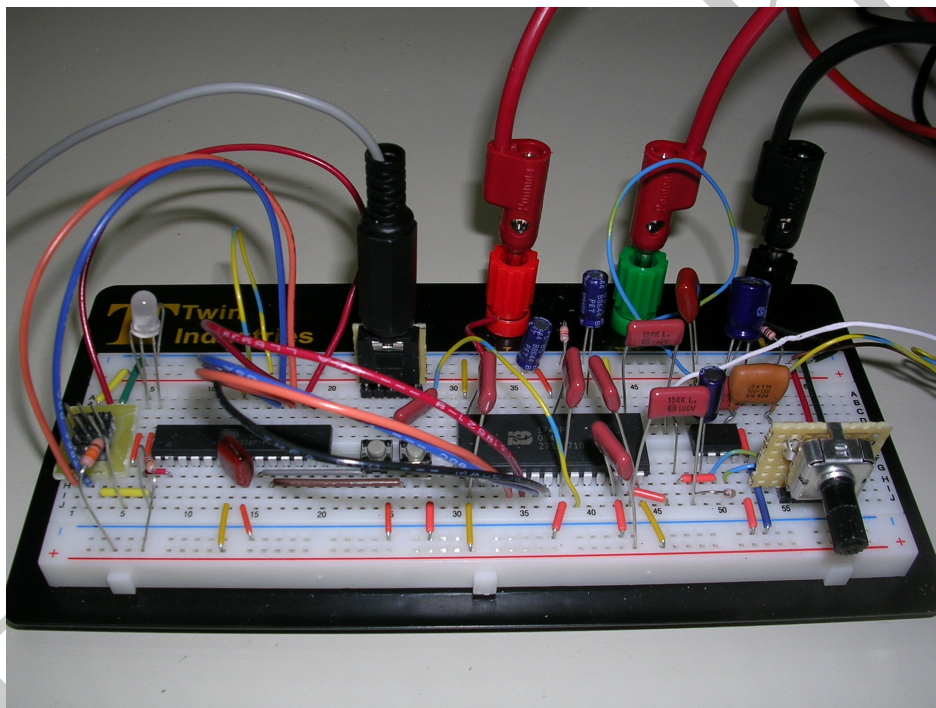


Initiation à l'électronique

Patrice Nadeau

Version : 0.00.05



Page laissée intentionnellement vide.

Érudition



Patrice Nadeau, 2021 - 2026

© 2021 - 2026 **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	13
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	Courant continu et alternatif	21
4.1	Courant continu	21
4.2	Courant alternatif	21
4.3	Exercices	23
5	Les fils et supports électriques	25
5.1	Les fils électriques	25
5.2	Câbles de liaison	26
5.3	Platines d'expérimentation	27
5.4	Circuits imprimés	30
5.5	Exercices	31
5.6	Laboratoire	33
6	Les piles et batteries	34
6.1	Les piles primaires	34

6.2	Les piles secondaires	36
6.3	Branchements	39
6.4	Exercices	40
7	Le multimètre	42
7.1	Types	42
7.2	Éléments	43
7.3	Ampèremètre	44
7.4	Voltmètre	45
7.5	Ohmmètre	46
8	Les coupe-circuits	49
8.1	Les fusibles	49
8.2	Les disjoncteurs	50
8.3	Fusibles réarmables	51
8.4	Exercices	53
9	Les interrupteurs	55
9.1	Boutons poussoirs	55
9.2	Directionnels	55
9.3	Exercices	56
10	Les résistances	58
10.1	Types de résistances	58
10.2	Marquage alphanumérique	60
10.3	Marquage de couleurs	61
10.4	Applications	62
10.5	Réseaux et résistance équivalente	64
10.6	Exercices	66
11	Les condensateurs	68
11.1	Fabrication	68
11.2	Fonctionnement	68
11.3	Types de condensateurs	69
11.4	Applications	71
11.5	Réseaux et capacitance équivalente	72
11.6	Exercices	73
12	Les bobines	75
12.1	Fabrication	75
12.2	Fonctionnement	75
12.3	Types	76
12.4	Applications	77

12.5 Réseaux et inductance équivalente	78
12.6 Exercices	80
13 Réactance et impédance	82
13.1 Réactance	82
13.2 Impédance	83
13.3 Résonance	83
13.4 Circuits	83
13.5 Exercices	86
14 Les transformateurs	88
14.1 Aimants permanent	88
14.2 Champ magnétique	88
14.3 Induction	88
14.4 Fabrication	88
14.5 Fonctionnement	89
14.6 Applications	89
14.7 Exercices	91
15 Les haut-parleurs	93
15.1 Fabrication	93
15.2 Fonctionnement	94
15.3 Les microphones	94
16 Les quartz	94
16.1 Applications	95
17 Les semi-conducteurs	96
17.1 Types	96
18 Les diodes	97
18.1 Fonctionnement	97
18.2 Diodes à usage général	97
18.3 Les diodes Zener	99
18.4 Les diodes électroluminescentes	99
18.5 Exercices	102
18.6 Laboratoire	104
19 Les transistors	105
19.1 Transistors bipolaires	105
19.2 Transistors à effet de champ	107
19.3 Formats	108
19.4 Exercices	111
19.5 Laboratoire	113

20 Le décibel	114
20.1 Exercices	115
21 Les circuits intégrés	117
21.1 Format DIP	117
21.2 Photocoupleurs	118
22 Les régulateurs de tension	118
22.1 Le régulateur 78xx	118
22.2 Le régulateur LM317	119
23 Minuterie 555	119
23.1 Caractéristiques	120
23.2 Mode monostable	120
23.3 Mode bistable	120
23.4 Mode astable	121
23.5 Laboratoire	123
24 Les amplificateurs opérationnels	124
24.1 LM386	124
24.2 Laboratoire	125
25 Les blocs d'alimentation	127
25.1 Fonctionnement	127
25.2 Usages	127
26 Les circuits logiques	127
A Bibliographie	129
B Aide-mémoire	1

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
5.1	Différents calibres AWG.	26
10.1	Code RMK (partiel) pour résistance	61
10.2	Code de couleur (partiel) IEC 60062	62
20.1	Rapports des puissances et décibels	114
23.1	555.	120
24.1	LM-386 : (I)nput, (O)output, (P)ower.	125

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
4.1	Signal sinusoïdale avec tensions de crête et RMS.	21
5.1	Différents fils électriques.	25
5.2	Symboles de fils se croisant, sans contact et avec contact.	25
5.3	Câbles de liaison avec pinces crocodiles.	27
5.4	Câbles de liaison avec fiches bananes 4 mm.	27
5.5	Platines d'expérimentation «full» avec 2 «bus».	27
5.6	Contacts électriques internes d'une platine d'expérimentation.	28
5.7	Cavaliers préfabriqués.	29
5.8	Adaptateurs divers pour platine (potentiomètre, prise audio).	29
5.9	Circuit imprimé fait maison.	30
6.1	Différents formats de piles et batteries alcalines.	35
6.2	Différents formats de piles boutons lithium.	36
6.3	Batterie automobile au plomb de 12 V.	37
6.4	Piles Ni-MH (AAA et AA) avec adaptateurs (C et D).	37
6.5	Pile lithium-Ion.	38
6.6	Batterie $LiFePO_4$	38
6.7	Piles branchées en série.	39
6.8	Piles branchées en parallèle.	39
7.1	Différents multimètres (analogue et numérique).	42
7.2	Sélecteur de fonctions d'un multimètre.	43
7.3	Sondes d'un multimètre.	44
7.4	Bornes d'un multimètre.	44
8.1	Différents fusibles cylindriques.	50
8.2	Différents fusibles à lames.	50
8.3	Disjoncteur.	51
8.4	Fusibles réarmables CTP.	51
9.1	Différents types d'interrupteurs.	55
10.1	Résistances diverses.	58
10.2	Résistances à valeurs fixes.	59
10.3	Potentiomètres divers.	59
10.4	Photorésistance.	60
10.5	Limiteur de courant.	63
10.6	Diviseur de tension.	63
10.7	Résistances de rappel (niveau bas et niveau haut).	64
11.1	Tension d'un condensateur en charge et décharge.	69
11.2	Condensateur en céramique.	70

11.3	Condensateurs à film.	70
11.4	Condensateurs électrolytiques tantalum et aluminium.	71
11.5	Condensateurs de découplage dans un circuit d'alimentation.	71
12.1	Courant d'une condensateur en charge et décharge	76
12.2	Bobine à air.	76
12.3	Bobines à ferrite (fixe, variables).	77
12.4	Bobine toroïdal.	77
12.5	Ferrite autour d'un fil.	78
13.1	Circuits RL : série et parallèle.	84
13.2	Circuits RC : série et parallèle.	84
13.3	Circuits LC : série et parallèle.	84
13.4	Circuits RLC, série et parallèle.	85
14.1	Symbole schématique d'un transformateur (T).	88
14.2	Balun.	90
14.3	Transformateur d'alimentation.	90
15.1	Haut-parleur	93
15.2	Intérieur d'un haut-parleur	94
16.1	Quartz.	95
18.1	Diodes à usage général	97
18.2	Circuit redresseur.	98
18.3	Redressement d'un signal alternatif.	98
18.4	Circuit régulateur de tension.	99
18.5	DEL diverses.	100
18.6	DEL dans un circuit.	100
18.7	Simple circuit à DEL	104
19.2	Transistors.	105
19.3	Électrodes d'un transistor bipolaire.	105
19.4	Mode commun transistor PNP : base, collecteur, émetteur.	106
19.5	Amplificateur FET non inversé.	108
19.6	TO-92 (avant et arrière).	109
19.7	TO-220 (avant et arrière).	110
19.8	Veilleuse électronique	113
21.1	DIP mince et large.	117
21.2	Photocoupleur	118
23.1	555 en format DIP	120
23.2	555 en mode astable.	121
23.3	Oscillateur	123
24.1	LM-386 en format DIP.	124
24.2	LM386 gain de 20	126
25.1	Circuit interne d'un bloc d'alimentation.	127

Glossary

ACL affichage à cristaux liquides. [42](#)

ANSI American National Standards Institute. [5](#), [124](#)

AWG American Wire Gauge. [26](#), [31](#), [32](#)

BIPM Bureau international des poids et mesures. [4](#), [6](#)

BMS Battery Management System. [36](#)

CA courant alternatif. [21](#), [22](#), [23](#), [45](#), [88](#), [89](#), [127](#)

CC courant continu. [21](#), [26](#), [34](#), [71](#), [89](#), [90](#), [118](#), [125](#), [127](#)

CEI Commission électrotechnique internationale. [4](#)

CI circuit intégré. [117](#), [118](#), [120](#), [127](#), [128](#)

CTP coefficient en température positif. [51](#)

DEL diode électroluminescente. [99](#), [100](#), [101](#), [102](#), [104](#), [113](#), [118](#)

DES décharge électrostatique. [17](#)

DIP dual in-line package. [117](#), [120](#), [125](#), [127](#)

DPDT double position double throw. [55](#)

DPST double position single throw. [55](#)

IC integrated circuit. [117](#)

IEC International Electrotechnical Commission. [5](#), [26](#), [34](#), [60](#), [61](#), [129](#)

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers. [5](#), [124](#)

ISO International Organization for Standardization. [5](#), [6](#)

LiFePO₄ lithium-fer-phosphate. [38](#)

Li-ion lithium-ion. [38](#)

MALT mise à la terre. [26](#)

NC normally close. [55](#)

Ni-MH nickel-métal-hydrure. [37](#), [40](#)

NO normally open. [55](#)

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

PPTC polymeric positive temperature coefficient device. [51](#)

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

SPDT single position double throw. [55](#)

SPST single position single throw. [55](#)

TCR temperature coefficient of resistance. [62](#)

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

autre sections a la fin du fichier

espacement des listes

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 : **15 juillet 2025** ;
- Compétence supérieure : **17 décembre 2019**.

Chaque section comprend des explications théoriques, des exercices et des laboratoires.

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 mais d'autres fournisseurs existent.

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-MULTIMETER-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
Δ		delta
	λ	lambda
	ν	nu
	τ	tau
	ϵ	epsilon
	μ	mu (mi)
	ν	nu
	π	pi
Σ		sigma
Ω		oméga

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 et unités

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'écrit 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.

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

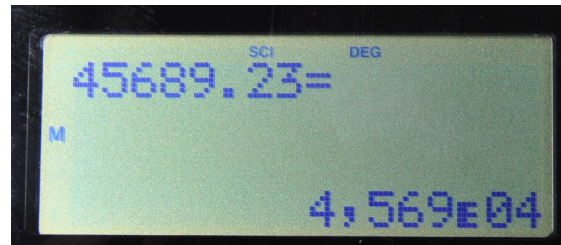


Figure 2.1 – Affichage en mode scientifique.

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.

Différents exemples :

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

Cela permet de changer de préfixe SI facilement.

exemples

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).

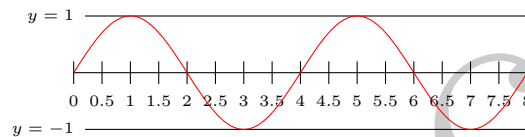


Figure 2.3 – Signal sinusoïdale de 4 secondes (0,25 Hz).

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

Érudition

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*.

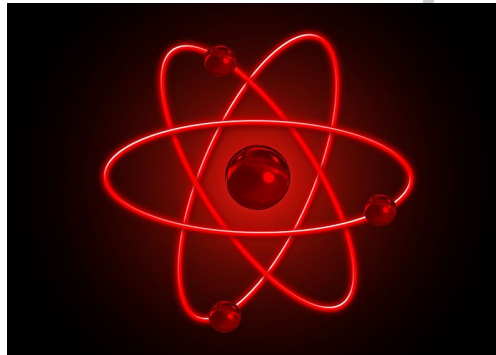


Figure 3.1 – Modèle atomique simplifié.

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.

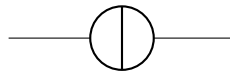
Électrons

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 schématique 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 schématique d'une source de tension.

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

- Un potentiel électrique (V) ;
- Un champ électrique (E).

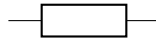
Dans une analogie hydraulique, on peut comparer la tension au dénivelé d'un cours d'eau.

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 schématique d'une résistance.

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

Le terme *charge* (*load*) est parfois aussi utilisé pour désigner la résistance totale d'un circuit.

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

Conducteurs

Un conducteur électrique est un matériau qui laisse passer facilement le courant car il a une très faible résistance électrique.

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 externes, comme la température.

Isolants

Quant à lui, un isolant est un matériau qui laisse difficilement passer le courant car il a une très grande résistance électrique.

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 produira, traversant l'isolant et pouvant même le détruire. La foudre en est un exemple.

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).

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

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 matériaux semi-conducteurs 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.

La puissance est utilisée pour indicateur de la consommation d'énergie électrique.

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*.

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 aucun doute un dysfonctionnement du circuit.

Schématisation des sources électriques

Dans une schémas, on remplace fréquemment le symbole de la source électrique par différents symboles de référence :

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



Symboles schématiques alimentation positive et négative, masse, terre.

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

Malheureusement, le terme « ground » est souvent utilisé pour désigner, sans vraiment faire de distinctions, le signal commun de retour, la masse et la terre.

3.9 Électricité statique

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

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*. Si elle est mortelle, on parle alors d'*électrocution*.

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.

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 10Ω laissant circuler un courant de 2 A ?
4. Un circuit peut-il fonctionner sans charge ?

Érudition

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 Courant continu et alternatif

Le courant peut se déplacer dans un conducteur de deux manières que nous allons voir (très) rapidement pour l'instant.

Même si l'on parle de courant, les termes s'appliquent aussi à la tension résultante.

Il est à noter que nous parlons ici du sens du déplacement et non de la valeur.

4.1 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 $\rightleftharpoons$ 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.

4.2 Courant alternatif

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

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

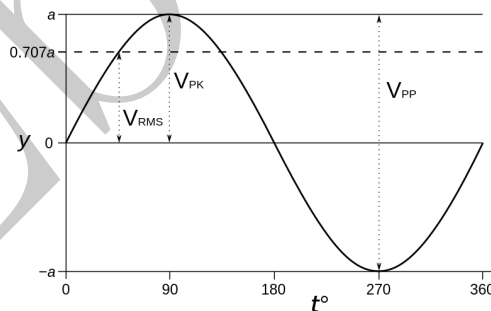


Figure 4.1 – Signal sinusoïdal avec tensions de crête et RMS.

Valeurs efficaces

Les valeurs efficaces équivalentes **CC** de tension et de courant sont calculées avec la *moyenne quadratique*, root mean square (RMS) en anglais.

Les formules 4.1 et 4.2 sont utilisées.

$$valeur_{RMS} = valeur_{PK} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (4.1)$$

$$valeur_{PK} = valeur_{RMS} \times \sqrt{2} \quad (4.2)$$

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.

Les valeurs nominales d'un appareil sont habituellement indiquées sur celui-ci.

4.3 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 CA ?

Électronique

Réponses

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

Érudition

5 Les fils et supports électriques

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

5.1 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 5.1 – Différents fils électriques.

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



Figure 5.2 – 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 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 5.1 – 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 parfois imprimées sur la gaine, 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 dans un circuit [CC](#) :

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

5.2 Câbles de liaison

Ce sont des fils ou câbles possédant des connecteurs déjà installés et servant à relier des circuits ou composants.

Pinces crocodiles

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

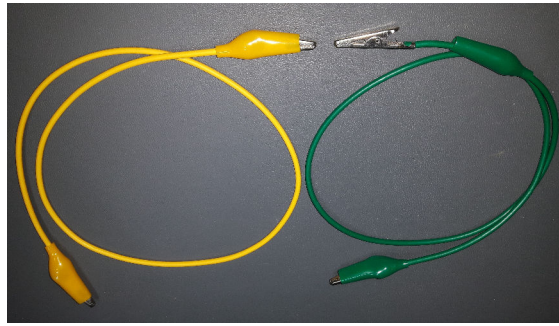


Figure 5.3 – Câbles de liaison avec pinces crocodiles.

Bananes

Souvent utilisés pour relier des instruments de mesure ou des sources d'alimentation électrique.



Figure 5.4 – Câbles de liaison avec fiches bananes 4 mm.

5.3 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.

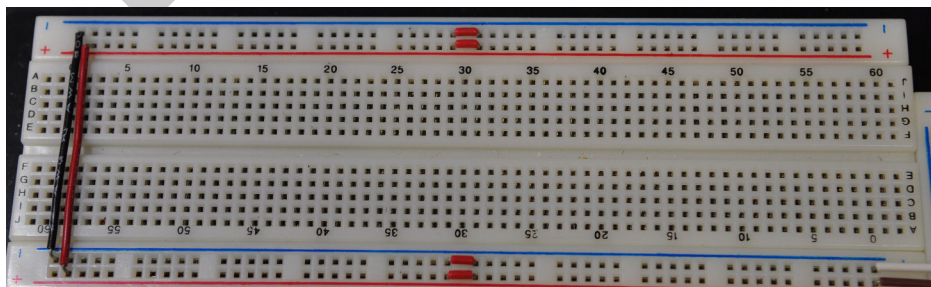


Figure 5.5 – Platines d'expérimentation « full » avec 2 « bus ».

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.

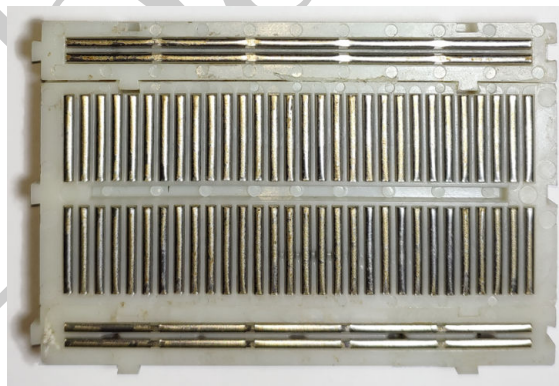


Figure 5.6 – Contacts électriques internes d'une platine d'expérimentation

Cavaliers

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

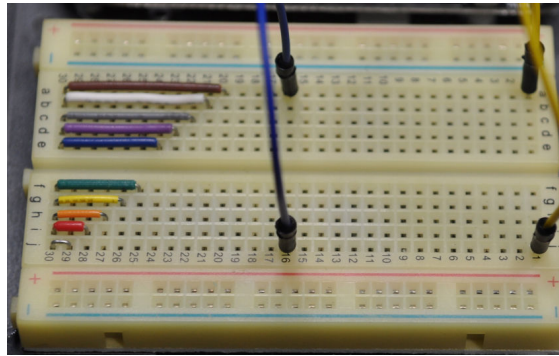


Figure 5.7 – Cavaliers préfabriqués.

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

S'il sont fait 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 conçus pour les composants à enficher (*through-hole*).

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

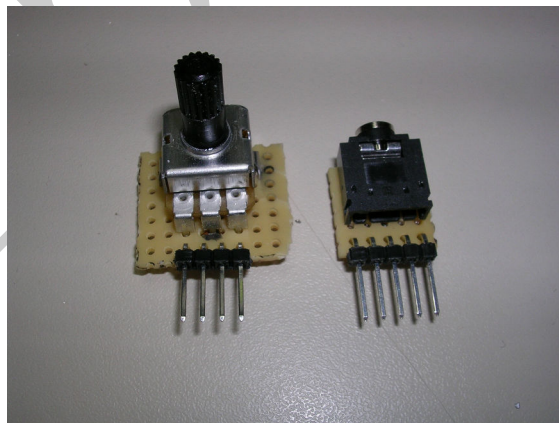


Figure 5.8 – Adaptateurs divers pour platine (potentiomètre, prise audio).

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

5.4 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.

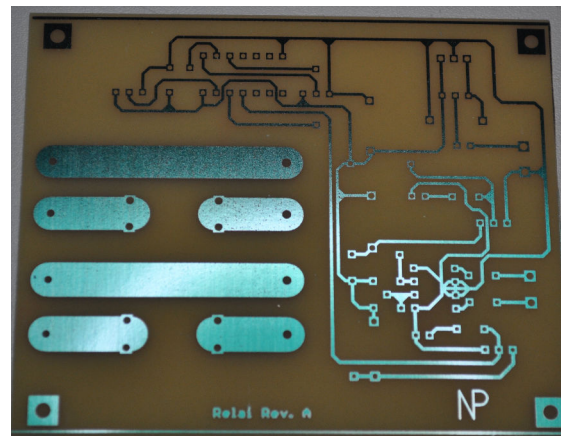


Figure 5.9 – Circuit imprimé fait maison.

Ils peuvent être fait à la main pour des prototypes mais pour de grande quantités et une production commerciale, ils sont fabriqués dans des ateliers spécialisés.

5.5 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 ?

Électronique

Réponses

1. [AWG 12](#)
2. Le fil toronné

Érudition

5.6 Laboratoire

Utilisation de jumpers

Électronique

6 Les 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 schématiques pile et batterie (positif à gauche).

Elles sont une source de *force électromotrice* ($\mathcal{E}$). Il faut noter que selon le IEC, ce terme est remplacé par *tension de source* (U_S)³.

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

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

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

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

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

6.1 Les piles primaires

Ce sont des piles à usage unique.

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

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

³<https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=131-12-22>

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.



Figure 6.1 – Différents formats de piles et batteries alcalines.

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*.

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.

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

Lithium

Ce sont des piles de formats cylindriques et boutons.

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



Figure 6.2 – Différents formats de piles boutons lithium.

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

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

6.2 Les piles secondaires

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

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

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

Plomb

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

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



Figure 6.3 – 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 6.4 – 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 6.5 – 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 6.6 – Batterie $LiFePO_4$.

Elle sont parfois nommées *LFP*.

6.3 Branchements

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

Série

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

- La tension s'additionne
- L'intensité et la capacité restent les mêmes

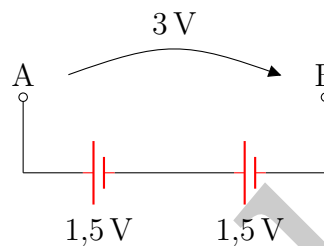


Figure 6.7 – Piles branchées en série.

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 ensembles et les bornes positive ensemble, ce qui donne les caractéristiques suivantes :

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

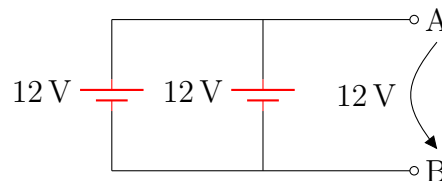


Figure 6.8 – Piles branchées en parallèle.

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

6.4 Exercices

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

Réponses

1. $\frac{12}{1,5} \Rightarrow 8$ piles en série
2. $\frac{12}{1,2} \Rightarrow 10$ piles en série
3. $8 \times 1,2 \Rightarrow 9,6 \text{ V}$

Érudition

7 Le multimètre

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

Un multimètre comprends au minimum les fonctions suivantes :

- Ampèremètre ;
- Voltmètre ;
- Ohmmètre.



Figure 7.1 – Différents multimètres (analogue et numérique).

Certains multimètre possèdent d'autres fonctions comme :

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

7.1 Types

Il existe deux grands types de multimètre :

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

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

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

Dans ce document, nous nous concentrerons sur les modèles numériques de base.

7.2 Éléments

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

Sélecteur et fonctions

Un sélecteur permet de choisir certaines fonctions et des plage de valeurs maximales.

Des boutons permettent d'accéder à des fonctions supplémentaires sur certains modèles.



Figure 7.2 – 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 7.3 – Sondes d'un multimètre.

Bornes

L'autre extrémité de la sonde est branchée au multimètre, de façon permanente ou via une fiche de type « banane » de 4 mm.



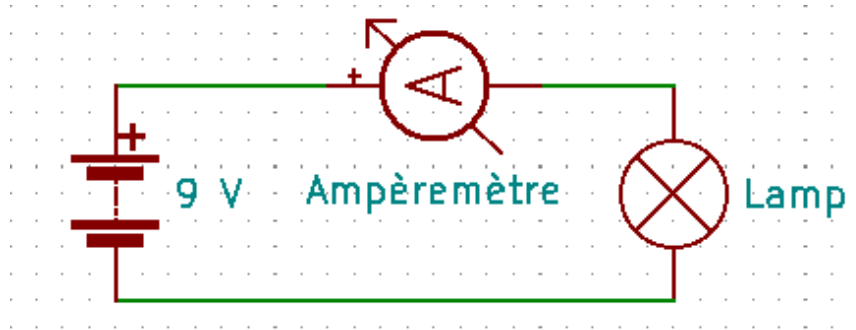
Figure 7.4 – Bornes d'un multimètre.

Au minimums deux bornes sont présentes :

- *COM* : La borne commune pour la sonde noire ;
- Au moins une borne pour la sonde rouge, selon différentes fonctions ou plage de valeur.

7.3 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.

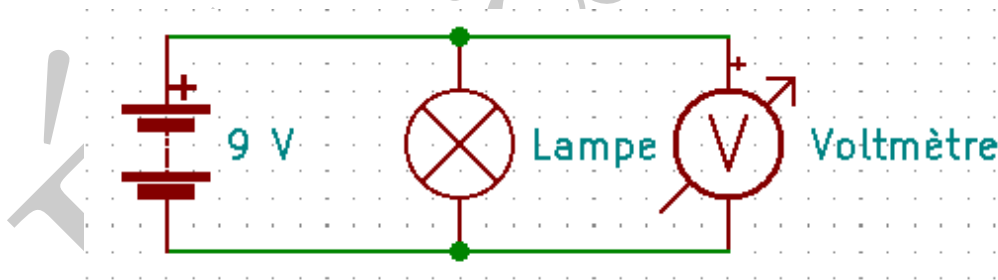


Utilisation

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

7.4 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.



Utilisation

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).

7.5 Ohmmètre

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



Utilisation

1. Isoler le composant à mesurer 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

Électronique

Électronique

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.

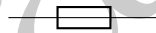
Ces dispositifs ont en commun d'avoir des limites maximales sur les valeurs suivantes :

- 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 fusibles

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



Symbole schématisé 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.

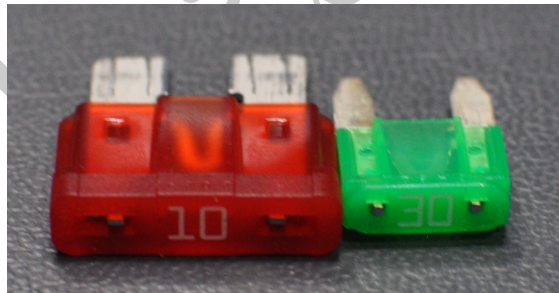


Figure 8.2 – Différents fusibles à lames.

On les appellent aussi *fusibles automobiles*.

8.2 Les disjoncteurs

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

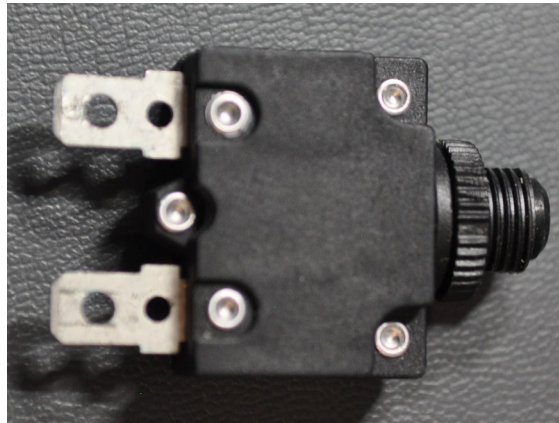


Figure 8.3 – Disjoncteur.

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.

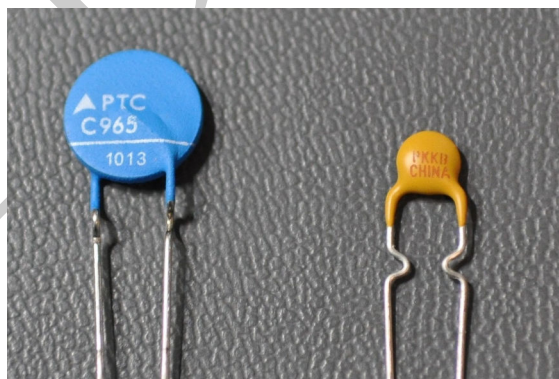


Figure 8.4 – Fusibles réarmables CTP.

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.

Électronique

8.4 Exercices

1. Doit on remplacer un disjoncteur après son déclenchement ?

Érudition

Réponses

1. Non, simplement le réenclencher

Érudition

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.

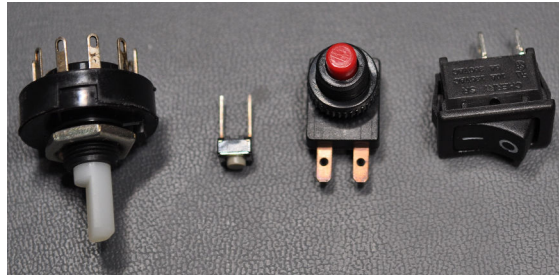


Figure 9.1 – Différents types d'interrupteurs.

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 schématiques d'interrupteurs (NO, NC).

9.2 Directionnels

Leurs positions peuvent être modifiées.

- Unipolaire unidirectionnel : [single position single throw \(SPST\)](#)
- Unipolaire bidirectionnel : [single position double throw \(SPDT\)](#)
- Bipolaire unidirectionnel : [double position single throw \(DPST\)](#)
- Bipolaire bidirectionnel : [double position double throw \(DPDT\)](#)



Symboles schématiques d'interrupteurs (SPST, DPST).

9.3 Exercices

Questions

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

Érudition

Réponses

1. Non

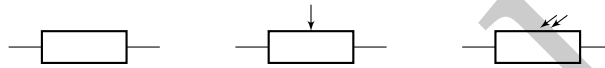
Érudition

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),



Symboles schématiques 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

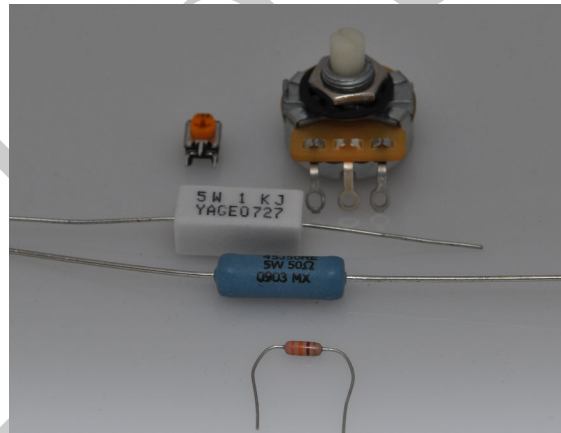


Figure 10.1 – Résistances diverses.

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.

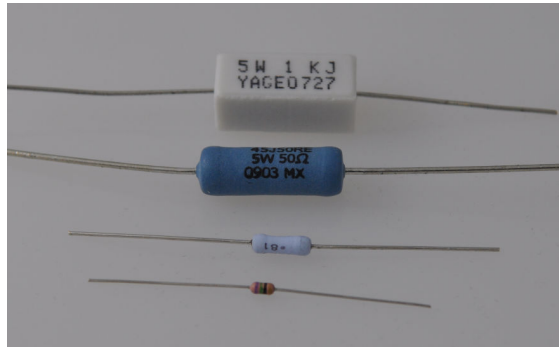


Figure 10.2 – Résistances à valeurs fixes.

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.

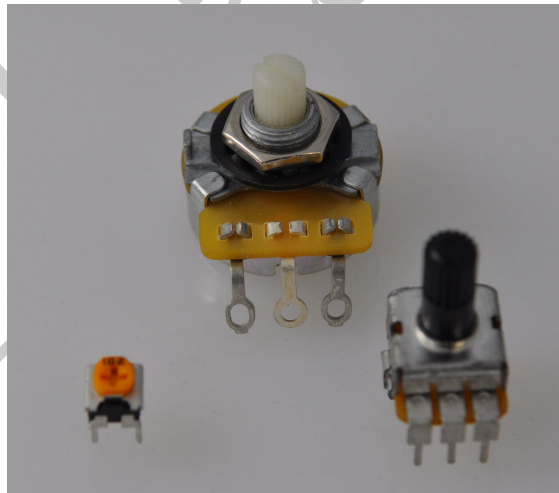


Figure 10.3 – Potentiomètres divers.

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.

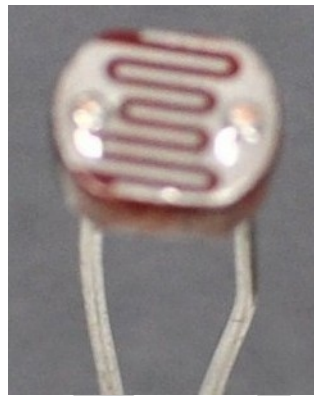


Figure 10.4 – Photorésistance.

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

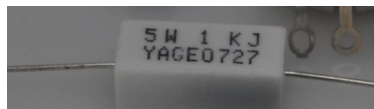
Lettre	Préfixe	Tolérance
L	milli	
R	-	
F	-	$\pm 1\%$
G	-	$\pm 2\%$
K	kilo	$\pm 10\%$
M	mega	$\pm 20\%$
G	giga	
T	tera	
J		$\pm 5\%$

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	-	-	$\pm 20\%$
Argent	-	10^{-2}	$\pm 10\%$
Or	-	10^{-1}	$\pm 5\%$
Noir	0	10^0	-
Brun	1	10^1	$\pm 1\%$
Rouge	2	10^2	$\pm 2\%$
Orange	3	10^3	$\pm 0,05\%$
Jaune	4	10^4	$\pm 0,02\%$
Vert	5	10^5	$\pm 0,5\%$
Bleu	6	10^6	$\pm 0,25\%$
Violet	7	10^7	$\pm 0,10\%$
Gris	8	10^8	$\pm 0,01\%$
Blanc	9	10^9	-

Lecture

Selon le nombre de bandes :

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



Résistance de 845 k Ω , $\pm 1\%$

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

10.4 Applications

Les principaux usages de résistances.

Limiteur de courant

Pour réduire le courant utilisé par un autre composant.

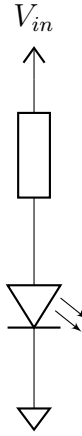


Figure 10.5 – Limiteur de courant.

Diviseur de tension

Pour avoir une tension relative à une autre.

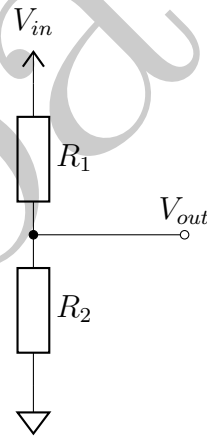


Figure 10.6 – Diviseur de tension.

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*.

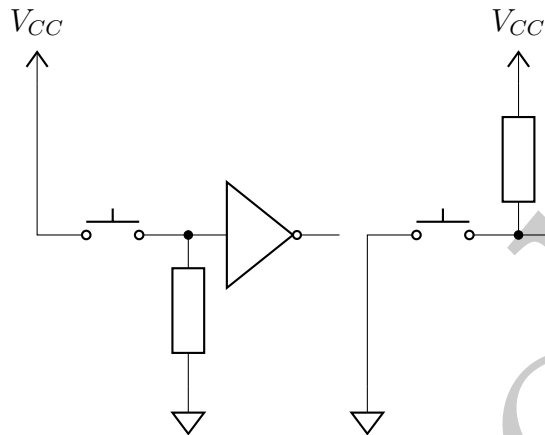


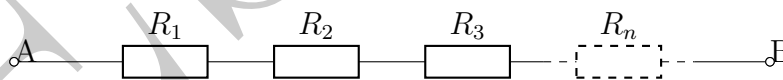
Figure 10.7 – Résistances de rappel (niveau bas et niveau haut).

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.



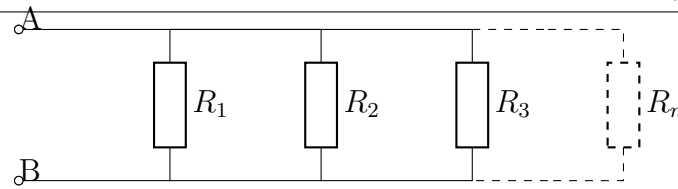
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \cdots R_n \quad (10.2)$$

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

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

Parallèle

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



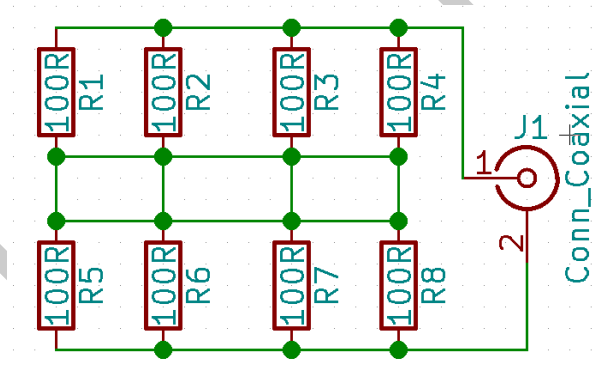
$$R_{eq} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \dots 1/R_n} \quad (10.3)$$

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

Lorsque les résistances ont toutes la même valeur, l'équation 10.3 peut être simplifiée pour $R_{eq} = \frac{R}{n}$.

Mixte

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



Charge fictive 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.

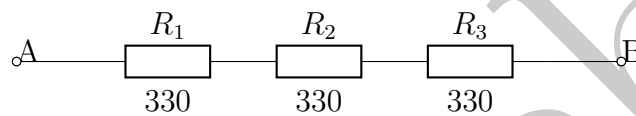
10.6 Exercices

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

Quels sont :

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

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

Réponses

1. $2, 7, 1 \Rightarrow 27 \times 10^1 \Rightarrow 270 \Omega$
2. $\pm 5 \%$
3. $256,5 \Omega$ à $283,5 \Omega$
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 schématiques de condensateurs (non polarisé, polarisé) (C).

Les valeurs courantes sont souvent en deçà de 1 F.

11.1 Fabrication

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

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

11.2 Fonctionnement

Le champ électrostatique devrait être une subsection pour le certificat supérieur

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.

Constante de temps

Dans un circuit où un condensateur est relié à une source d'alimentation à travers une résistance, le temps requis pour atteindre sa tension se calcule avec la formule 11.1.

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

Où :

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

Cette valeur est appelé *constante de temps* est équivalent à 63,2% de la tension et 36,8% de l'intensité.

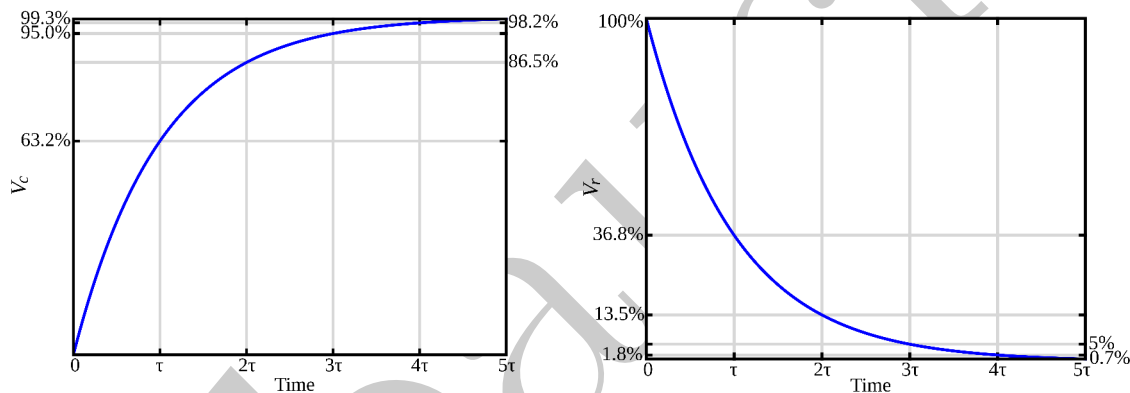


Figure 11.1 – Tension d'un condensateur en charge et décharge

11.3 Types de condensateurs

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

Voici les principaux.

Condensateurs variables

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

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

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

Condensateurs en céramique

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



Figure 11.2 – Condensateur en céramique.

Condensateurs à film

Le diélectrique est fait d'un film plastique.

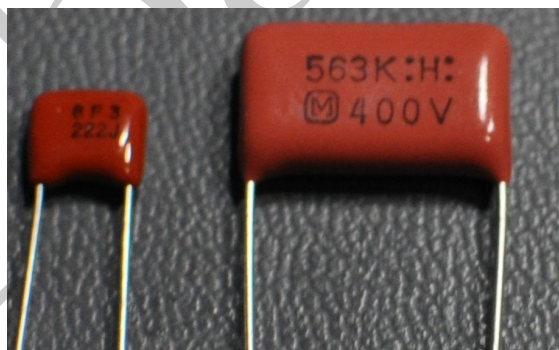


Figure 11.3 – Condensateurs à film.

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

Condensateurs électrolytiques

Ce type de condensateur est polarisé et risque d'exploser si les polarités sont inversées.

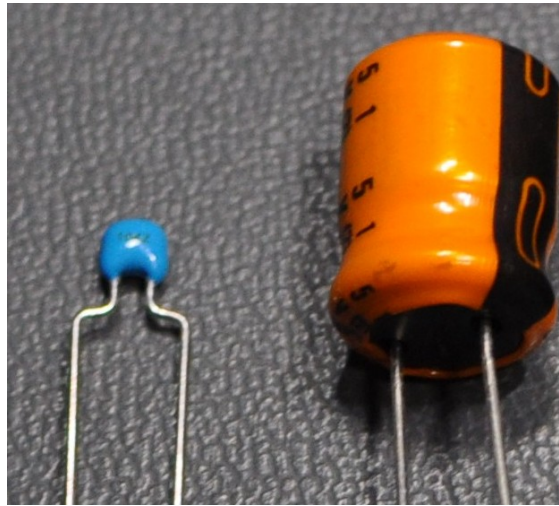


Figure 11.4 – Condensateurs électrolytiques tantalum et aluminium.

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

Ils existent principalement en deux formats :

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

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

11.4 Applications

Voici les principaux usages des condensateurs.

Découplage

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

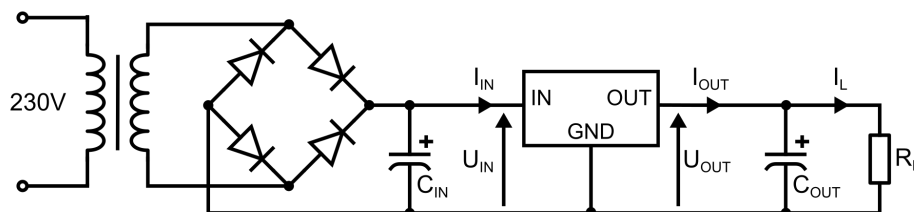


Figure 11.5 – Condensateurs de découplage dans un circuit d'alimentation.

On utilise aussi le terme « by-pass ».

Filtres

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

Nous en verrons plus de détails dans une prochaine section.

11.5 Réseaux et capacitance équivalente

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

Série

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



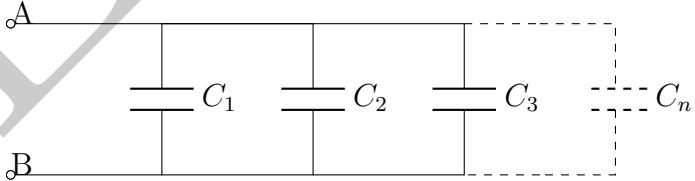
$$C_{eq} = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 \cdots 1/C_n} \quad (11.2)$$

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 :



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

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

11.6 Exercices

A-001-001

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 ?

Électronique

Réponses

1. $\frac{0,000\,020}{2} = 0,000\,010 \Rightarrow 10\,\mu\text{F}$
2. $0,000\,024 \times 2 = 0,000\,048 \Rightarrow 48\,\mu\text{F}$

Électronique

12 Les bobines

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

Elles possèdent les caractéristique suivantes :

- Inductance : henry (H)



Symbole schématique d'une bobine (L).

12.1 Fabrication

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

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

12.2 Fonctionnement

Le champ magnétique devrait être une subsection pour le certificat supérieur

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

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

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

Constante de temps

Dans un circuit où une bobine est reliée à une source d'alimentation à travers une résistance, le temps requis pour attendre son courant se calcule avec la formule [12.1](#).

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (12.1)$$

Où :

- τ : temps en seconde (s) ;
- L : inductance.
- R : résistance ;

Cette valeur est appelé *constante de temps* est équivalent à 63,2% du courant et 36,8% de la tension.

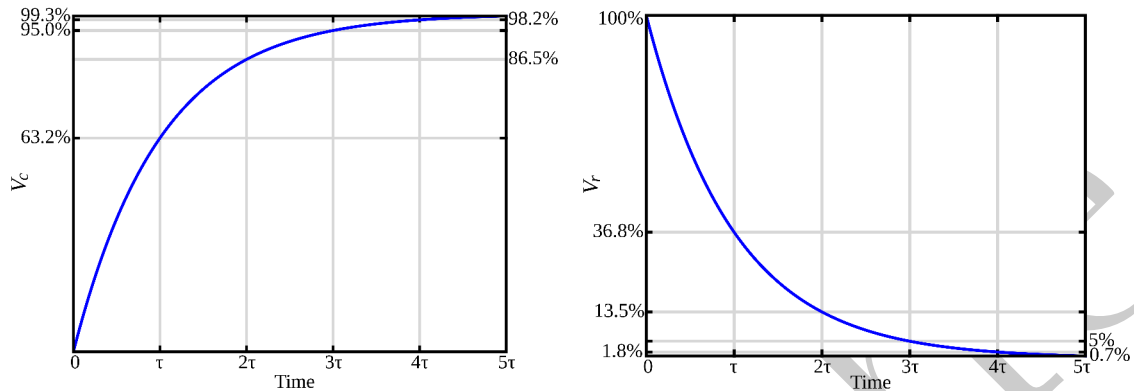


Figure 12.1 – Courant d'une condensateur en charge et décharge

Le principe est le même qu'avec un condensateur à l'exception que le courant remplace la tension.

12.3 Types

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

Air

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

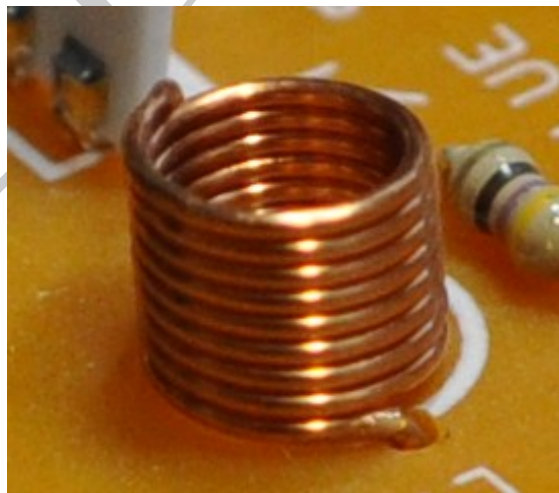


Figure 12.2 – Bobine à air.

Ferrite

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

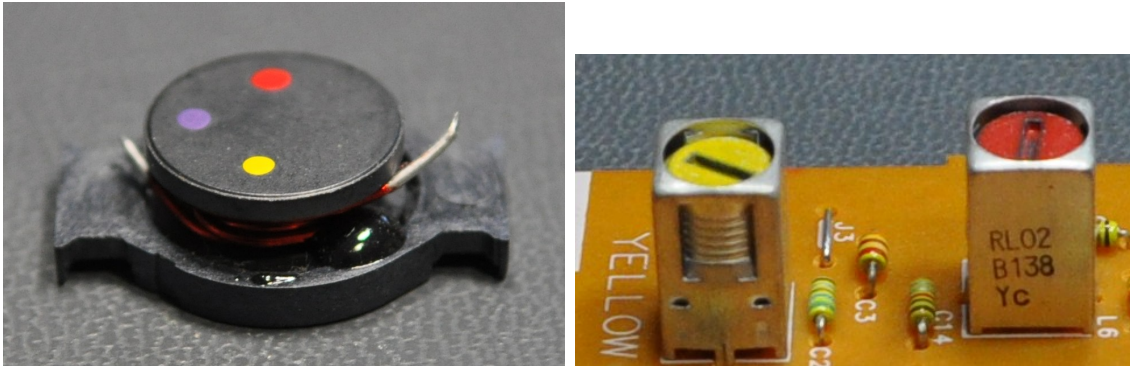


Figure 12.3 – Bobines à ferrite (fixe, variables).

Toroïdal

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



Figure 12.4 – Bobine toroïdal.

12.4 Applications

Voici quelques applications utilisant des bobines.

Lissage d'une alimentation ou signal

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

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



Figure 12.5 – Ferrite autour d'un fil.

On utilise souvent le terme « choke » pour désigner cet 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 12.2

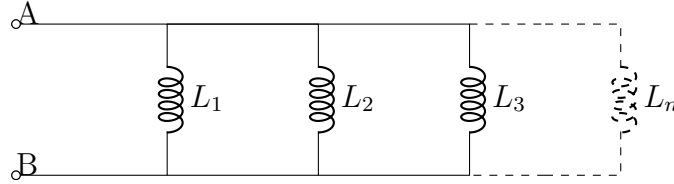


$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 \cdots L_n \quad (12.2)$$

Lorsque les bobines ont toutes la même valeur, l'équation 12.2 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 12.3



$$L_{eq} = \frac{1}{1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 \dots 1/L_n} \quad (12.3)$$

Lorsque les bobines ont toutes la même valeur, l'équation 12.3 peut être simplifiée pour

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

12.6 Exercices

A-001-001

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

Électronique

Réponses

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

Érudition

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)

B-005-010-005

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

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

RL

Une résistance et une bobine.

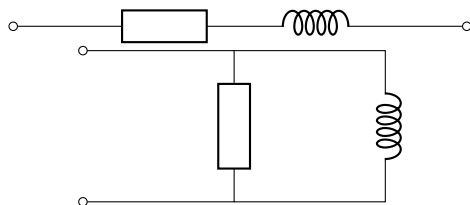


Figure 13.1 – Circuits RL : série et parallèle.

RC

Une résistance et un condensateur.

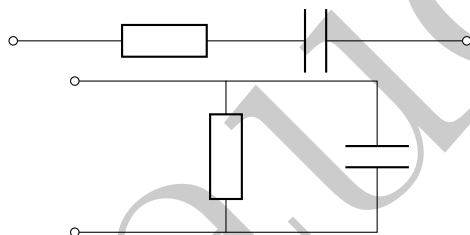


Figure 13.2 – Circuits RC : série et parallèle.

LC

Une bobine et un condensateur.

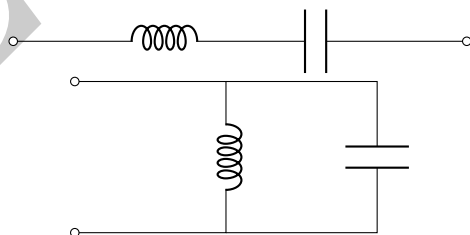


Figure 13.3 – Circuits LC : série et parallèle.

RLC

Une résistance, une bobine et un condensateur.

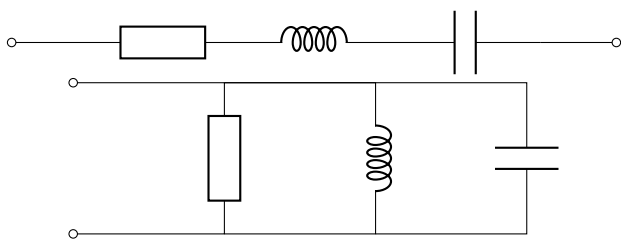


Figure 13.4 – Circuits RLC, série et parallèle.

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 :

Érudition

Réponses

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

Érudition

14 Les transformateurs

à réorganiser

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*.

14.1 Aimants permanent

Un aimant permanent est la plupart du temps fait en acier.

14.2 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.

C'est le principe d'utilisation d'un *électroaimant*.

en CC

14.3 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.

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

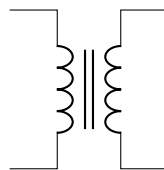


Figure 14.1 – Symbole schématique d'un transformateur (T).

14.4 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.

14.5 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 et 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.

14.6 Applications

Voici quelques usages des transformateurs.

Isolation

Transformateur ayant rapport 1 : 1.

Il sert à protéger un circuit **CA** 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.

14.7 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 ?
3. 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 ?
4. 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

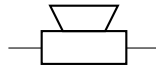
1. de même nom
2. acier
3. Puissance en entrée : $0,5 \times 120 \Rightarrow 60 \text{ W}$
Courant en sortie : $\frac{60}{12} \Rightarrow 5 \text{ A}$
4. $0,05 \times 5 = 0,250 \Rightarrow 250 \text{ mA}$

15 Les 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 schématique 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).

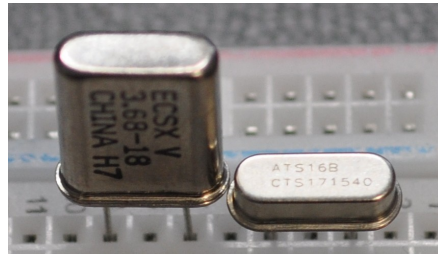


Figure 16.1 – Quartz.

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 semi-conducteurs

semi-conducteurs

17.1 Types

semi-conducteurs

Électronique

18 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.

18.1 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.

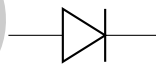
Cette « perte » de tension doit être considérée lors des calculs.

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

18.2 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 schématique d'une diode à usage général (D).



Figure 18.1 – 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.

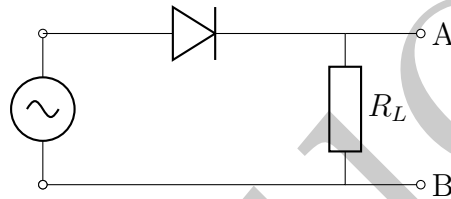


Figure 18.2 – Circuit redresseur.

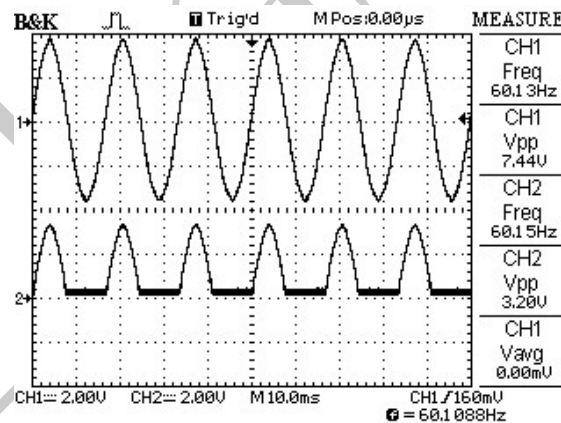


Figure 18.3 – Redressement d'un signal alternatif.

La figure 18.3 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.

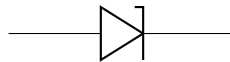
Cela sera vu plus en détail dans la section des blocs d'alimentation.

18.3 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 schématique 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.

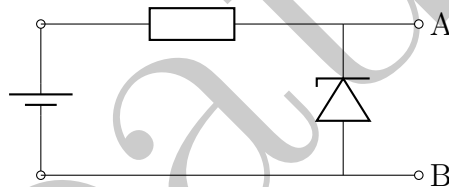


Figure 18.4 – Circuit régulateur de tension.

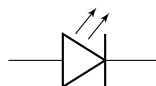
18.4 Les diodes électroluminescentes

Réorganiser la section

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 schématique d'une DEL.

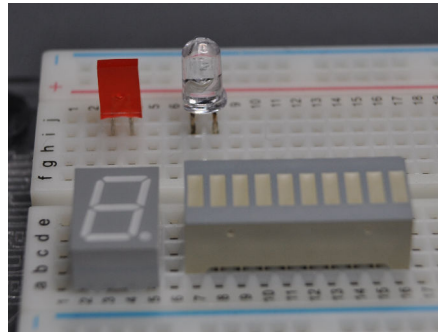


Figure 18.5 – DEL diverses.

Les broches peuvent être identifiées de manières suivantes :

- Anode : Broche la plus longue
- Cathode : Côté 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.

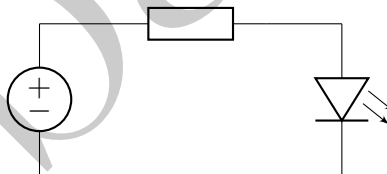


Figure 18.6 – DEL dans un circuit.

Le calcul de la valeur et de la puissance de la résistance de protection se fait avec les équations 18.1 et 18.2.

$$R = \frac{U_s - U_f}{I_f} \quad (18.1)$$

$$P = (U_s - U_f) \times I_f \quad (18.2)$$

Où :

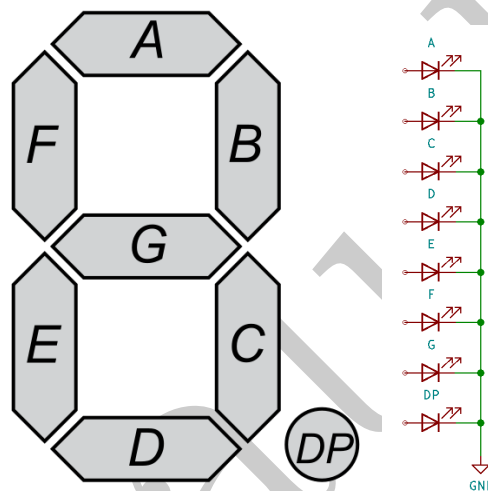
- U_s : La tension de la source d'alimentation ;

- 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.

18.5 Exercices

Selon la fiche technique de la [DEL HLMP-K150](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Everlight%20PDFs/HLMP-D,K.pdf)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. $9,6 \text{ V}$

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

18.6 Laboratoire

Composants requis :

- 1 x résistance 470 Ω
- 1 x DEL

Schéma

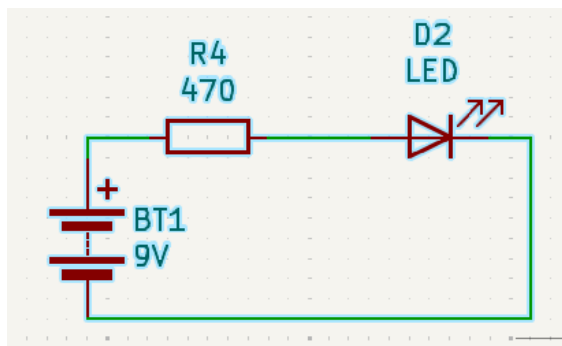


Figure 18.7 – Simple circuit à DEL

19 Les transistors

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

19.1 Transistors bipolaires

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



Symboles schématiques de transistor (Q) NPN et PNP.

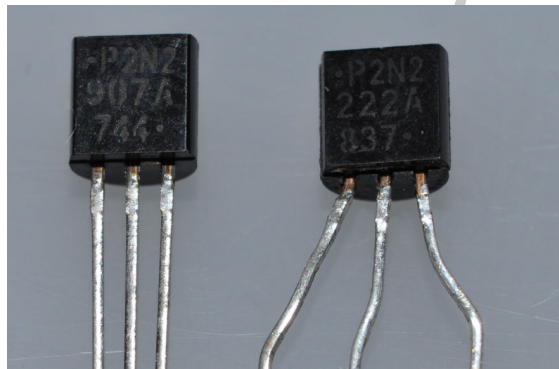


Figure 19.2 – Transistors.

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

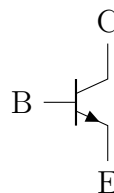


Figure 19.3 – Électrodes d'un transistor bipolaire.

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

Modes communs

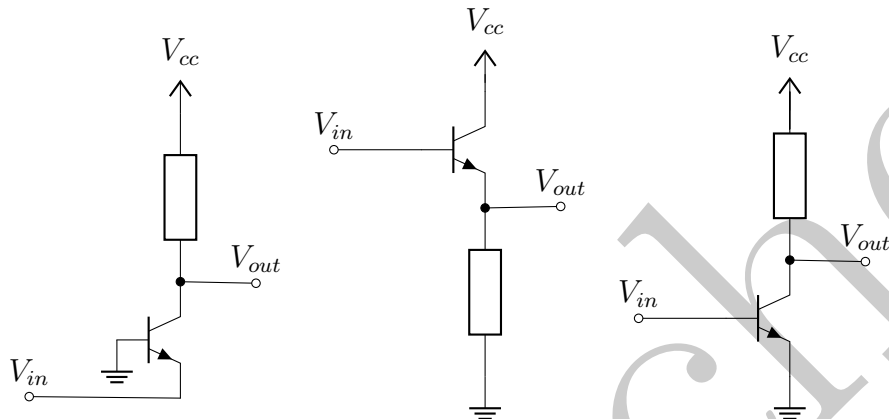


Figure 19.4 – Mode commun transistor PNP : base, collecteur, émetteur.

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.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (19.1)$$

Où :

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

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

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 :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (19.2)$$

Où :

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

Calcul de la résistance la base :

$$R_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_B} \quad (19.3)$$

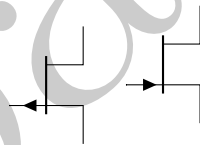
Où :

- 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.

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

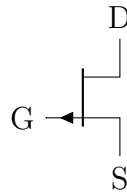
Ils sont aussi appelés *FET* (Field effect transistors).

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

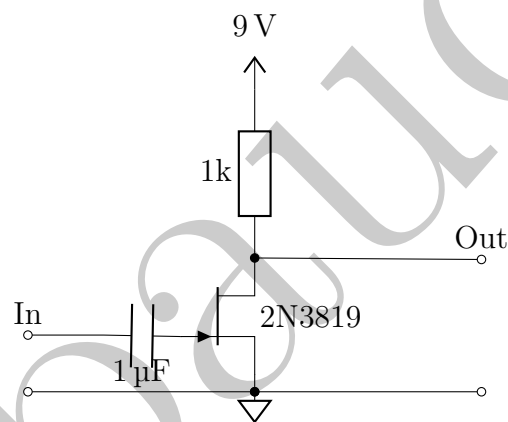


Figure 19.5 – Amplificateur FET non inversé.

19.3 Formats

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

TO-18

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

TO-92

image format full size

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

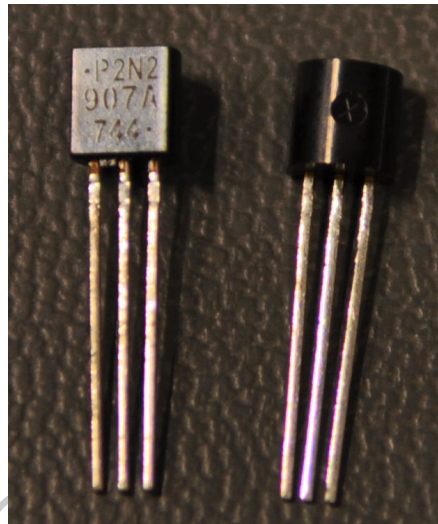


Figure 19.6 – TO-92 (avant et arrière).

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).

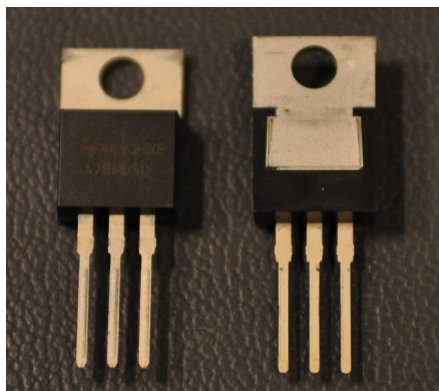


Figure 19.7 – TO-220 (avant et arrière).

19.4 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

Électronique

19.5 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

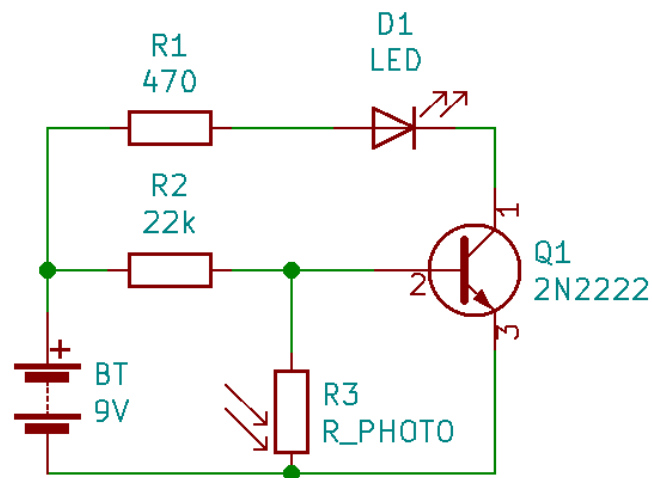


Figure 19.8 – Veilleuse électronique

20 Le décibel

Plus d'explication avec la section B-005-008

Le décibel (dB) sert à exprimer un rapport entre deux puissances, selon une échelle logarithmique calculé avec l'équation 20.1.

$$X_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \quad (20.1)$$

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

Tableau 20.1 – 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 indiqueras 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).

20.1 Exercices

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

Érudition

1. 3 dB

Électronique

21 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.

21.1 Format DIP

image format full size

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

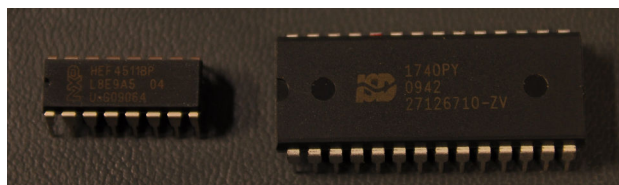


Figure 21.1 – DIP mince et large.

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.

21.2 Photocoupleurs

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

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

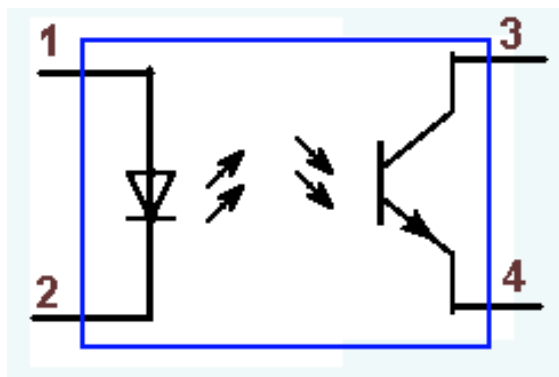


Figure 21.2 – Photocoupleur

22 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.

22.1 Le régulateur 78xx

schemas

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.

22.2 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.

23 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>

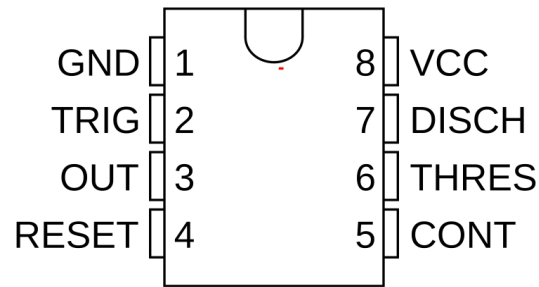


Figure 23.1 – 555 en format DIP

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

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

23.1 Caractéristiques

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

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

Tableau 23.1 – 555.

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

23.2 Mode monostable

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

A développer

23.3 Mode bistable

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

23.4 Mode astable

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

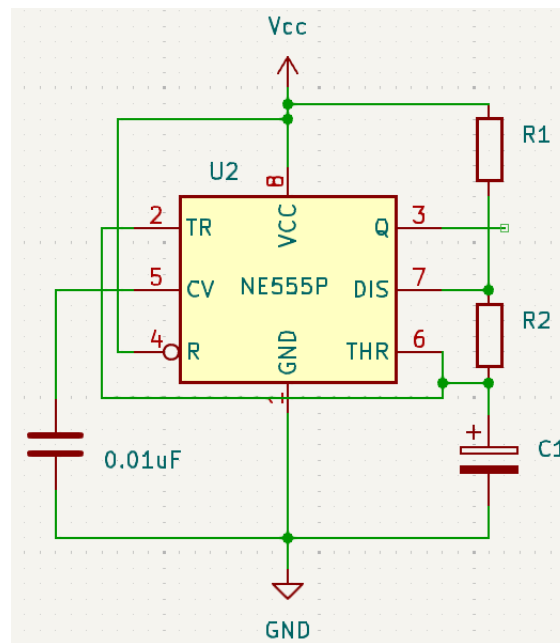


Figure 23.2 – 555 en mode astable.

La fréquence et le facteur d'utilisation (*duty cycle*) sont calculés avec les formules 23.1 et 23.2.

$$F = \frac{1.44}{(R_1 + 2 \times R_2) \times C_1} \quad (23.1)$$

$$D = \frac{R_2}{R_1 + 2 \times R_2} \quad (23.2)$$

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.

23.5 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

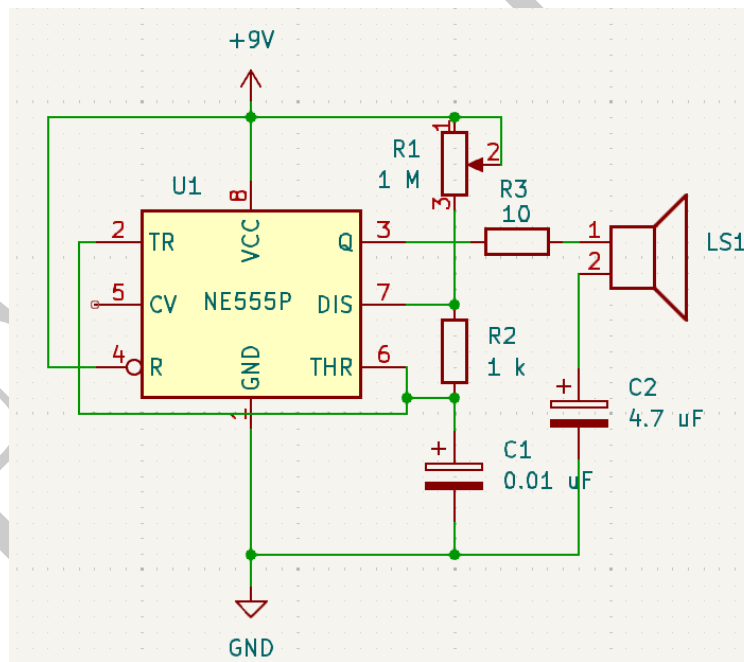
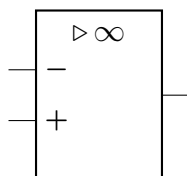


Figure 23.3 – Oscillateur

24 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 schématique d'un amplificateur opérationnel.

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

24.1 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.

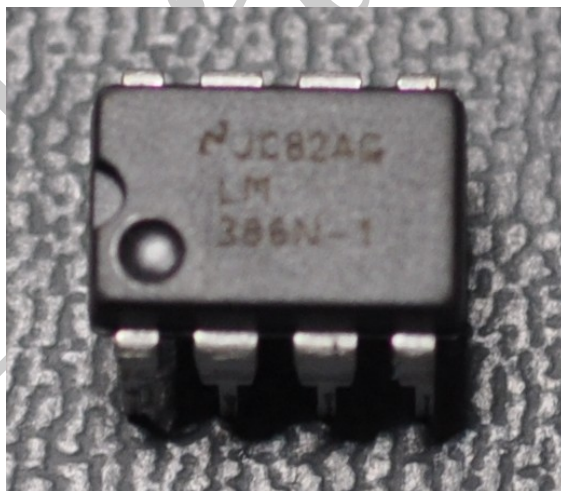


Figure 24.1 – LM-386 en format DIP.

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 24.1 – 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 .

24.2 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

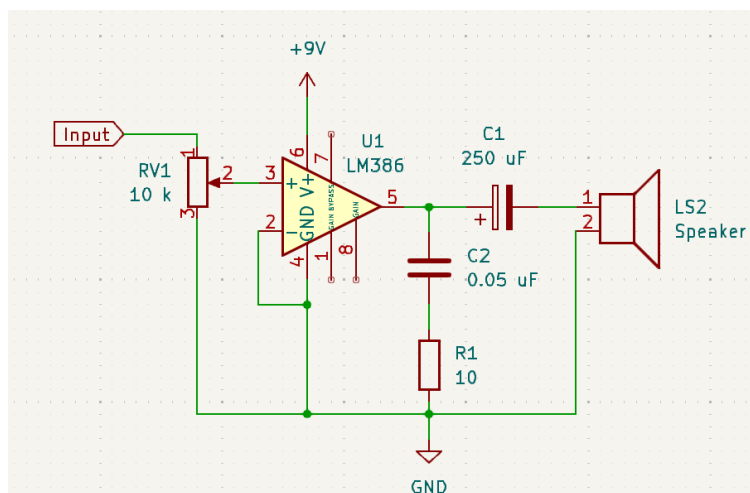


Figure 24.2 – LM386 gain de 20

25 Les blocs d'alimentation

autre points de la section Basic

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.

25.1 Fonctionnement

Les sections suivantes sont habituellement présentes :

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

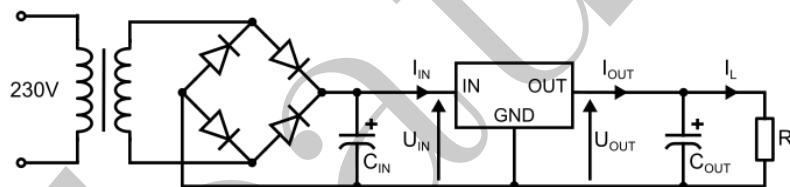


Figure 25.1 – Circuit interne d'un bloc d'alimentation.

25.2 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.

26 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.

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

autre sections a la fin du fichier	1
espacement des listes	1
$\frac{1}{2}$ Watt	1
LED plus grosses et plus grand nombre	1
exemples	8
Utilisation de jumpers	33
Exercices DMM	47
Lab DMM	48
explications des 3 broches	59
Le champ electrostatique devrait être une subsubsection pour le certificat supérieur	68
A-001-001	73
Le champ magnétique devrait être une subsubsection pour le certificat supérieur	75
A-001-001	80
B-005-010-005	83
à réorganiser	88
en CC	88
semi-conducteurs	96
semi-conducteurs	96
Réorganiser la section	99
image format full size	109
Plus d'explication avec la section B-005-008	114
image format full size	117
schemas	118
explications	119
A développer	120
A développer	120
section a elle seule	124
devrait être une section	124
autre points de la section Basic	127
section seule ailleurs	127

B Aide-mémoire

Préfixes

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

Unités

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

Formules de base

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

Effet Joule : $P = U \times I$

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

Résistances

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

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

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

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

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

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

Condensateurs

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

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

Bobines

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

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

Réactance

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

Inductive : $X_L = 2\pi f L$

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	$\pm 1\%$
Rouge	2	$\pm 2\%$
Orange	3	
Jaune	4	
Vert	5	$\pm 0.5\%$
Bleu	6	$\pm 0.25\%$
Violet	7	$\pm 0.10\%$
Gris	8	$\pm 0.05\%$
Blanc	9	
Or		$\pm 5\%$
Argent		$\pm 10\%$

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

$$\tau = R \times C \text{ (Tension)} \quad \tau = \frac{L}{R} \text{ (Courant)}$$

τ	Charge	Décharge
1	63,2%	36,8%
2	86,5%	13,5%
3	95%	5%
5	99,3%	0,7%

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.

Érudition