11.2	Fonctionnement	65
11.3	Types de condensateurs	66
11.4	Applications	68
11.5	Réseaux et capacitance équivalente	69
11.6	Exercices	70
12	Les bobines	72
12.1	Fabrication	72
12.2	Fonctionnement	72
12.3	Types	72
12.4	Applications	74
12.5	Réseaux et inductance équivalente	75

12.6 Exercices	76
13 Réactance et impédance	78
13.1 Réactance	78
13.2 Impédance	79
13.3 Résonance	79
13.4 Circuits	79
13.5 Exercices	82
14 Transformateurs	84
14.1 Fabrication	84
14.2 Fonctionnement	84
14.3 Applications	84
14.4 Exercices	87
15 Haut-parleurs	89
15.1 Fabrication	89
15.2 Fonctionnement	90
15.3 Les microphones	90
16 Les quartz	90
16.1 Applications	91
17 Les diodes	92
17.1 Fonctionnement	92
17.2 Diodes à usage général	92
17.3 Les diodes Zener	94
17.4 Les diodes électroluminescentes	94
17.5 Exercices	97
17.6 Laboratoire	99
18 Les transistors	100
18.1 Transistors bipolaires	100
18.2 Transistors à effet de champ	102
18.3 Formats	103
18.4 Exercices	106
18.5 Laboratoire	108
19 Le décibel	109
19.1 Exercices	110
20 Les circuits intégrés	112
20.1 Format DIP	112
20.2 Photocoupleurs	113

21 Les régulateurs de tension	113
21.1 Le régulateur 78xx	113
21.2 Le régulateur LM317	114
22 Minuterie 555	114
22.1 Caractéristiques	115
22.2 Mode monostable	115
22.3 Mode bistable	115
22.4 Mode astable	116
22.5 Laboratoire	117
23 Les amplificateurs opérationnels	119
23.1 LM386	119
23.2 Laboratoire	120
24 Les blocs d'alimentation	122
24.1 Fonctionnement	122
24.2 Usages	122
25 Les circuits logiques	122
26 Le multimètre	124
26.1 Types	124
26.2 Éléments	125
26.3 Ampèremètre	126
26.4 Voltmètre	127
26.5 Ohmmètre	128
A Bibliographie	129

Liste des tableaux

1.1	Équipement de base	1
1.2	Composants pour les laboratoires.	2
1.3	Outils facultatifs pour les laboratoires.	2
2.1	Alphabet grec (partiel)	3
2.2	Constantes mathématiques utilisées dans ce document	4
2.3	Unités courantes du SI	6
2.4	Préfixes communs du SI	7
2.5	Plages de fréquence	9
6.1	Différents calibres AWG.	29
10.1	Code RMK (partiel) pour résistance	56
10.2	Code de couleur (partiel) IEC 60062	57
19.1	Rapports des puissances et décibels	109
22.1	555.	115
23.1	LM-386 : (I)nput, (O)output, (P)ower.	120

Table des figures

2.1	Affichage en mode scientifique.	8
2.2	Affichage en mode ingénieur.	8
2.3	Signal sinusoïdale de 4 secondes (0,25 Hz).	9
3.1	Modèle atomique simplifié.	12
3.2	Bracelet, sac et mousse anti-statique.	18
5.1	Signal sinusoïdale avec tensions de crête et RMS.	24
6.1	Différents fils électriques.	28
6.2	Symboles de fils se croisant, sans contact et avec contact.	28
6.3	Câbles de liaison avec pinces crocodiles.	30
6.4	Câbles de liaison avec fiches bananes 4 mm.	30
6.5	Platines d'expérimentation «full» avec 2 «bus».	30
6.6	Contacts électriques internes d'une platine d'expérimentation	31
6.7	Cavaliers préfabriqués.	31
6.8	Adaptateurs divers pour platine (potentiomètre, prise audio).	32
7.1	Différents formats de piles et batteries alcalines.	37
7.2	Différents formats de piles boutons lithium.	38
7.3	Batterie automobile au plomb de 12 V.	39
7.4	Piles Ni-MH (AAA et AA) avec adaptateurs (C et D).	39
7.5	Pile lithium-Ion.	40
7.6	Batterie $LiFePO_4$	40
7.7	Piles branchées en série.	41
7.8	Piles branchées en parallèle.	41
8.1	Différents fusibles cylindriques.	45
8.2	Différents fusibles à lames.	45
8.3	Disjoncteur.	46
8.4	Fusibles réarmables CTP.	46
9.1	Différents types d'interrupteurs.	50
10.1	Résistances diverses.	53
10.2	Résistances à valeurs fixes.	54
10.3	Potentiomètres divers.	54
10.4	Photorésistance.	55
10.5	Limiteur de courant.	58
10.6	Diviseur de tension.	58
10.7	Résistances de rappel (niveau bas et niveau haut).	59
11.1	Condensateur en céramique.	67
11.2	Condensateurs à film.	67
11.3	Condensateurs électrolytiques tantalum et aluminium.	68
11.4	Condensateurs de découplage dans un circuit d'alimentation.	68
12.1	Bobine à air.	73
12.2	Bobines à ferrite (fixe, variables).	73
12.3	Bobine toroidal.	74

12.4 Ferrite autour d'un fil.	74
13.1 Circuits RL : série et parallèle.	80
13.2 Circuits RC : série et parallèle.	80
13.3 Circuits LC : série et parallèle.	80
13.4 Circuits RLC, série et parallèle.	81
14.1 Transformateur (T).	84
14.2 Balun.	85
14.3 Transformateur d'alimentation.	86
15.1 Haut-parleur	89
15.2 Intérieur d'un haut-parleur	90
16.1 Quartz.	91
17.1 Diodes à usage général	92
17.2 Circuit redresseur.	93
17.3 Redressement d'un signal alternatif.	93
17.4 Circuit régulateur de tension.	94
17.5 DEL diverses.	95
17.6 DEL dans un circuit.	95
17.7 Simple circuit à DEL	99
18.2 Transistors.	100
18.3 Électrodes d'un transistor bipolaire.	100
18.4 Mode commun transistor PNP : base, collecteur, émetteur.	101
18.5 Amplificateur FET non inversé.	103
18.6 TO-92 (avant et arrière).	104
18.7 TO-220 (avant et arrière).	105
18.8 Veilleuse électronique	108
20.1 DIP mince et large.	112
20.2 Photocoupleur	113
22.1 555 en format DIP	115
22.2 555 en mode astable.	116
22.3 Oscillateur	118
23.1 LM-386 en format DIP.	119
23.2 LM386 gain de 20	121
24.1 Circuit interne d'un bloc d'alimentation.	122
26.1 Différents multimètres (analogue et numérique).	124
26.2 Sélecteur de fonctions d'un multimètre.	125
26.3 Sondes d'un multimètre.	126
26.4 Bornes d'un multimètre.	126

Glossaire

- AC** alternative current. [24](#), [26](#), [85](#)
- ACL** affichage à cristaux liquides. [124](#)
- ANSI** American National Standards Institute. [5](#), [119](#)
- AWG** American Wire Gauge. [29](#), [33](#), [34](#)
- BIPM** Bureau international des poids et mesures. [4](#), [6](#)
- BMS** Battery Management System. [38](#)
- CA** courant alternatif. [24](#), [25](#), [26](#), [84](#), [122](#), [127](#)
- CC** courant continu. [24](#), [36](#), [68](#), [85](#), [113](#), [120](#), [122](#)
- CEI** Commission électrotechnique internationale. [4](#)
- CI** circuit intégré. [112](#), [113](#), [115](#), [122](#), [123](#)
- CTP** coefficient en température positif. [46](#)
- DC** direct current. [24](#)
- DEL** diode électroluminescente. [94](#), [95](#), [96](#), [97](#), [99](#), [108](#), [113](#)
- DES** décharge électrostatique. [17](#)
- DIP** dual in-line package. [112](#), [115](#), [120](#), [122](#)
- DPDT** double position double throw. [50](#)
- DPST** double position single throw. [50](#)
- IC** integrated circuit. [112](#)
- IEC** International Electrotechnical Commission. [5](#), [13](#), [29](#), [55](#), [56](#), [129](#)
- IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers. [5](#), [119](#)
- ISO** International Organization for Standardization. [5](#), [6](#)
- LiFePO₄** lithium-fer-phosphate. [40](#)
- Li-ion** lithium-ion. [40](#)
- MALT** mise à la terre. [29](#)

NC normally close. [50](#)

Ni-MH nickel-métal-hydrure. [39](#), [42](#)

NO normally open. [50](#)

OQLF Office québécois de la langue française. [5](#), [7](#)

PPTC polymeric positive temperature coefficient device. [46](#)

SI système international d'unités. [6](#), [7](#), [8](#)

SPDT single position double throw. [50](#)

SPST single position single throw. [50](#)

TCR temperature coefficient of resistance. [57](#)

UIT Union internationale des télécommunications. [9](#)

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.

Il couvre aussi certaines questions des *listes de questions d'examens en radio amateur*¹ :

- Compétence de base : **30 mars 2023** ;

version 2025

- Compétence supérieure : **17 décembre 2019**.

Chaque section comprend des explications théoriques, des exercices et des laboratoires permettant de vérifier la compréhension des sujets.

1.1 Matériels nécessaires

Pour les personnes désirant faire les laboratoires, certain items seront nécessaires.

J'utilise les numéros d'inventaire de la compagnie *DigiKey*² à titre indicatif seulement.

D'autres fournisseurs existent aussi mais sans accès aux fiches techniques de leurs produits.

Les items en italique dans les tableaux suivants sont facultatifs.

Équipement de base

Voici les items de base que nous aurons besoin.

Tableau 1.1 – Équipement de base

Item	# DigiKey	Qté
Batterie 9 V	P687-ND	1
Snap 9 V	36-232-ND	1
Platine de montage « full »	1528-2143-ND	1
Cavaliers divers	1528-1967-ND	1

Composants

$\frac{1}{2}$ Watt

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

²<https://www.digikey.ca/>

LED plus grosses et plus grand nombre

Tableau 1.2 – Composants pour les laboratoires.

Item	# DigiKey	Qté
Résistances 10 Ω	S10QCT-ND	10
Résistances 470 Ω	S470QCT-ND	10
Résistances 1 k Ω	S1KQCT-ND	10
Résistances 22 k Ω	S22KQCT-ND	10
Potentiomètre 10 k Ω	3310R-125-103L-ND	1
Potentiomètre 1 M Ω	3310Y-001-105L-ND	1
Condensateur 4,7 μ F	P5177-ND	2
Condensateur 1 μ F	P5330-ND	2
Condensateur 0,01 μ F	EF2103-ND	2
Condensateur 0,05 μ F	BC5192-ND	1
Condensateur 220 μ F	P5183-ND	1
Haut-parleur 8 Ω	668-1135-ND	1
Photocell	PDV-P8103-ND	1
DEL	1080-1067-ND	2
Transistor NPN	PN2222AFS-ND	1
NE555	296-9682-5-ND	1
LM386	296-43960-5-ND	1

Outils

Tableau 1.3 – Outils facultatifs pour les laboratoires.

Item	# DigiKey	Qté
Multimètre V, A, Ω	1188-DIGITAL-MULTIMETERR-V-I-T-ND	1
Lunette de sécurité	3M155887-ND	1

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	$\approx 3,1417$
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, 16 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.

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

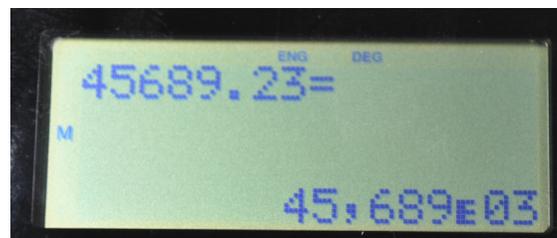


Figure 2.2 – Affichage en mode ingénieur.

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).

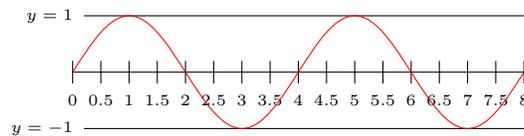


Figure 2.3 – Signal sinusoïdale de 4 secondes (0,25 Hz).

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*.

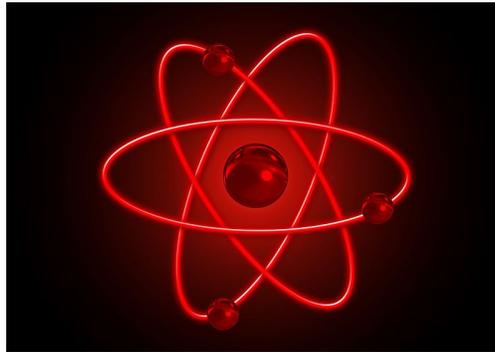


Figure 3.1 – Modèle atomique simplifié.

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.

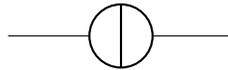
Électrons

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.



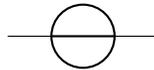
Symbole d'une source de courant.

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.



Symbole 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)³.

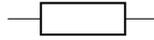
Dans une analogie hydraulique, on peut comparer la tension au dénivelé d'un cours d'eau.

³<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.



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

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

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 entrainera une surcharge électrique et sans aucune doute un dysfonctionnement du circuit.

Schématisation des sources électriques

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

Plusieurs symboles existent :

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



Symboles 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 Électricité statique

Une [décharge électrostatique \(DES\)](#), ESD en anglais, est souvent inoffensive pour un être humain mais peut être endommagée ou détruite 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 3.2 – Bracelet, sac et mousse anti-statique.

3.10 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.

3.11 Exercices

1. Quelles sont les unités électriques qui, multipliées entre elles, donnent des watts ?
2. Quel est la puissance dégagée par une charge soumise à un courant de 5 A sous une tension de 15 V ?
3. Quelle est la tension aux bornes d'une résistance de $10\ \Omega$ laissant circuler un courant de 2 A ?
4. Un circuit peut-il fonctionner sans charge ?

Réponses

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

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 la plupart du temps fait en acier.

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 taux de variation du courant est maximal.

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

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

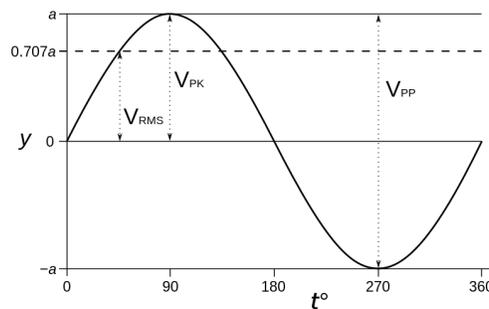


Figure 5.1 – Signal sinusoïdale avec tensions de crête et RMS.

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.

Au Canada, les tensions secteurs CA sont de 120 V et 240 V (RMS) sous une forme sinusoïdale 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. Dans quel sens se dirige le *sens conventionnel* du courant ?
2. Combien de fois un courant CA de 60 Hz change de sens en une seconde ?
3. Quel est la tension de crête d'un circuit de 240 V AC ?

Réponses

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

6 Les fils et supports électriques

Nous allons maintenant voir comment relier physiquement et électriquement des composants.

6.1 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 6.1 – Différents fils électriques.

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

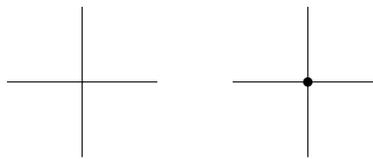


Figure 6.2 – Symboles de fils se croisant, sans contact et avec contact.

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

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.

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 6.1 – 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

Gaine

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

Certaines informations sont souvent imprimées sur celle-ci, entre autres :

- Des marquages de longueur ;
- Le calibre du conducteur ;
- La tension maximale

La couleur d'une gaine sert habituellement à représenter une utilisation particulière :

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

6.2 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*.

Pinces crocodiles

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

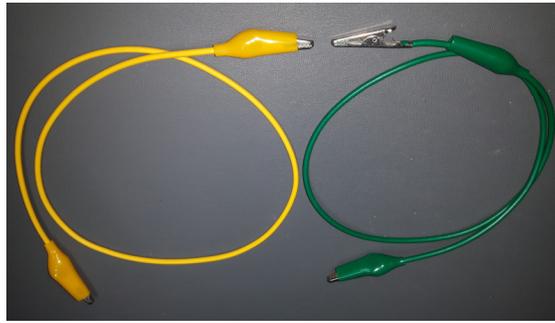


Figure 6.3 – Câbles de liaison avec pinces crocodiles.

Bananes



Figure 6.4 – Câbles de liaison avec fiches bananes 4 mm.

6.3 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 l'expérimentation et le prototypage d'un circuit avant sa réalisation sur un support permanent.

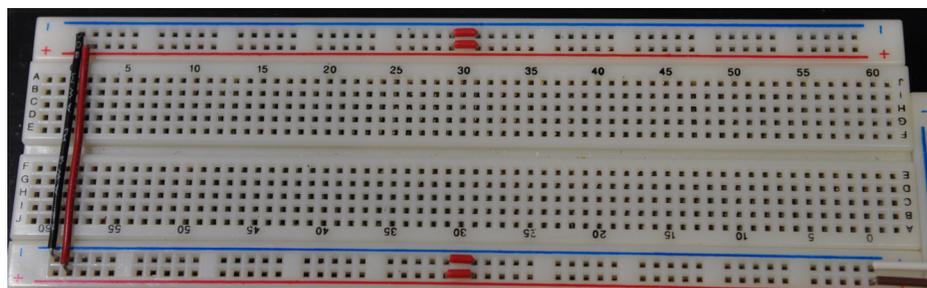


Figure 6.5 – Platines d'expérimentation « full » avec 2 « bus ».

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

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.

Elles sont parfois installées sur une base en aluminium munis de bornes *bananes*.

Contacts électriques

Les points d'insertion sont identifiés par des colonnes et rangés.

Les colonnes sont identifiées par des chiffres et sont séparées en deux rangés identifiées par des lettres.

Les points d'insertion de ces sections sont reliés électriquement entre eux.



Figure 6.6 – Contacts électriques internes d'une platine d'expérimentation

Cavaliers

Les différentes sections sont reliées par des *cavaliers* (*jumper wire*) de calibre 22 AWG.

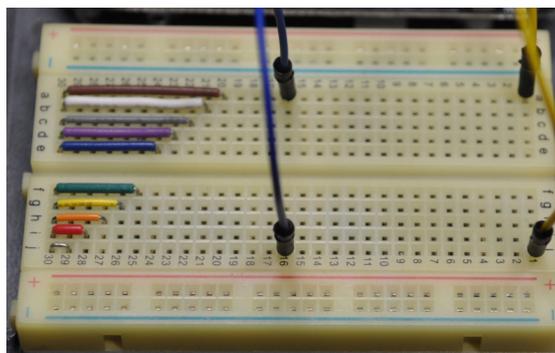


Figure 6.7 – Cavaliers préfabriqués.

On peut les acheter préfabriqués ou les fabriquer soi-même.

S'ils sont faits de fils toronnés, ils sont habituellement munis d'une tige solide pour en faciliter l'insertion.

Pour réduire l'apparence « spaghetti », ils sont souvent formés de façon à reposer à plat sur la platine,

Une petite pince à bec long (*long nose*) est très pratique pour ajouter ou enlever des cavaliers placés côte à côte.

Adaptateurs

Les platines d'expérimentation sont conçues pour les composants à enficher (*through-hole*).

Des adaptateurs peuvent être achetés ou construits pour les autres types de composants.

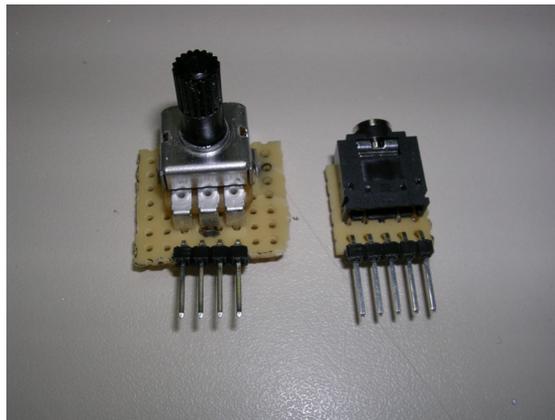


Figure 6.8 – Adaptateurs divers pour platine (potentiomètre, prise audio).

L'assemblage de ces adaptateurs requiert souvent l'utilisation d'un fer à souder, ce qui est hors champ de ce livre.

6.4 Circuits imprimés

Même si nous n'utiliserons pas de circuits imprimés dans ce livre, faisons un petit survol rapide.

Les circuits imprimés (*printed circuit board*, PCB) sont des plaques en composite sur lesquelles des traces en cuivre remplacent les fils électriques.

Les composants, à insérer ou en montage de surface, sont fixés à chaud par un mélange d'étain et de plomb.

Ils sont souvent fabriqués en grande quantité dans des ateliers spécialisés pour construire des circuits permanents.

6.5 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

6.6 Laboratoire

Utilisation de jumpers

7 Piles et batteries

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

Elles possèdent les principales caractéristiques suivantes :

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



Symboles pile et batterie (positif à gauche).

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 7.1 peut être utilisée pour la conversion.

$$x = \frac{q}{3600} \quad (7.1)$$

7.1 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.

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 7.1 – 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 7.2 – Différents formats de piles boutons lithium.

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

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

7.2 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 7.3 – 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-métal-hydrure

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

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



Figure 7.4 – 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 7.5 – 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 (LiFePO₄)** sont une variante plus sécuritaire des piles **Li-ion**. Elles possèdent une tension nominale de 3,2 V.



Figure 7.6 – Batterie $LiFePO_4$.

Elle sont parfois nommées *LFP*.

7.3 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 et la capacité restent les mêmes

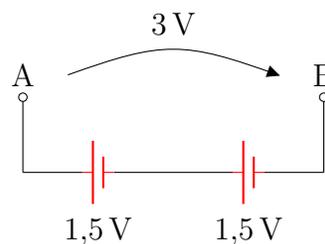


Figure 7.7 – Piles branchées en série.

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 et la capacité s'additionnent

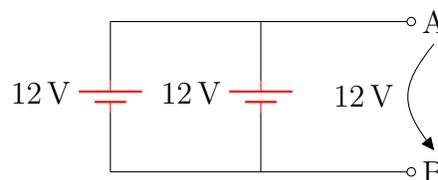


Figure 7.8 – Piles branchées en parallèle.

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

7.4 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

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.



Symbole d'un fusible.

Le fusible est installé dans un porte-fusible, interne ou externe à un boîtier. Il est habituellement installé sur le fil positif, le plus près possible de la source d'alimentation.

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 8.1 – 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.

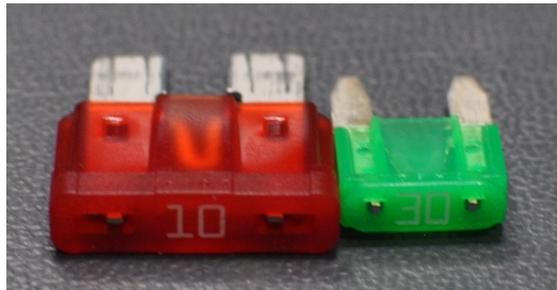


Figure 8.2 – Différents fusibles à lames.

On les appellent aussi *fusibles automobiles*.

8.2 Les disjoncteurs

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

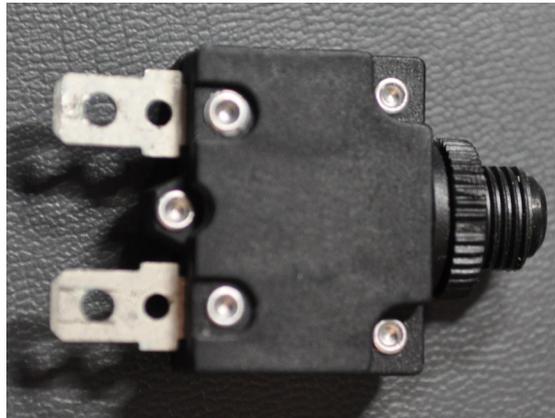


Figure 8.3 – Disjoncteur.

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.

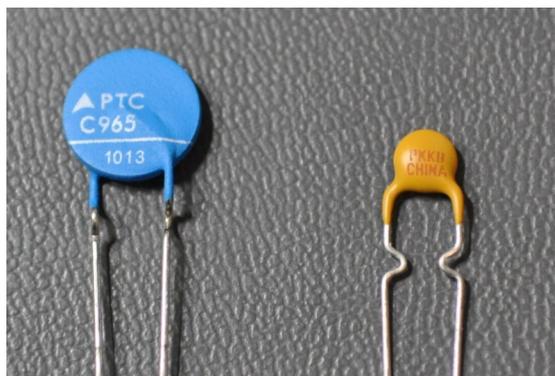


Figure 8.4 – Fusibles réarmables CTP.

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 \(NC\)](#)



Symboles 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 \(DPDT\)](#)



Symboles d'interrupteurs (SPST, DPST).

9.3 Exercices

Questions

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

Réponses

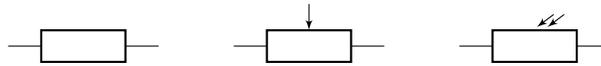
1. Non

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),



Symbole 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

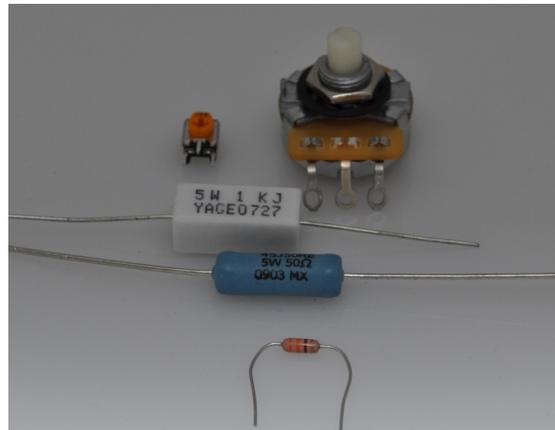


Figure 10.1 – Résistances diverses.

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.

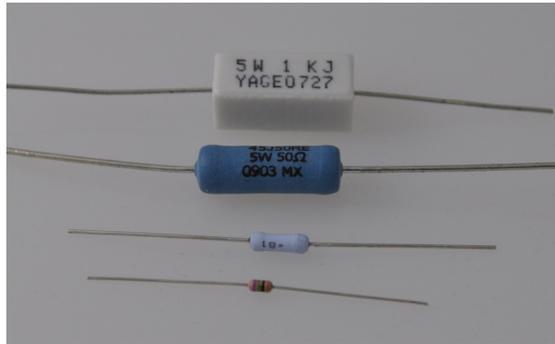


Figure 10.2 – Résistances à valeurs fixes.

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

Potentiomètre

explications des 3 broches

Un potentiomètre est une résistance muni de trois broches.

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

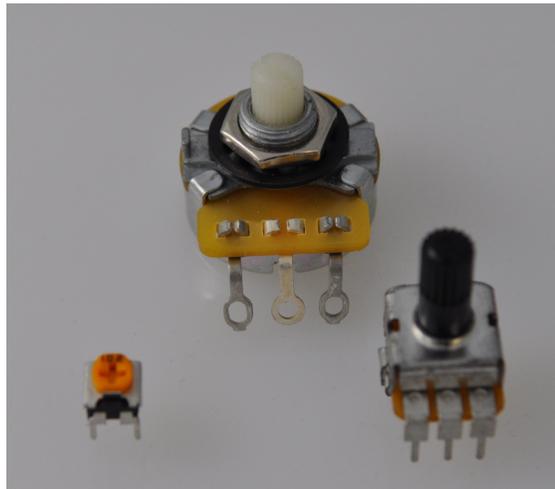


Figure 10.3 – Potentiomètres divers.

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 10.4 – 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

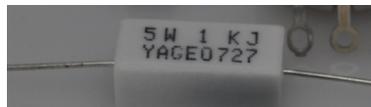
Lettre	Préfixe	Tolérance
L	milli	
R	-	
F	-	$\pm 1\%$
G	-	$\pm 2\%$
K	kilo	$\pm 10\%$
M	mega	$\pm 20\%$
G	giga	
T	tera	
J		$\pm 5\%$

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

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 kΩ, ±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.

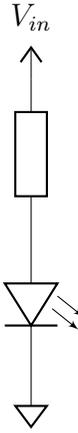


Figure 10.5 – Limiteur de courant.

Diviseur de tension

Pour avoir une tension relative à une autre.

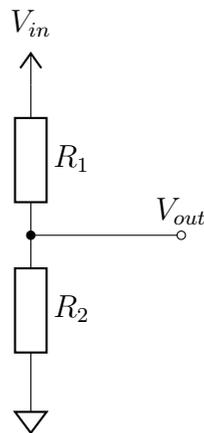


Figure 10.6 – Diviseur de tension.

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*.

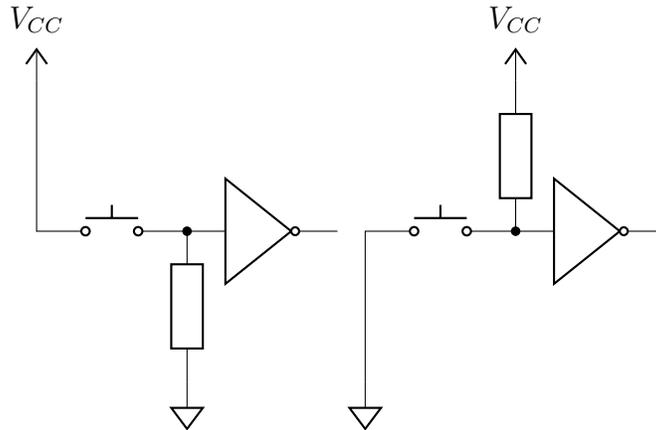


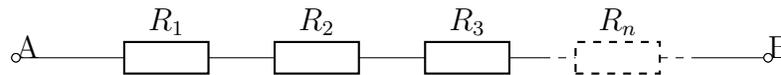
Figure 10.7 – Résistances de rappel (niveau bas et niveau haut).

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.



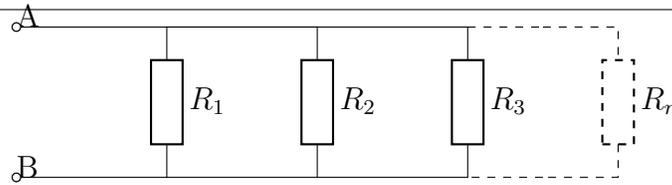
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \cdots R_n \tag{10.2}$$

- 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.



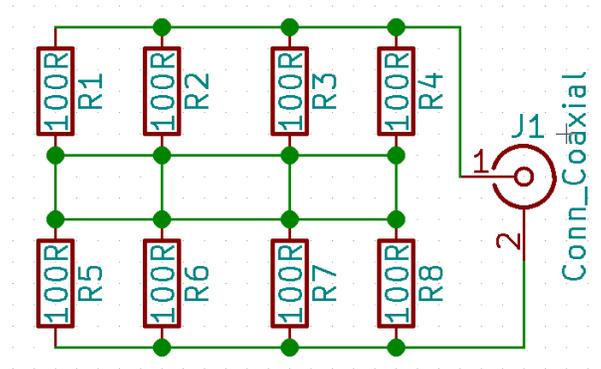
$$R_{eq} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \dots 1/R_n} \tag{10.3}$$

- 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 50 Ω.

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

10.6 Exercices

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

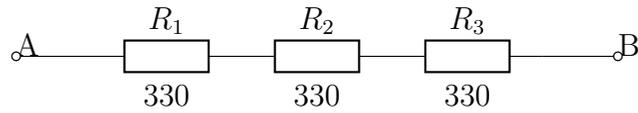
Quels sont :

- 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).



Symboles 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.

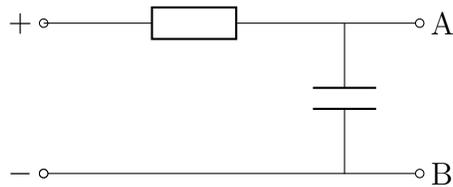
En coupant la source de courant, le condensateur va libéré la charge emmagasinée, jusqu'à ce que les tension des plaques soient de nouveau égales.

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 décharger 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 11.1 – Condensateur en céramique.

Condensateurs à film

Le diélectrique est fait d'un film plastique.

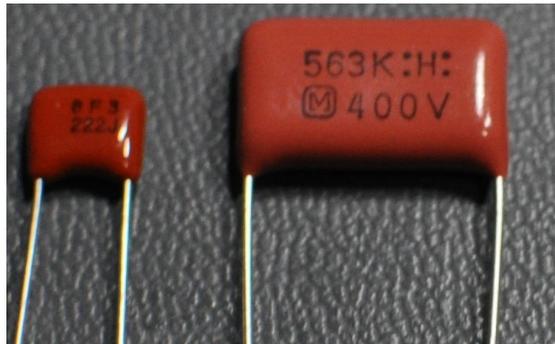


Figure 11.2 – Condensateurs à film.

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

Condensateurs électrolytiques

Ce type de condensateur est polarisé.

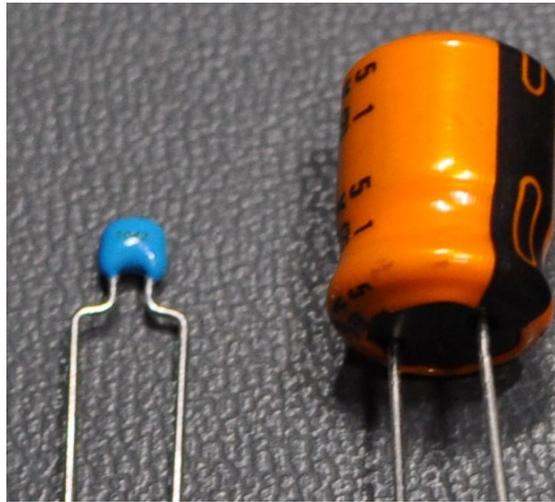


Figure 11.3 – Condensateurs électrolytiques tantalum et aluminium.

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.

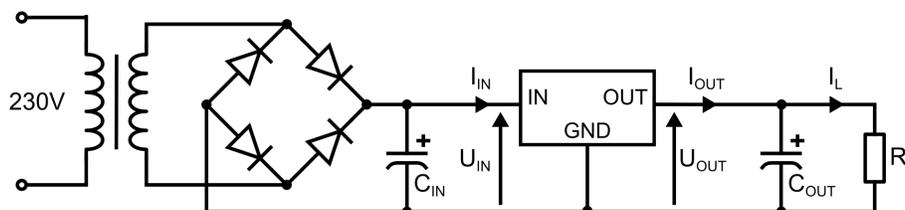


Figure 11.4 – Condensateurs de découplage dans un circuit d'alimentation.

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 :

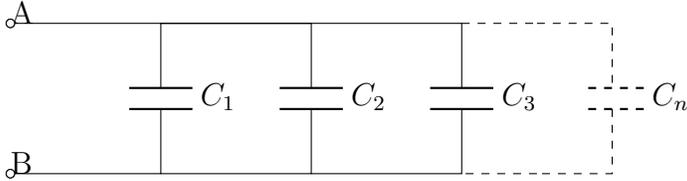


$$C_{eq} = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 \dots 1/C_n} \tag{11.2}$$

Lorsque les condensateurs ont tous la même valeur, l'équation 11.2 peut être simplifiée par $C_{eq} = \frac{C}{n}$.

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 :



$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \dots C_n \tag{11.3}$$

Lorsque les condensateurs ont tous la même valeur, l'équation 11.3 peut être simplifiée pour $C_{eq} = C \times n$.

11.6 Exercices

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

Réponses

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

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

12 Les bobines

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

Elles possèdent les caractéristique suivantes :

- Inductance : henry (H)



Symbole d'une bobine (L).

12.1 Fabrication

Une bobine est formée d'un conducteur enroulé autour d'un noyau. Ce noyau est 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 entraine la formation d'un champ magnétique perpendiculaire au conducteur.

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

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

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.

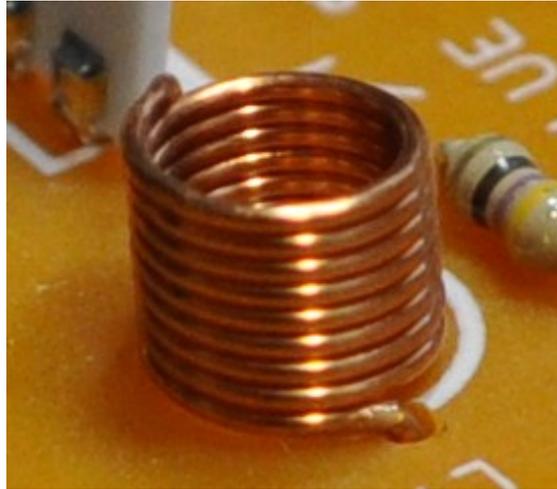


Figure 12.1 – Bobine à air.

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.

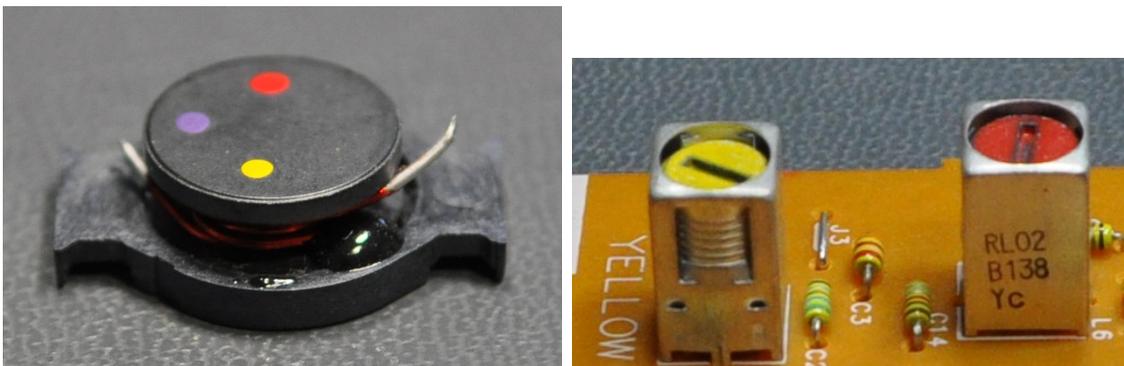


Figure 12.2 – Bobines à ferrite (fixe, variables).

Toroïdal

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



Figure 12.3 – 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 12.4 – 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

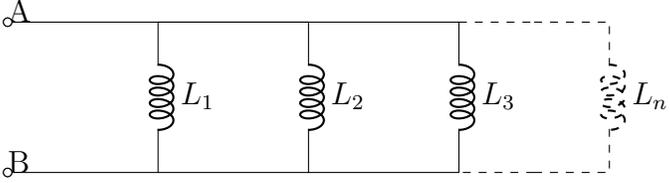


$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 \cdots L_n \quad (12.1)$$

Lorsque les bobines ont toutes la même valeur, l'équation 12.1 peut être simplifiée pour $L_{eq} = L \times n$.

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



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

Lorsque les bobines ont toutes la même valeur, l'équation 12.2 peut être simplifiée pour

$$L_{eq} = \frac{L}{n}$$

12.6 Exercices

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

Réponses

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

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.

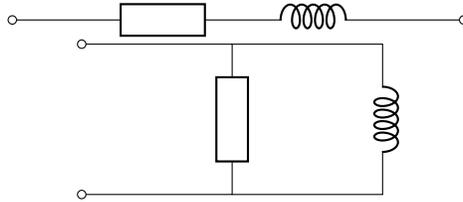


Figure 13.1 – Circuits RL : série et parallèle.

RC

Une résistance et un condensateur.

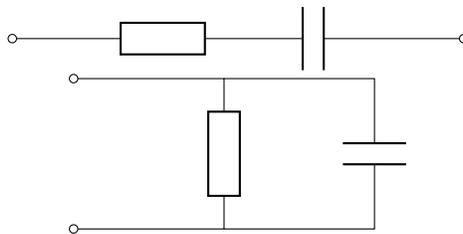


Figure 13.2 – Circuits RC : série et parallèle.

LC

Une bobine et un condensateur.

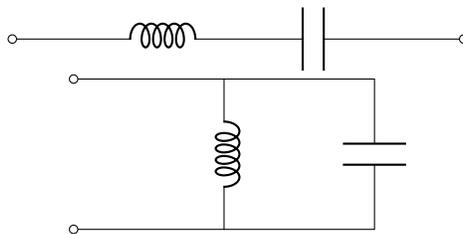


Figure 13.3 – Circuits LC : série et parallèle.

RLC

Une résistance, une bobine et un condensateur.

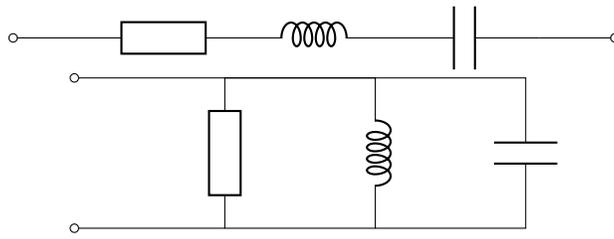


Figure 13.4 – Circuits RLC, série et parallèle.

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.

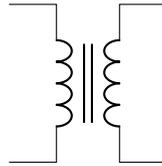


Figure 14.1 – Transformateur (T).

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

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

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

Dans certains cas, un transformateur éleveur est aussi appelé *transformateur survolteur*.

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 un 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 pourra 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. Un transformateur avec un secondaire unique de 12 V consomme 0,5 A sur son primaire de 120 V. En supposant qu'il n'y ait aucune perte, quel est le courant débité au secondaire ?
2. Un transformateur survolteur comprend un primaire et un secondaire dont le rapport de transformation est de 1 : 5. En supposant un rendement parfait, quel est le courant primaire si le secondaire fournit 50 mA ?

Réponses

1. Puissance en entrée : $0,5 \times 120 \Rightarrow 60 \text{ W}$

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

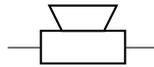
2. $0,05 \times 5 = 0,250 \Rightarrow 250 \text{ mA}$

15 Haut-parleurs

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

Ces caractéristiques importantes sont :

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



Symbole d'un haut-parleur (LS).



Figure 15.1 – Haut-parleur

Il existe différents types de haut-parleurs mais seulement le type *électrodynamique* sera étudié ici.

15.1 Fabrication

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

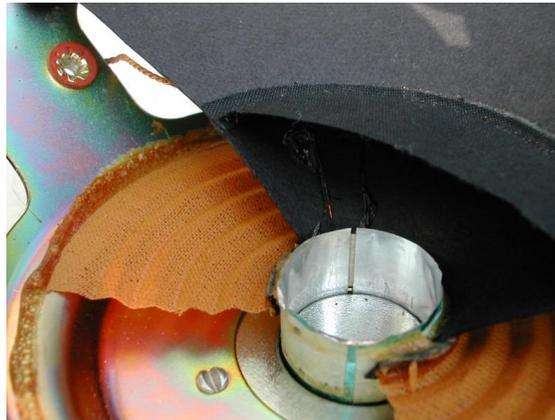


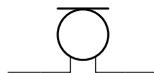
Figure 15.2 – Intérieur d'un haut-parleur

15.2 Fonctionnement

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

15.3 Les microphones

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



Symbole d'un microphone (MK).

Il existe aussi différents type de microphones.

16 Les quartz

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



Symbole d'un quartz (Y).

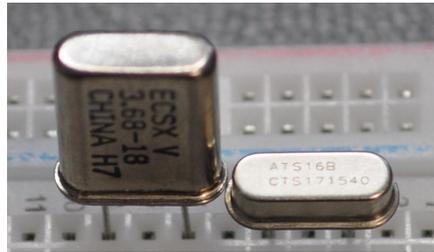


Figure 16.1 – Quartz.

Le terme « xtal » est aussi utilisé.

16.1 Applications

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

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

Les appareils de communication radio en utilisent aussi.

17 Les diodes

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

Elles ont pour principale caractéristique de ne laisser passer le courant que dans un sens, c'est à dire de l'anode (A) vers la cathode (K).

En parlant des diodes, on utilise souvent le sens *sens réel* du courant.

17.1 Fonctionnement

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

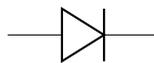
Cette « perte » de tension doit être considérée lors des calculs.

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

17.2 Diodes à usage général

Les principales caractéristiques d'une diode à usage général sont :

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



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



Figure 17.1 – Diodes à usage général

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

Elles sont disponibles en plusieurs formats :

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

Redressement

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

Seulement la partie positive du signal peut passer.

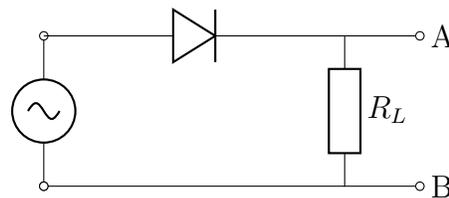


Figure 17.2 – Circuit redresseur.

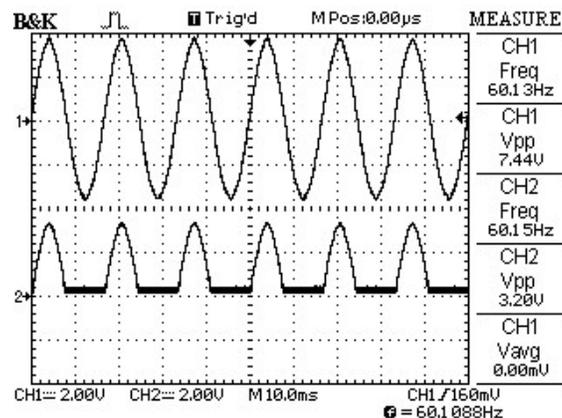


Figure 17.3 – Redressement d'un signal alternatif.

La figure 17.3 est une capture d'écran d'un oscilloscope montrant le signal alternatif entrant et le signal redressé sortant.

Il est possible, à l'aide de quatre diodes, de créer un *pont redresseur*. Cela permet de « récupérer » la partie négative du signal.

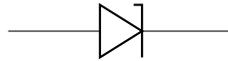
Cela sera vu plus en détail dans la section des blocs d'alimentation.

17.3 Les diodes Zener

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

Leurs caractéristiques principales sont :

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



Symbole d'une diode Zener.

Régulateur de tension

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

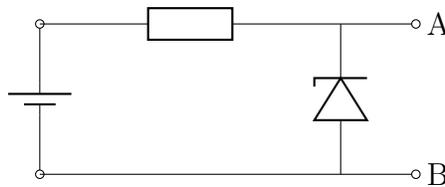


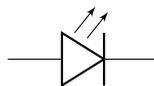
Figure 17.4 – Circuit régulateur de tension.

17.4 Les diodes électroluminescentes

En polarisation directe, une [diode électroluminescente \(DEL\)](#) s'illumine.

Elles possèdent les caractéristiques importantes suivantes :

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



Symbole d'une DEL.

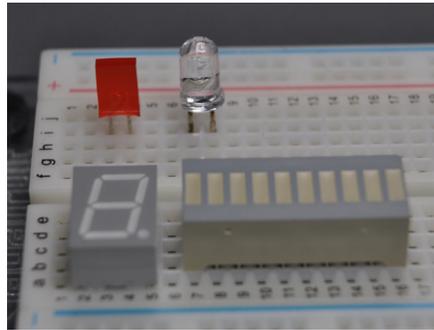


Figure 17.5 – DEL diverses.

Les broches peuvent être identifiées de manières suivantes :

- 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 allant du visible à l'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.

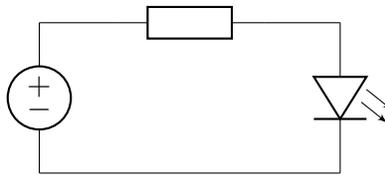


Figure 17.6 – DEL dans un circuit.

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

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

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

Où :

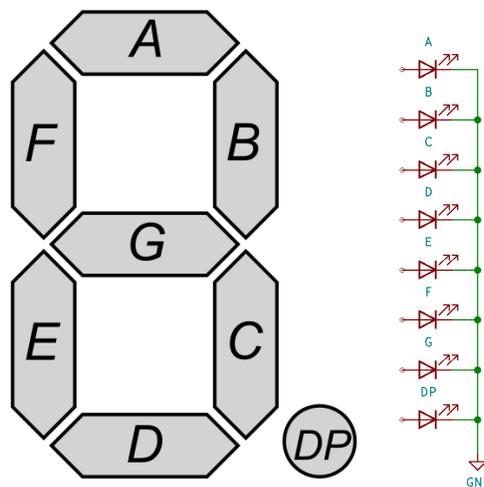
- U_s : La tension de la source d'alimentation ;

- U_f : La tension *forward* de la DEL ;
- I_f : Le courant *forward* de la DEL.

Afficheur sept segments

Un afficheur sept segments (*seven-segment display*) est une série de DEL dans un même boîtier. Ils servent à représenter principalement les nombres de 0 à 9. Souvent une DEL supplémentaire est aussi comprise et sert de « point décimal » dans le coin inférieur droit.

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



Disposition standard 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.

17.5 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

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

⁴[https://media.digikey.com/pdf/Data Sheets/Everlight PDFs/HLMP-D,K.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Everlight%20PDFs/HLMP-D,K.pdf)

Réponses

1. $R = \frac{5 - 1,6}{0,001} = 3400 \Rightarrow 3,2 \text{ k}\Omega$

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

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

1. anode et cathode

2. en polarisation directe

3. F,B,G,E,C

4. F,E,D

17.6 Laboratoire

Composants requis :

- 1 x résistance $470\ \Omega$
- 1 x DEL

Schéma

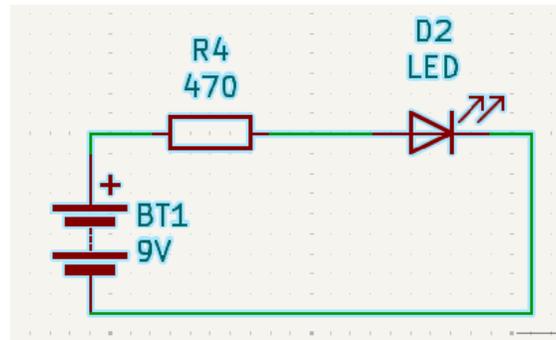


Figure 17.7 – Simple circuit à DEL

18 Les transistors

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

18.1 Transistors bipolaires

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



Symboles de transistor (Q) NPN et PNP.

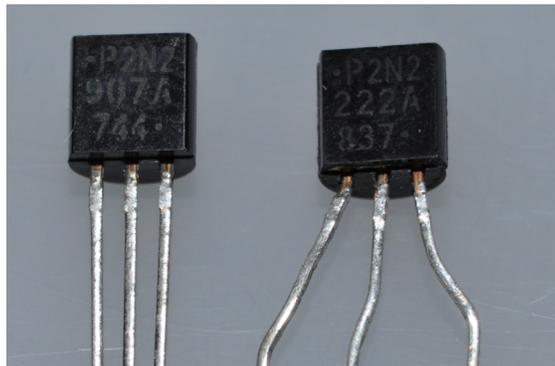


Figure 18.2 – Transistors.

Fonctionnement

Un transistor bipolaire est muni de 3 électrodes :

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

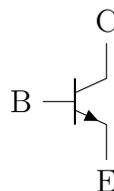


Figure 18.3 – Électrodes d'un transistor bipolaire.

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

Modes communs

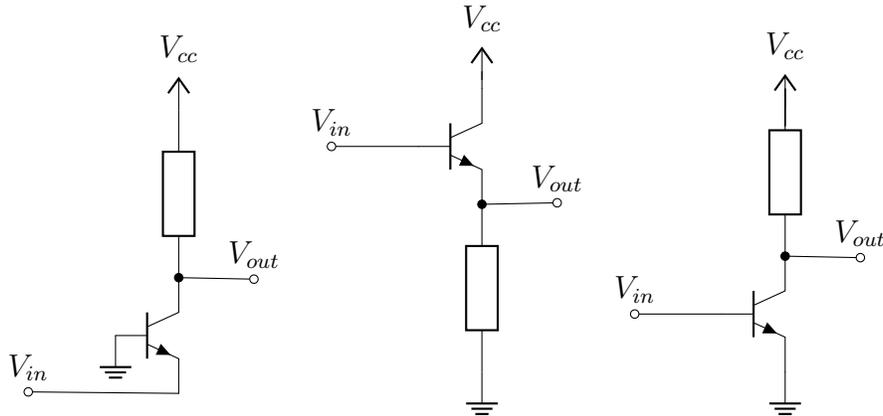


Figure 18.4 – Mode commun transistor PNP : base, collecteur, émetteur.

Amplification

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

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

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

Où :

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

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

Interrupteur

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

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

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

Où :

- I_B : Le courant a la base ;
- I_C : le courant au collecteur ;
- Le bêta du transistor.

Calcul de la résistance la base :

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

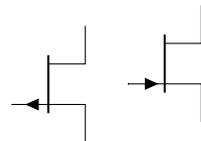
Où :

- R_B : la résistance à la base ;
- V_{in} : la tension à la base ;
- V_{BE} : la tension entre la base et l'émetteur, habituellement 0,7 V ;
- I_B : le courant à la base.

18.2 Transistors à effet de champ

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

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



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

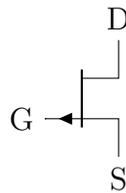
Ils sont aussi appelés *FET* (Field effect transistors).

Ce type de transistor est aussi appelé transistor unipolaire.

Fonctionnement

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

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



Comme la porte ne conduit pas de courant, ce type de transistor possède une haute impédance.

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

Utilisation

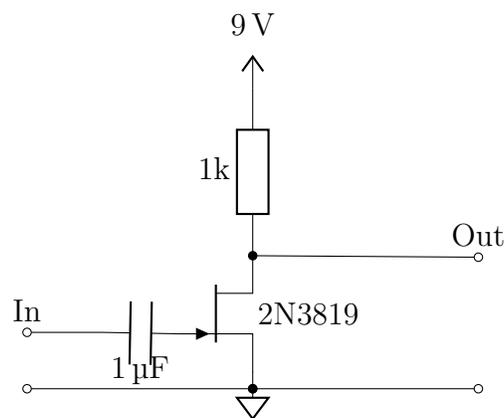


Figure 18.5 – Amplificateur FET non inversé.

18.3 Formats

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

TO-18

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

TO-92

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

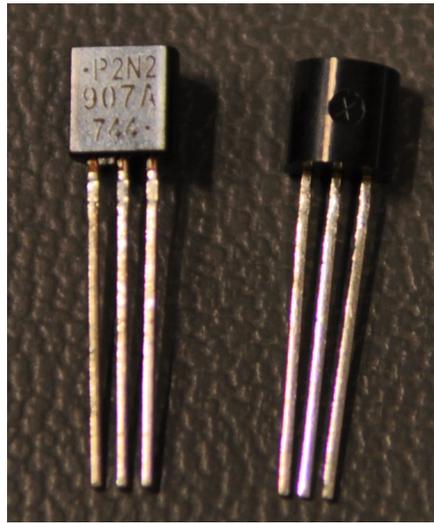


Figure 18.6 – TO-92 (avant et arrière).

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).

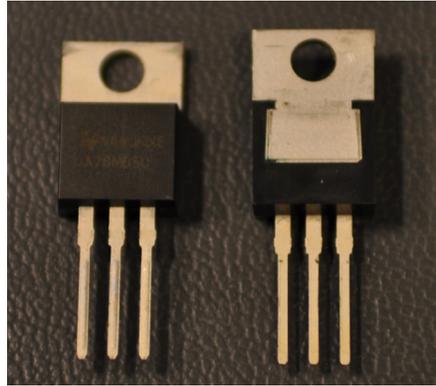


Figure 18.7 – TO-220 (avant et arrière).

18.4 Exercices

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

Réponses

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

18.5 Laboratoire

Construisons une veilleuse à transistor.

Composants requis :

- 1 x résistance 470 Ω
- 1 x résistance 22 k Ω
- 1 x photorésistance
- 1 x DEL
- 1 x transistor NPN (2N2222)

Schéma

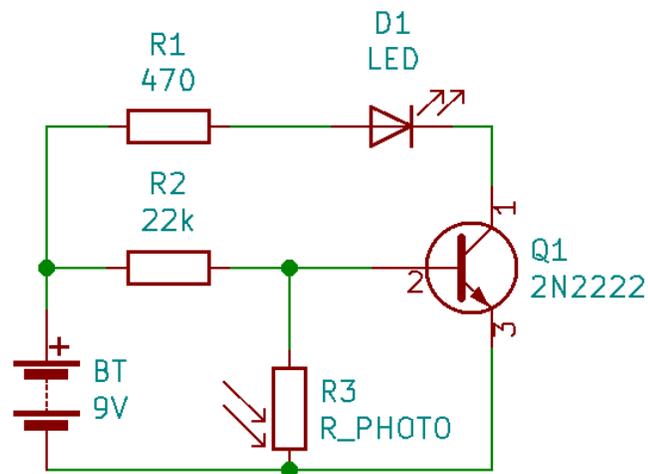


Figure 18.8 – Veilleuse électronique

19 Le décibel

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

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

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

Tableau 19.1 – Rapports des puissances et décibels

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

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).

19.1 Exercices

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

1. 3dB

20 Les circuits intégrés

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

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

Ils sont utilisés entre autres, comme :

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

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

20.1 Format DIP

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

Principales caractéristiques :

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

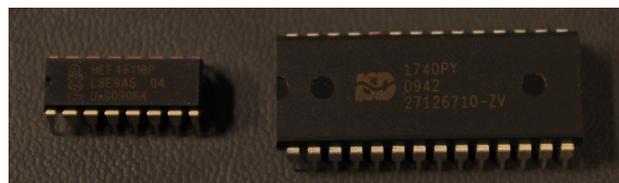


Figure 20.1 – DIP mince et large.

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

20.2 Photocoupleurs

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

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

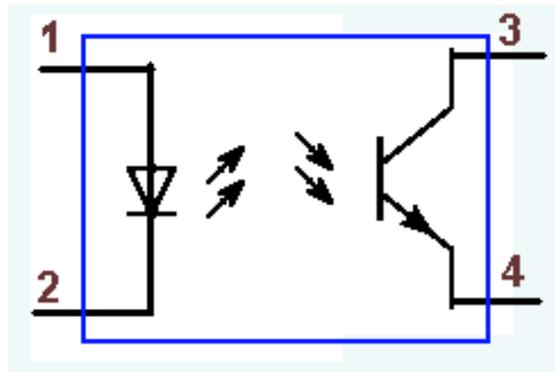


Figure 20.2 – Photocoupleur

21 Les régulateurs de tension

Tout comme les diodes Zener, les régulateurs de tensions permettent d'obtenir une tension stable mais de façon plus précise et avec moins de perte de courant.

21.1 Le régulateur 78xx

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

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

- Input : Tension d'entrée
- Common : Tension commune
- Output : Tension de sortie

La tension de sortie est indiquée par les nombres *xx*.

Caractéristiques

- 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.

21.2 Le régulateur LM317

Régulateur de tension linéaire ajustable introduit par *National Semiconductor* (Texas Instruments)⁵.

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

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

Caractéristiques

Les trois broches ont les significations suivantes :

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

22 Minuterie 555

explications

Dans le contexte présent, une minuterie (*timer*) est un système de temporisation.

Il ne contient pas d'heure ou de date mais permet plutôt de garder un rythme.

Le *NE555* fut introduit en 1972 par *Signetics* (NXP)⁶.

⁵<https://www.ti.com/lit/gpn/lm317>

⁶<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/ICM7555.pdf>

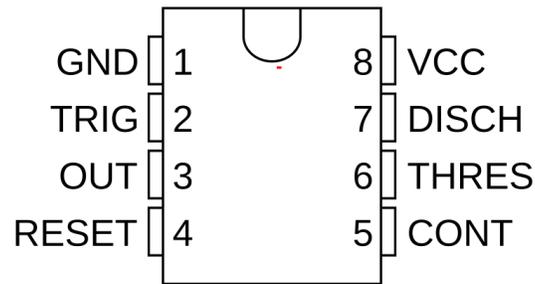


Figure 22.1 – 555 en format DIP

Des modèles doubles (556) et même quadruples (558) existent.

Différents fabricants utilisent d'autres noms comme *LM555*.

22.1 Caractéristiques

Liste des broches pour le format [DIP](#) :

#	Nom	Description
1	GND	Masse
2	TRIG	Gâchette, amorce la temporisation ($\leq \frac{1}{3} VCC$)
3	OUT	Signal de sortie
4	RESET	Remise à zéro, interruption de la temporisation
5	CONT	Accès à la référence interne ($\frac{2}{3} VCC$)
6	THRES	Déclenche la fin de la temporisation, ($> \frac{2}{3} VCC$)
7	DISCH	Borne du condensateur de temporisation
8	VCC	Tension d'alimentation, généralement de 5 V à 15 V

Tableau 22.1 – 555.

Le [CI 555](#) peut être utilisé dans trois différents modes.

22.2 Mode monostable

En mode *monostable* (*one-shot*), la sortie change d'état temporairement.

A développer

22.3 Mode bistable

En mode *bistable* (*latch*), la sortie change d'état et maintient cet état.

22.4 Mode astable

En mode *astable*, la sortie change d'état continuellement.

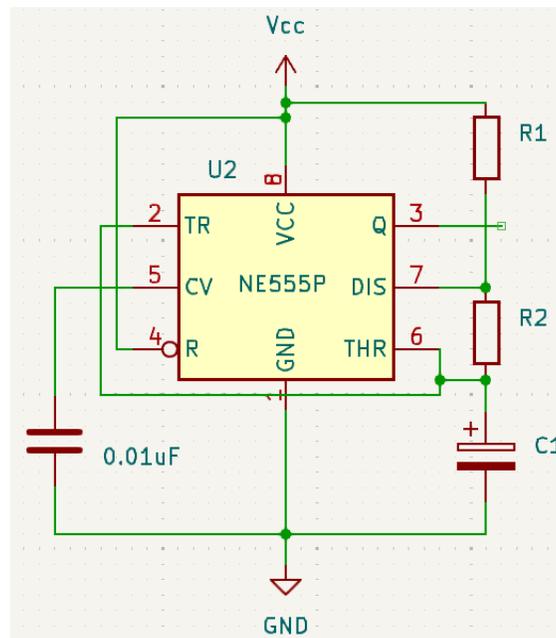


Figure 22.2 – 555 en mode astable.

La fréquence et le facteur d'utilisation (*duty cycle*) sont calculés avec les formules 22.1 et 22.2.

$$F = \frac{1.44}{(R_1 + 2 \times R_2) \times C_1} \quad (22.1)$$

$$D = \frac{R_2}{R_1 + 2 \times R_2} \quad (22.2)$$

Fonctionnement

En mode *astable*, la sortie change d'état continuellement.

Étapes :

1. Le courant de l'alimentation circule à travers les résistances R_1 et R_2 , chargeant le condensateur C_1 .

2. Quand la tension dans le condensateur atteint $\frac{2}{3}$ de V_{CC} , le 555 le détecte via la broche *THRES* et connecte à l'interne la broche *DISCH* à la masse.
3. Le condensateur C_1 se décharge à travers la résistance R_2 mais quand la tension restante atteint $\frac{1}{3}$ de V_{CC} , la broche *TRIG* le détecte et débranche à l'interne la broche *DISCH* de la masse.
4. Le condensateur C_1 se recharge et un nouveau cycle commence.

22.5 Laboratoire

Nous allons construire un oscillateur qui permettra de générer des sons à différentes fréquences.

Composants requis :

- 1 x résistance $10\ \Omega$
- 1 x résistance $1\ \text{k}\Omega$
- 1 x potentiomètre $1\ \text{M}\Omega$
- 1 x condensateur $0,01\ \mu\text{F}$
- 1 x condensateur $4,7\ \mu\text{F}$
- 1 x haut-parleur
- 1 x 555

Schéma

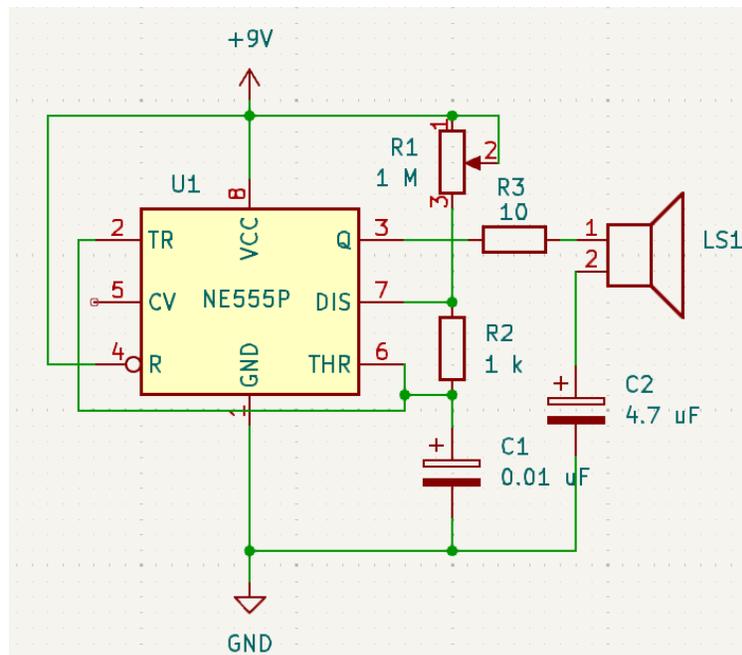
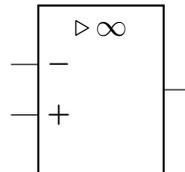


Figure 22.3 – Oscillateur

23 Les amplificateurs opérationnels

section a elle seule

Un amplificateur opérationnel (*op-amp*) est un amplificateur *différentiel* à grand gain. Il est composé de plusieurs transistors, la plupart du temps réunis dans un circuit intégré.



Symbole d'un amplificateur opérationnel.

Le symbole triangulaire [ANSI/IEEE](#) est souvent aussi utilisé.

23.1 LM386

devrait être une section

Le *LM-386* est un amplificateur audio basse tension introduit dans les années 1970 par *National Semiconductor* (Texas Instruments)⁷.

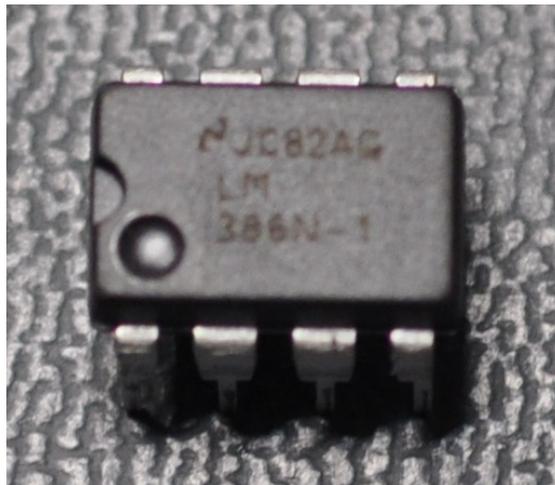


Figure 23.1 – LM-386 en format DIP.

Il est souvent utilisé dans les préamplificateurs de guitare et dans les radio *QRP* (radioamateur).

⁷<https://www.ti.com/lit/gpn/lm386>

Caractéristiques

Liste des broches pour le format **DIP** :

Nom	#	Type	Description
Gain	1	-	
-INPUT	2	I	Entrée inversée
+INPUT	3	I	Entrée non inversée
GND	4	P	Masse
V_{OUT}	5	O	Sortie
V_S	6	P	Tension d'alimentation
BYPASS	7	O	
GAIN	8	-	

Tableau 23.1 – LM-386 : (I)nput, (O)output, (P)ower.

Le gain par défaut est de 20 mais peut être augmenté jusqu'à 200 par l'utilisation de résistance et condensateur externes.

La tension d'entrée du signal devrait varier de $-0,4\text{ V}$ à $0,4\text{ V}$ (plage « consumer audio ») .

Selon le modèle, la tension d'alimentation *recommandée* est de 4 V à 18 V .

23.2 Laboratoire

Nous allons construire un petit amplificateur, dans sa version de base.

Composants requis :

- 1 x résistance $10\ \Omega$
- 1 x potentiomètre $10\ \text{k}\Omega$
- 1 x condensateur $0,05\ \mu\text{F}$
- 1 x condensateur $250\ \mu\text{F}$
- 1 x haut-parleur
- 1 x LM386

Le potentiomètre *RV1* sert à limiter le niveau sonore en entrée. Le condensateur *C1* bloque tout signal **CC** qui pourrait être présent.

Schéma

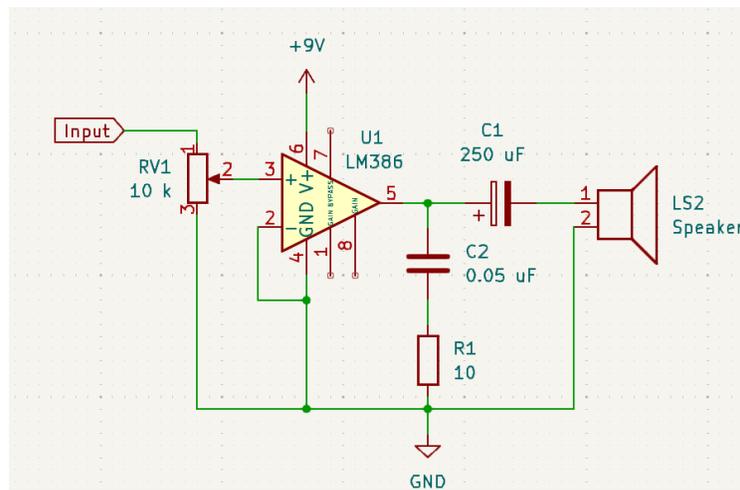


Figure 23.2 – LM386 gain de 20

24 Les blocs d'alimentation

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

Ils doivent souvent fournir un courant important.

24.1 Fonctionnement

Les sections suivantes sont habituellement présentes :

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

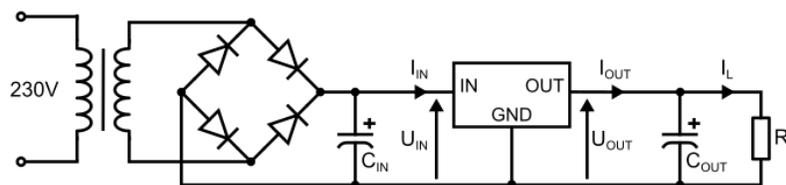


Figure 24.1 – Circuit interne d'un bloc d'alimentation.

24.2 Usages

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

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

25 Les circuits logiques

section seule ailleurs

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

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

Ces **CI** seront utilisés dans un futur atelier dédié aux circuits numériques.

74xx

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

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

4000

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

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

26 Le multimètre

Déplacer après les notions d'électronique

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

Un multimètre comprends au minimum les fonctions suivantes :

- Ampèremètre ;
- Voltmètre ;
- Ohmmètre.



Figure 26.1 – Différents multimètres (analogique et numérique).

Certains multimètre possèdent d'autres fonctions comme :

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

26.1 Types

Il existe deux grands types de multimètre :

- Analogique : 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.

26.2 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 26.2 – 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 26.3 – 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 26.4 – Bornes d'un multimètre.

Au minimums deux bornes sont présentes :

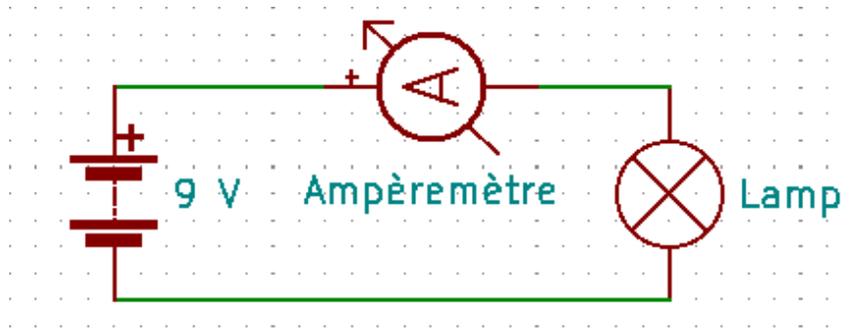
- *COM* : La borne commune
- Une borne pour les différentes fonctions.

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

26.3 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.

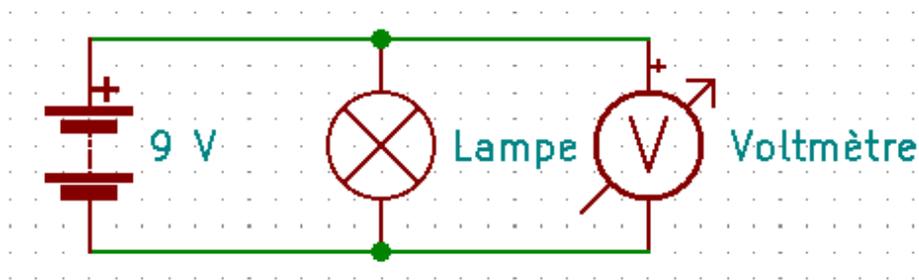
1. Brancher le fil d'essai noir dans le connecteur « commun »
2. Brancher le fil d'essai rouge sur la borne de la fonction « A » de la bonne plage de valeur
3. Sélectionner la plage de lecture adéquate pour la fonction « A »
4. Insérer les sondes en **série** dans le circuit, tout en respectant la polarité



26.4 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

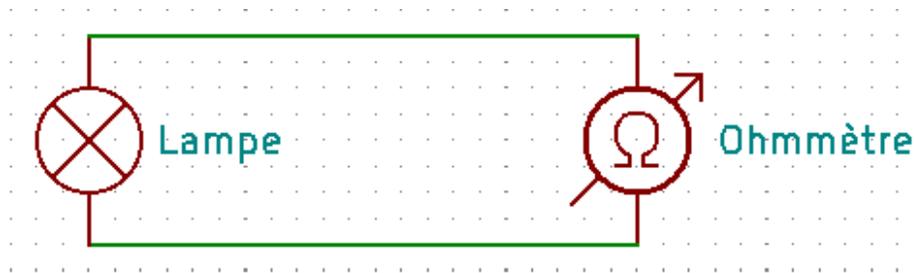


Dans un circuit **CA** avec un signal sinusoïdal, la valeur lue sera la valeur efficace (RMS).

26.5 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



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>

Liste des points à traiter

version 2025	1
$\frac{1}{2}$ Watt	1
LED plus grosses et plus grand nombre	1
Utilisation de jumpers	35
explications des 3 broches	54
explications	114
A développer	115
A développer	115
section a elle seule	119
devrait être une section	119
section seule ailleurs	122
Déplacer après les notions d'électronique	124

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

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

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

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

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

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

Condensateurs

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

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

Inducteurs

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

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

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	Tension		Courant	
	Charge	Décharge	Charge	Décharge
1	63,2%	36,8%	36,8%	63,2%
2	86,5%	13,5%	13,5%	86,5%
5	99,3%	0,7%	0,7%	99,3%

Diodes

Anode (+), Cathode(-)

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

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

Transistors

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

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

Page laissée intentionnellement vide.