

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et Informatique
Département d'Electronique

Polycopié pédagogique

Titre

Technologie des composants électroniques 1
TCE1

Rédigé par :

D^r. OURAHMOUN Ourida

Cours destiné aux étudiants de
Licence : spécialité Electronique
Niveau : deuxième année

Année : 2021

Introduction	1
Chapitre 1 : Les résistances	
1 Définitions	3
1.1 La résistance	3
1.2 La conductance	3
1.3 La résistivité.....	3
2 Influence de la température sur la résistance.....	4
3 La puissance nominale.....	4
4 La stabilité	5
5 Symboles d'une résistance.....	5
6 Association des résistances.....	5
6.1 Association série	5
6.2 Association parallèle.....	5
7 Caractéristiques technologiques d'une résistance	6
7.1 La résistance nominale [en ohms].....	6
7.2 La tolérance [en %]	6
7.3 La résistance réelle.....	7
7.4 Séries de valeurs normalisées	7
7.5 Puissance nominale P_n , température nominale Θ_n	8
7.6 Bruit thermique	9
7.7 Tension nominale U_n et tension maximale U_c	9
7.8 Coefficient de température.....	10
7.9 Coefficient de tension	10
7.10 Influence de la fréquence	10
- Facteur de bruit.....	10
8 Choix des résistances.....	11
8.1 Principaux critères de sélection	11
8.2 Guide de sélection.....	11
9 Lecture de la valeur d'une résistance	12
9.1 Code des couleurs	12
9.1.1 Résistance à 4 anneaux	13
9.1.2 Résistance à 5 anneaux	14
9.1.3 Résistances à 6 anneaux	16
10 Les différents types de résistances.....	18
10.1 Les résistances agglomérées.....	18

Sommaire

10.2	Résistance à couche de carbone	19
10.3	Résistance à couche métallique.....	20
10.4	Résistance bobinée de puissance.....	21
10.5	Résistance ajustable.....	22
10.6	Les résistance CMS.....	23
10.7	La thermistance	25
10.8	La photorésistance.....	25
10.9	La varistance-VDR (voltage dependent resistor).....	26
11	Domaines d'utilisation.....	26
12	Comment tester une résistance	27
12.1	Défaillances et pannes d'une résistance	27
 Chapitre 2 : Les condensateurs		
1	Définition et symboles d'un condensateur	29
-	Le symbole d'un condensateur	29
2	Capacité d'un condensateur.....	29
3	Quantité d'électricité emmagasinée.....	30
-	Exercice d'application	30
4	Énergie emmagasinée	30
	Exercice	31
5	Association des condensateurs	31
5.1	Capacités en parallèles.....	31
5.2	Capacités en série.....	31
5.3	Association de condensateurs polarisés	32
6	Charge et décharge d'un condensateur.....	32
6.1	Charge d'un condensateur par un générateur de tension et une résistance.....	33
6.2	Courbe de charge et de décharge d'un condensateur.....	33
6.3	Calcul de la constante de temps graphiquement.....	34
7	Les caractéristiques technologiques d'un condensateur.....	34
7.1	La constante diélectrique	34
7.2	Résistance d'isolement	34
7.3	Courant de fuite et constante de temps	34
7.4	Rigidité diélectrique.....	34

Sommaire

8	Critères de choix d'un condensateur	35
8.1	Valeur nominale et tolérance	35
8.2	Tensions limites	35
8.2.1	Tension nominale U_n ou la tension maximale de service	35
8.2.2	Tension de pointe U_p	36
8.3	Coefficient de température d'un condensateur	36
8.4	Puissance dissipée.....	36
8.5	Durée de vie et fiabilité.....	36
9	Technologie des condensateurs	37
9.1	Les condensateurs au papier métallisé.....	37
9.1.1	Avantages des condensateurs en papier.....	37
9.1.2	Inconvénients des condensateurs en papier	37
9.2	Les condensateurs électrolytiques ou chimiques	37
9.2.1	Les condensateurs électrolytiques à l'aluminium.....	37
9.2.2	Avantages des condensateurs électrolytiques.....	39
9.2.3	Inconvénients des condensateurs électrolytiques	39
9.3	Les condensateurs électrolytiques tantale.....	39
9.3.1	Utilisation des condensateurs en tantale.....	40
10	Les condensateurs plastiques (polyester, polycarbonate, polystyrène)	40
10.1	Les condensateurs au polypropylène.....	41
10.2	Les condensateurs au mica.....	41
10.3	Les condensateurs en céramique	42
10.3.1	Domaines d'application des condensateurs en céramique	43
10.4	Les condensateurs variables	43
11	Code des condensateurs.....	47
11.1	Code américain.....	47
11.2	Code européen.....	47
11.3	Code asiatique	48
11.3.1	Marquage des condensateurs en plastique (polyester)	50
11.3.2	Capacité des condensateurs ajustables	51

Sommaire

-	Condensateurs variables	51
11.3.3	Marquage des condensateurs électrolytiques	51
11.3.4	Tolérances, résistances et capacité	52
11.4	Comment lire la valeur d'un condensateur	52
11.5	Marquage des capacités élevées	52
11.5.1	Les unités de mesure d'une capacité	53
11.5.2	La valeur de la tolérance.....	54
11.5.3	La tension nominale	55
11.6	Marquage des condensateurs compacts.....	56
11.7	Comment Lire les codes qui contient des lettres.....	58
11.7.1	Lire le code de la tolérance.....	58
11.8	- Déterminer la valeur de la tolérance en température (coefficient en température)	58
11.9	Code pour les tensions de service des condensateurs	60
-	Autres codages.....	60
12	Lecture de la valeur d'un condensateur en utilisant le code de couleurs	60
13	Domaines d'application des condensateurs	61
13.1	Application des condensateurs électrolytiques aluminium	61
13.2	Exemple d'applications des condensateurs non polarisés, réalisation des filtres 62	
13.3	Application en tant que condensateurs de liaison	62
13.4	Application des condensateurs dans les circuits d'accords.....	63
14	Les pannes des condensateurs	63
14.1	Comment tester un condensateur	64
14.2	Durée de vie des condensateurs et tension	65
Chapitre 3 : Les bobines		
1	Principes et propriétés	66
1.1	L'inductance	66
1.2	Intensité des lignes de champ	66
1.3	Symbole de la bobine.....	67
2	Energie emmagasinée dans une bobine	67
3	Association des bobines	68
3.1	En série	68

Sommaire

3.2	En parallèle	68
4	Les différents types de bobines	68
5	Modélisation d'une bobine	68
6	Détermination de la valeur d'une inductance	69
6.1	Par les caractéristiques géométriques	69
6.1.1	Bobine enroulée en air ou sur un support vide	69
6.1.2	Cas d'une bobine enroulée sur un noyau ferromagnétique	69
6.2	Méthode volt-ampèremètre	70
6.3	Mesure de la constante de temps d'un circuit RL	70
6.4	Appareil de mesure d'une inductance	71
7	Marquage des bobines par code des couleurs	71
8	Les applications des bobines	72
8.1	Les transformateurs	72
8.2	Application des bobines pour le filtrage	74
8.2.1	Définition de la fréquence de coupure	74
9	Pannes dans les bobines	74
Chapitre 4 : Les diodes		
1	Définition d'une diode et d'une jonction PN	76
1.1	Symbole et représentation	76
1.2	Fonctionnement	76
2	Caractéristique I(V) d'une diode	77
2.1	Polarisation directe	77
2.2	Polarisation inverse	78
2.2.1	Zone de claquage	78
2.2.2	La tension de seuil V_d	78
2.2.3	La résistance dynamique	79
2.3	Modèles électriques linéaires de la diode	79
3	Caractéristiques technologiques d'une diode	81
3.1	Valeurs limites d'utilisation : maximum rating	81
3.2	Caractéristiques électriques	82
3.3	Caractéristiques technologiques données par le constructeur	83
3.4	La puissance dissipée dans une diode	83

Sommaire

4	Codes d'identification d'une diode	85
4.1	Affichage en clair, norme JEDEC ou Pro-Electron	85
4.2	Affichage en code de couleurs	86
5	Association de diodes	88
5.1	Association série	88
5.2	Association parallèle	88
6	Les différents types de diodes	89
6.1	Les diodes électroluminescentes LED ou DEL	90
-	Comment Tester une LED	91
-	Etude de la caractéristique du courant d'une LED	91
-	Calcul de la résistance de limitation	92
-	Caractéristiques technologiques données par le constructeur d'un LED	92
6.2	Les photodiodes (cellule photovoltaïque)	93
6.3	Diode varicap	94
6.4	Diode Schottky	94
7	Utilisation et applications d'une diode	94
7.1	Redressement simple et double alternance avec filtrage	94
7.2	Ecrêtage	95
7.3	Réalisation d'alimentation stabilisée en utilisant une diode Zener	96
8	Test et pannes d'une diode	96
8.1	Etats possibles d'une diode défectueuse	97
Chapitre 5 : Les transistors bipolaires		
1	Généralités	98
2	Relation entre courant-tension dans un transistor	98
3	Caractéristiques d'un transistor	99
4	Polarisation d'un transistor NPN	99
4.1	Droite d'attaque statique $I_B=f(V_{BE})$	100
4.2	Droite de charge statique $I_C=f(V_{CE})$	101
4.3	Blocage et saturation	101
4.4	Réseau de caractéristique d'un transistor bipolaire	103
4.5	La puissance dissipée par un transistor	104
5	Le transistor Darlington	104
-	Inconvénients du Darlington	104

Sommaire

6	Les différents types de boitiers	105
7	Caractéristiques technologiques donnée par le constructeur	105
8	Les applications des transistors bipolaires.....	107
8.1	Amplification	107
8.2	Commutation	108
9	Repérage des pattes du transistor.....	109
Chapitre 6 : Les circuits intégrés logiques		
1	Introduction	110
2	Identification d'un circuit intégré logique.....	110
3	Différents types de circuits intégrés logiques.....	111
3.1	Technologie TTL (Transistor Transistor Logique).....	111
3.2	Technologie CMOS (complementary Metal Oxyde Semiconductor)	112
4	Les intégrations	112
5	Les portes logiques de base	112
6	Evolution des différentes familles logiques.....	113
6.1	Technologie TTL	113
6.2	Technologie MOS	114
7	Caractéristiques technologiques	114
7.1	Le code de désignation	114
7.2	Les tensions d'alimentation de quelques circuits TTL ou CMOS	115
7.3	Principales caractéristiques électriques.....	115
7.4	Sortance	115
7.5	Niveaux d'entrée et de sortie.....	115
7.6	Immunité aux bruits	116
7.7	Compatibilité d'association des circuits TTL et CMOS	116
8	Choix d'une technologie	117
9	Application de la technologie TTL.....	117
9.1	Réalisation d'une porte NAND en technologie TTL.....	117
10	Différence entre CMOS et TTL.....	118
Chapitre 7 : Les circuits intégrés analogiques		
1	Définition d'un circuit intégré.....	119
2	Caractéristiques technologiques des circuits intégrés	119
2.1	Code de désignation.....	119
2.2	Quelques supports de circuits intégrés.....	120
3	Différents circuits intégrés analogiques	121

Sommaire

3.1	L'amplificateur opérationnel LM741	121
-	Symbole électrique d'un amplificateur opérationnel	122
3.2	Exemple d'application en amplification.....	122
3.2.1	Amplificateur inverseur	122
3.2.2	Amplificateur non inverseur	123
3.2.3	Réalisation de filtres actifs	123
3.3	Paramètres électriques d'un amplificateur opérationnel LM741	123
3.4	Circuit interne d'un ampli-op	124
4	Les régulateurs de tension intégrés.....	125
4.1	Les régulateurs de tension fixe	125
4.1.1	Les régulateurs 78XX.....	125
4.1.2	Les régulateurs 79XX.....	126
4.2	La puissance dissipée dans le régulateur	126
4.3	Brochage du régulateur de tension fixe 78XX.....	126
4.4	Caractéristiques technologiques du régulateur fixe	127
4.5	Application d'un régulateur fixe dans la réalisation d'une alimentation régulée à 1A 128	
4.6	Modification de la tension de sortie.....	129
4.7	Régulateurs de tension variable	130
	Les régulateurs de tension variable peuvent être :.....	130
4.7.1	Régulateurs de tension positive variable LM117 ou LM317	130
4.7.2	Régulateurs pour tension variable négative.....	131
4.8	Régulateurs à courant fort.....	131
-	Brochage du régulateur ajustable LM117	131
4.9	Description du régulateur LM317 de National Semiconducteur	132
-	Connexions du LM317	132
-	Montages du régulateur de tension LM317	133
5	Les boîtiers utilisés dans les régulateurs.....	133
	Conclusion.....	135
	Bibliographies.....	136

Introduction

Ce cours d'électronique est destiné aux étudiants de deuxième année Licence Electronique. Il correspond au programme officiel du module " Technologie des composants électroniques 1" enseigné en deuxième année LMD, semestre 4 (L2-S4) en électronique.

Ce manuel est structuré en sept chapitres. Ils traitent la technologie des composants électroniques passifs et actifs. Nous avons présenté d'une manière simplifiée leurs caractéristiques principales ainsi leurs utilisations. Ce cours a deux objectifs principaux : le premier consiste à montrer aux étudiants les différents composants utiles et nécessaires aux réalisations des montages et des circuits électroniques. Le deuxième objectif est de faire savoir aux étudiants le fonctionnement de chaque composant, ces applications ainsi les principales caractéristiques technologiques et ceci en utilisant la fiche technique ou le datasheet donné par le fabricant du composant.

Dans la première partie nous avons exposé trois chapitres qui portent sur les caractéristiques technologiques des composants passifs. Le premier chapitre aborde les notions de base des résistances. Dans ce chapitre sont présentés les différents types de résistances, la lecture de la valeur d'une résistance et les applications d'une résistance.

Le deuxième chapitre est consacré aux condensateurs, la capacité d'un condensateur, la charge et la décharge d'un condensateur, les différents types de condensateurs, leurs technologies et leurs utilisations.

Les bobines sont traitées au chapitre 3, les propriétés des bobines, leurs associations en série et en parallèles sont présentées. Les différents types de bobines ainsi que deux méthodes de détermination de la valeur de l'inductance d'une bobine à savoir la méthode volt-ampèremètre et la détermination de l'inductance par les caractéristiques géométriques sont présentées.

Dans la deuxième partie nous avons présenté les caractéristiques technologiques des composants électroniques actifs.

Dans le chapitre 4 sont abordées les diodes, la définition de la jonction PN, la caractéristique courant-tension d'une diode ainsi que les polarisations direct et inverse de ce composant. Les différents type de diodes sont présentés, à savoir la diode électroluminescente LED, les photodiodes, la diode varicap et la diode Schottky, ainsi leur applications.

Le chapitre 5 est consacré aux transistors bipolaires. Nous avons traité les différents type de transistors, la polarisation d'un transistor bipolaire NPN en expliquant la droite de

charge statique, la droite d'attaque statique, le blocage et la saturation ainsi le réseau de caractéristique du transistor bipolaire. Quelques applications des transistors tels que la commutation et l'amplification sont aussi présentées.

Les deux derniers chapitres sont consacrés aux circuits intégrés. Les circuits intégrés logiques sont développés au chapitre 6 et les circuits intégrés analogiques sont traités au chapitre 7. Les circuits logiques des technologies TTL et CMOS ainsi que la différence entre les deux technologies sont abordés. Quant aux circuits intégrés analogiques, nous avons expliqué le fonctionnement des régulateurs intégrés fixes à savoir le 78XX et le 79XX, et variables à savoir LM317 et LM337. Le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel LM741 est aussi abordé.

Chapitre 1 : Les résistances

1 Définitions

1.1 La résistance

Une résistance est un composant électronique passif dont la principale caractéristique est de s'opposer à la circulation du courant électrique.

Une résistance est un dipôle électronique, est un composant à deux bornes, la tension U aux bornes de la résistance est proportionnelle au courant I qui la traverse.

La loi d'Ohm s'écrit :

$$U = R \cdot I \quad (1)$$

Avec : U : tension en volts (V), I : courant en ampère (A), et R : résistance en (Ω).

Le coefficient R est appelé résistance du dipôle. L'unité de la résistance est l'Ohm (Ω). Le tableau 1 donne les multiples et les sous multiples de l'Ohm.

Tableau 1. Multiple et sous multiple de l'ohm

Nom	Symbole	Valeur en (Ω)
Milli-ohm	m Ω	10^{-3}
Kilo-ohm	K Ω	10^3
Méga-ohm	M Ω	10^6

1.2 La conductance

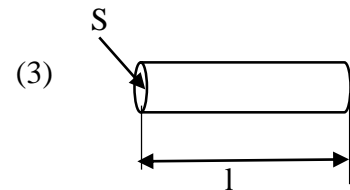
La conductance est l'inverse de la résistance. L'unité de la conductance est le siemens (S). La conductance G est donnée par :

$$G = \frac{1}{R} \quad (\Omega^{-1}) \quad (2)$$

1.3 La résistivité

La résistance dépend à la fois des dimensions du conducteur et de sa nature. Selon le matériau utilisé, sa section et sa longueur, on pourra obtenir toutes les valeurs possibles des résistances.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



La résistance d'un fil est proportionnelle à sa longueur l , est inversement à sa section S .

Avec :

ρ : est la résistivité du matériau en $\Omega \cdot m$.

l : longueur du fil en m.

S : section du fil en m^2 .

2 Influence de la température sur la résistance

Les résistances peuvent varier en fonction de la température selon la relation :

$$R_T = R_0(1 + \alpha \cdot T) \quad (4)$$

R_T : valeur de la résistance à la température T en ohm (Ω) ;

R_0 : la valeur de la résistance à $0^\circ C$ en ohm (Ω) ;

α : coefficient en température en $^\circ C^{-1}$;

T : température en $^\circ C$.

Le coefficient en température définit la sensibilité de la résistance par rapport à la température. Une résistance dont la valeur ne varie pas en fonction de la température aura un coefficient de température nul.

Exemple

A $20^\circ C$, $R_{20} = 80 \Omega$, $\alpha = 48 \cdot 10^{-4}$ pour le tungstène.

- Calculer R_0 et R à $2500^\circ C$.

$$R_0 = \frac{80}{1 + 48 \cdot 10^{-4} \times 20} = 73 \Omega.$$

$$R_{2500} = 73 (1 + 48 \cdot 10^{-4} \times 2500) = 950 \Omega.$$

3 La puissance nominale

Correspond à la puissance normale que peut dissiper une résistance à une température donnée (dans des conditions d'aération spécifiées). Si la résistance dissipe une puissance trop importante elle peut :

soit brûler ;

soit changer de valeurs sans modification de son aspect externe.

Il est donc important de savoir calculer la puissance dissipée par une résistance dans un montage, et de choisir en fonction le bon type de résistance.

La puissance P dissipée dans une résistance R est donnée par :

$$P = U \cdot I = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (5)$$

L'unité de la puissance est le watt (W)

Les sous multiples de watt, $1\text{mW}=10^{-3}\text{ W}$.

4 La stabilité

Caractérise l'évolution relative de la résistance effective du composant, dans le temps. Une résistance stable ne changera pas de valeur en *vieillissant*.

5 Symboles d'une résistance

Sur les schémas électroniques, les résistances sont représentées par leurs symboles normalisés comme le montre la figure 1.

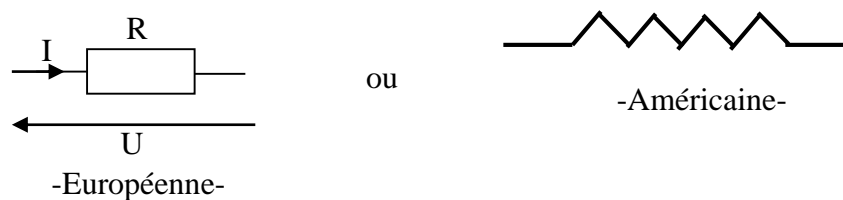


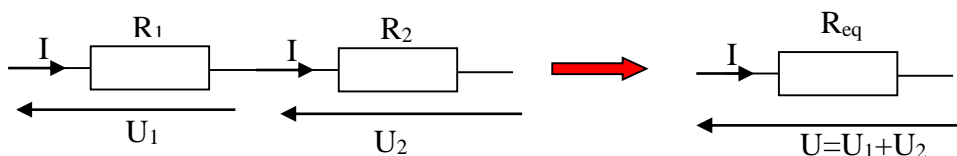
Figure 1. Symbole d'une résistance.

6 Association des résistances

6.1 Association série

Le courant est le même dans les deux résistances, mais les tensions s'ajoutent. La résistance équivalente est la somme des deux résistances.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \quad (6)$$



Si on a plusieurs résistances en série, la résistance équivalente est la somme de toutes les résistances :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (7)$$

6.2 Association parallèle

Le deuxième mode de branchement des résistances est le branchement en parallèle.

La tension est la même pour les deux résistances, $V_1=V_2$.

Les courants qui les traversent s'ajoutent.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ donc } R_{eq} = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2} \text{ } [\Omega] . \quad (8)$$

Si on a plusieurs résistances en parallèle on aura :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (9)$$

7 Caractéristiques technologiques d'une résistance

La valeur d'une résistance est indiquée à l'aide d'un code de couleur, sauf pour les résistances de puissance, de précision, ou dans le cas de certains modèles spéciaux dont le marquage est effectué en clair. On peut aussi détecter la valeur d'une résistance par mesure. Afin d'aider au choix d'une résistance, les fabricants définissent leurs produits à l'aide de diverses spécifications.

Tableau 2. Critères de choix d'une résistance

Usage courant	Usage plus spécifique	Applications pointues
Valeur nominale	Tension nominale et maximale	Coefficient de tension
Tolérance	Coefficient de température	Influence de la fréquence
Puissance nominale	/	Facteur de bruit

Une résistance est caractérisée par :

7.1 La résistance nominale [en ohms]

C'est la valeur indiquée par le constructeur sur le composant.

Du fait des tolérances de fabrication, la résistance réelle est un peu différente. Les constructeurs donnent une fourchette dans laquelle peut se trouver cette valeur. L'intervalle est indiqué par un pourcentage de la résistance nominale qui indique l'écart maximal, en plus ou en moins qu'il peut avoir entre la valeur réelle et la valeur nominale.

7.2 La tolérance [en %]

Nul constructeur ne peut assurer que la valeur qu'il inscrit sur un élément résistif est exactement égale à sa valeur réelle. Il est toutefois légalement tenu d'indiquer une fourchette de valeurs extrêmes entre lesquelles doit se trouver la valeur réelle de son composant. Cette fourchette est indiquée sous forme d'un pourcentage nommée tolérance de fabrication. La

tolérance est également indiquée à l'aide d'un anneau de couleur ; elle fixe l'écart maximal entre la résistance nominale est la résistance effective du composant. Il existe des séries de valeurs normalisées associées à des tolérances données.

7.3 La résistance réelle

$$R_{réelle} = R_N \pm \Delta R \quad (10)$$

R_N : la résistance nominale est la valeur pour laquelle le composant est élaboré [Ω].

ΔR : l'erreur absolue est l'écart absolue entre la valeur nominale est la valeur réelle [Ω].

$\frac{\Delta R}{R_N}$: est la tolérance relative [%].

Exemple

Un composant marqué 10 K Ω , 5%.

$R_N = 10 \text{ K}\Omega$.

$$\frac{\Delta R}{R_N} = 5\% = 0.05 \Rightarrow \Delta R = R_N \times 0.05.$$

$$\Delta R = 10 \times 0.05 = 0.5 \text{ K}\Omega.$$

$$R_{max} = R_N + \Delta R = 10 + 0.5 = 10.5 \text{ K}\Omega.$$

$$R_{min} = R_N - \Delta R = 10 - 0.5 = 9.5 \text{ K}\Omega.$$

$$R_{réelle} = (10 \pm 0.5) \text{ k}\Omega.$$

$$R_{réelle} \in [9.5, 10.5] \text{ K}\Omega.$$

7.4 Séries de valeurs normalisées

Une série définit une liste de valeurs nominales de la résistance, auxquels on applique un coefficient multiplicateur puissance de 10 [de 10^{-2} à 10^6].

A chaque série est associée une ou plusieurs tolérances.

Tableau 3. Caractéristiques des principales séries de valeurs normalisées

Série	E3	E6	E12	E24	E48	E96	E192
Nombre de valeurs	3	6	12	24	48	96	192
Nombre de chiffres significatifs	2	2	2	2	3	3	3
Tolérance	20%, 50%	20%	10%	5%	2%	1%	0.1%, 0.5, 0.01

Dans une série E_n , les valeurs normalisées sont définies par la formule :

$$R_i = \sqrt[n]{10^i} \quad (11)$$

La valeur de R_i sera arrondie, i varie de 0 à $n-1$.

Exemple : série E6 (contient 6 valeurs normalisées) comme le montre le tableau ci-dessous.

Formule	$\sqrt[6]{1}$	$\sqrt[6]{10}$	$\sqrt[6]{100}$	$\sqrt[6]{1000}$	$\sqrt[6]{10000}$	$\sqrt[6]{100000}$
Résultat	1	1.47	2.15	3.16	4.64	6.81
Valeur normalisée	1	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8

Dans la série E₆, il existe 6 valeurs normalisées qui sont : 10, 15, 22, 33, 47 et 68.

Associées à un coefficient multiplicateur, ces valeurs normalisées peuvent donner les valeurs des résistances suivantes, toutes présentent dans la série E6 : 100 KΩ, 150 Ω, 15 KΩ, 2.2 MΩ, 3.3 KΩ, 33 KΩ, 470 Ω, 470 KΩ, 68 Ω, 680 Ω, 6.8 KΩ, 68 KΩ, 680 KΩ, 6.8 MΩ, etc...

En revanche, les valeurs suivantes n'existent pas dans la série E6 : 120KΩ, 200Ω, 3.9Ω, 56Ω, car les valeurs normalisées 12, 20, 39, et 56 ne sont présentent dans la série E₆ ; pour obtenir ces valeurs de résistance il faudra utiliser une autre série de valeurs normalisées : E₁₂ avec 12 valeurs ou E₂₄ avec 24 valeurs.

- **Valeurs normalisées de la série E6**

10	15	22	33	47	68
----	----	----	----	----	----

- **Valeurs normalisées de la série E12**

10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

- **Valeurs normalisées de la série E24**

10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30
33	36	39	43	47	51	56	62	68	75	82	91

7.5 Puissance nominale P_n, température nominale Θ_n

La résistance est un récepteur thermique. La puissance électrique absorbée sous forme électrique et dégagée sous forme calorifique. Si la température du composant est stabilisée, il y a équilibre thermique, d'où :

$$P = RI^2 = K.S.(\theta - \theta_a) \quad (12)$$

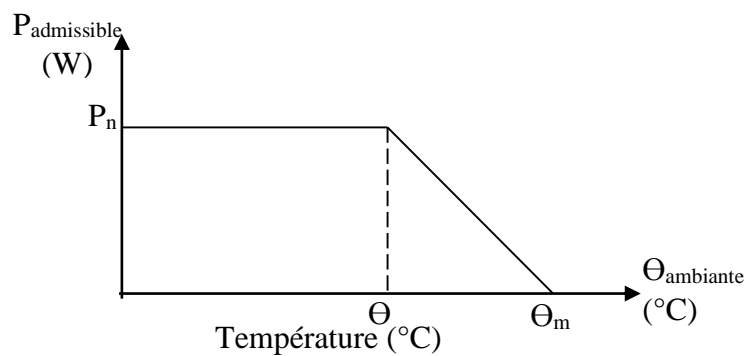
Θ : température de la résistance

Θ_a : température ambiante

K : coefficient de dissipation dépendant du matériau et de l'état de surface.

S : surface de contact entre la résistance et le milieu ambiant.

La puissance nominale P_n est la puissance que peut supporter en permanence une résistance, tant que la température ambiante Θ_a ne dépasse pas la température nominale Θ_n (25°C ou 70°C). Au-delà de cette température, la résistance ne peut plus supporter P_n . Les puissances les plus souvent rencontrées sont : 1/8W, 1/4W, 1/2W, 1W, 2W, 10W, ..., 100W, ...



Θ_m : c'est la température ambiante maximale de fonctionnement, à laquelle l'élément ne doit plus dissiper d'énergie.

7.6 Bruit thermique

Le bruit thermique, généré par le passage d'un courant dans la résistance, est également nommé bruit de résistance, bruit Johnson ou bruit de Johnson-Nyquist. Il est le bruit produit par l'agitation thermique des électrons dans une résistance électrique en équilibre thermique.

Le bruit thermique est un bruit blanc dont la densité spectrale de puissance dépend uniquement de la valeur de la résistance. Le bruit thermique peut être modélisé par une source de tension en série avec la résistance qui produit le bruit. Il dépend de la technologie employée pour fabriquer la résistance (carbone, céramique, couche métallique).

7.7 Tension nominale U_n et tension maximale U_c

La tension nominale U_n est déterminée par la puissance dissipée et la valeur de la résistance nominale.

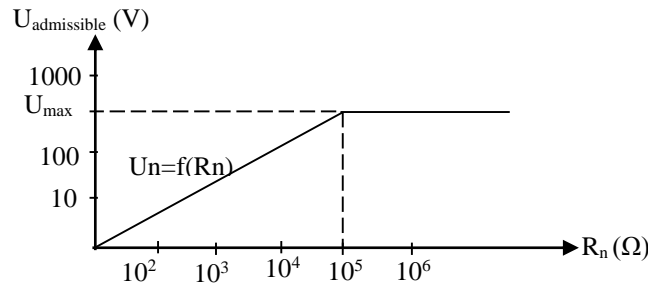
$$P_n = \frac{U_n^2}{R_n} \Rightarrow U_n = \sqrt{P_n \cdot R_n} \quad (13)$$

Exemple

$$R_n=2K\Omega \text{ et } P_n=2W \text{ donc } U_n = \sqrt{2 \times 2 \cdot 10^3} = 63.2456V.$$

$$R_n=1M\Omega \text{ et } P_n=2W \text{ donc } U_n = \sqrt{2 \times 1 \cdot 10^6} = 1414V.$$

Pour des valeurs de R_n élevées, la relation précédente conduit à des tensions U_n importantes. Il y a alors risque de détérioration par claquage de la résistance à cause de la surtension. Il est donc nécessaire d'imposer une limite supérieure de tension U_C , et cela pour chaque modèle (série et technologie de la résistance) fabriqué.

**7.8 Coefficient de température**

C'est la variation relative de la résistance par rapport à la température. Il s'exprime en $10^{-6}/^{\circ}C$ soit $10^{-4}\%/^{\circ}C$, ou p.p.m/ $^{\circ}C$ (partie par million / $^{\circ}C$).

$$C_T = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta \theta} \quad (14)$$

7.9 Coefficient de tension

C'est la variation relative de la résistance par rapport à la tension à ces bornes, qui peut être observée pour certaines technologies. Il s'exprime en p.p.m/V.

$$C_v = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta V} \quad (15)$$

7.10 Influence de la fréquence

Lorsqu'est utilisée à des très hautes fréquences, le composant peut avoir des comportements spéciaux : capacitif, inductif. Ceux-ci dépendent de la géométrie de la résistance et de ses connexions.

- Facteur de bruit

Le bruit est un signal aléatoire parasite de faible niveau qui vient perturber le signal utile. Il est dû à l'agitation thermique des molécules (bruit blanc, de très faibles valeurs), et au passage du courant dans les matériaux. Il est exprimé en $\mu V/V$.

8 Choix des résistances

8.1 Principaux critères de sélection

La technologie de base doit être choisie en fonction des trois critères généralement considérés comme étant les plus importants, à savoir :

- La classe de précision= tolérance initiale + stabilité + coefficient de température ;
- La dissipation ;
- La valeur ohmique nominale.

Tableau 4. Différentes classes de précision

Classe	Tolérance (%)	Dérive max. en endurance (%)	Coefficient de température max. ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Haute précision	0.01, 0.025, 0.05 , 0.1	0.05 , 0.1	± 5 , ± 10
Précision	0.1, 0.25, 0.5	0.25, 0.5	± 10 , ± 25
Semi-précision	1, 2, 5	1, 2 , 5	± 50 , ± 100 , ± 200 , $\pm 200 / -500$
Usage courant	5, 10, 20	5, 10, 20	$+200/-500$, ± 1000 , ± 2500

Tableau 5 : codes associés aux limites du coefficient de température d'après la norme NFC 90510

p.p.m/ $^{\circ}\text{C}$	± 5	± 10	± 25	± 30	± 50	± 100	± 200	+200 -500	± 1000	± 2500
Code	N	F	E	S(*)	C	K	U	D	A	B

(*) Uniquement pour les résistances bobinées.

8.2 Guide de sélection

Tableau 6. Guide de sélection d'une résistance

Classe de précision	Dissipation	Valeurs faibles	Ohmiques moyennes	Nominales élevées
---------------------	-------------	-----------------	-------------------	-------------------

Haute précision 0.01 à 0.1%	Faible $\leq 3W$ à $70^{\circ}C$	Pas de modèle courant	Bobinées Feuilles métalliques	Bobinées
Précision 0.1 à 0.5%	Fort $\geq 3W$ à $70^{\circ}C$	Bobinées	Bobinées	Pas de modèle courant
	Faible $\leq 3W$ à $70^{\circ}C$	Bobinées	Bobinées Couches métalliques	Couches métalliques
Semi-précision 1 à 5%	Fort $\geq 3W$ à $70^{\circ}C$	Bobinées	Bobinées, couche à oxyde métallique	Pas de modèle courant
	Faible $\leq 3W$ à $70^{\circ}C$	Bobinées	Bobinées, couches métalliques, oxyde métallique, carbone pyrolytique, cermets	couches métalliques, oxyde métallique, carbone pyrolytique, cermets
Usage courant 5 à 20%	Fort $\geq 3W$ à $70^{\circ}C$	Bobinées	Bobinées	Pas de modèle courant
	Faible $\leq 3W$ à $70^{\circ}C$	Bobinées	Bobinées, carbone aggloméré	carbone aggloméré

9 Lecture de la valeur d'une résistance

Les résistances sont en générale identifiées par différents anneaux de couleurs tracés sur le corps du composant qui indiquent la valeur nominale et la tolérance. Les éléments ordinaires de tolérance 5% ou 10% comportent quatre anneaux. Tandis que les éléments de précisions de tolérance 1% ou 2% ont cinq anneaux. Suivant la série dans laquelle une résistance est choisie, il faudra 2 ou 3 chiffres significatifs pour exprimer la valeur normalisée de la résistance en plus du coefficient multiplicateur.

9.1 Code des couleurs

Tableau 7. Marquage des résistances par le code des couleurs

	Chiffre significatif (2 ou 3 chiffres)	Coefficient multiplicateur	Tolérance
Noir	0	$10^0=1$	20 %
Marron	1	$10^1=10$	1 %
Rouge	2	$10^2=100$	2 %
Orange	3	$10^3=1000$	
Jaune	4	$10^4=10k$	
Vert	5	$10^5=100k$	$\pm 0.5\%$
Bleu	6	$10^6=1M$	$\pm 0.25\%$
Violet	7	$10^7=10M$	$\pm 0.1\%$
Gris	8		
Blanc	9		
<i>Argent</i>		$10^{-2}=0.01$	10 %
<i>or</i>		$10^{-1}=0.1$	5 %

Un moyen mnémotechnique pour se souvenir de l'ordre des couleurs dans le code couleur des résistances est de connaître la phrase suivante : "*Ne Manger Rien Ou Jeûner Voilà Bien Votre Grande Bêtise*" ou encore "*Ne Mangez Rien Ou Je Vous Brûle Votre Grande Barbe*", et une dernière phrase "*Ne Mangez Rien Ou Je Vous Bats violemment Gros Bêta*" est intéressante car elle permet de repérer la position du violet à travers le mot "violemment". Chaque initiale correspond à la première lettre de chaque couleur.

Exemples :

- Dans la série E₁₂, les valeurs normalisées vont de 10 à 82 ; 2 chiffres suffisent donc pour décrire cette valeur.
- Dans la série E₄₈, les valeurs normalisées vont de 105 à 953 ; il faudra alors 3 chiffres pour indiquer les valeurs.

9.1.1 Résistance à 4 anneaux

Une résistance de la série E₁₂ sera donc marquée par 2 anneaux de couleurs exprimant la valeur normalisée de la résistance, et 1 anneau de couleur indiquant la tolérance de la résistance. Les résistances à couche de carbone ou agglomérée sont marquées par 4 anneaux.

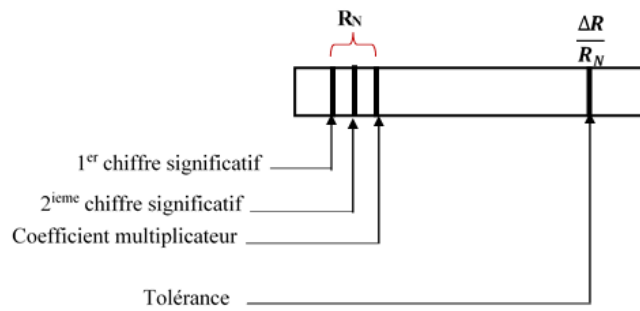
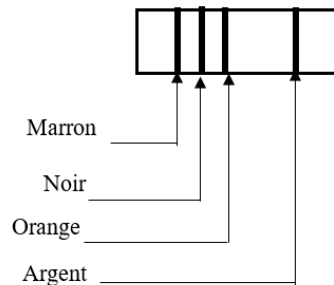


Figure 2. Résistance à 4 anneaux 5% ou 10%

Exemples

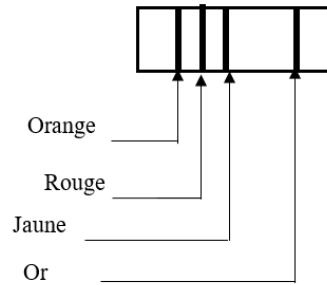


R1

Valeur de R1

Marron=1 et noir=0, donc la valeur significative est 10. Orange =3, il faut donc ajouter 3 zéros après la valeur significative. Ce qui donne la valeur nominale de $R1 = 10000\Omega$, soit 10 K Ω .

L'anneau de la tolérance est de couleur argent. Ce qui signifie que la tolérance est de 10%



R2

Valeur de R2

Orange=3 et rouge=2, donc la valeur significative est 32. Jaune = 4, il faut donc ajouter 4 zéros après la valeur significative. Ce qui donne la valeur nominale de $R2 = 320000\Omega$, soit 320 K Ω .

L'anneau de la tolérance est de couleur or. Ce qui signifie que la tolérance est de 5%

9.1.2 Résistance à 5 anneaux

Les résistances à couches métalliques possèdent 5 anneaux colorés comme le montre la figure 3.

Une résistance de la série E₄₈ sera marquée par 3 anneaux de couleurs exprimant la valeur normalisée de la résistance, 1 anneau de couleur indiquant le coefficient multiplicateur de cette valeur normalisée, et un 5^{ième} anneau de couleur indiquant la tolérance.

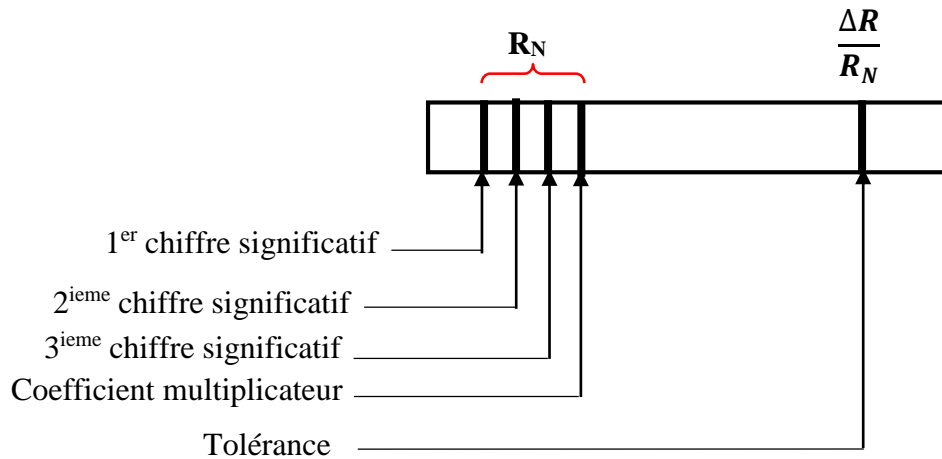


Figure 3. Résistance à 5 anneaux 1% ou 2% (résistance de précision)

Remarque

Le nombre d'anneaux de couleurs 4 ou 5 inscrit sur une résistance dépend de la précision de la valeur normalisée de la résistance, et donc de la série à laquelle appartient la résistance.

En pratique, la lecture d'une résistance commence par le premier anneau situé le plus près de l'extrémité du corps. Pour les résistances ayant un anneau indiquant une tolérance (le plus souvent Or ou Argent), la lecture commence à l'opposé de celui-ci.

De plus, l'anneau du coefficient multiplicateur peut être directement interprété comme le nombre de zéros à ajouter après la valeur normalisée.

Exemple : soit une résistance dont la valeur normalisée est 27 (1^{er} anneau **rouge** et 2^{ième} anneau **violet**), et dont l'anneau indiquant le coefficient multiplicateur (le 3^{ième} anneau) est l'**orange**. Dans le code des couleurs la couleur orange exprime le chiffre 3 : il suffit donc d'ajouter 3 zéros à la valeur normalisée 27 pour obtenir la valeur nominale de la résistance. Notre résistance a donc une valeur de $27000\Omega = 27 \cdot 10^3\Omega = 27 \text{ K}\Omega$.

Autre exemple

- Quelle est la couleur des anneaux sur une résistance de 680 K Ω .

Réponse : 680 K Ω s'écrit 68 suivi de 4 zéros : il faut donc coder les chiffres 6, 8 et 4. Les anneaux colorés sur une résistance de 680 K Ω seront donc de couleur bleu pour le 6, gris pour le 8 et jaune pour le 4. La résistance sera représentée par les anneaux suivant : bleu, gris et jaune.

9.1.3 Résistances à 6 anneaux

Les résistances de précision à couche métallique haute stabilité contiennent six anneaux colorés. 3 chiffres significatifs, le 4^{ème} anneau pour le coefficient multiplicateur, le 5^{ème} anneau pour la tolérance et le 6^{ème} pour le coefficient de température.

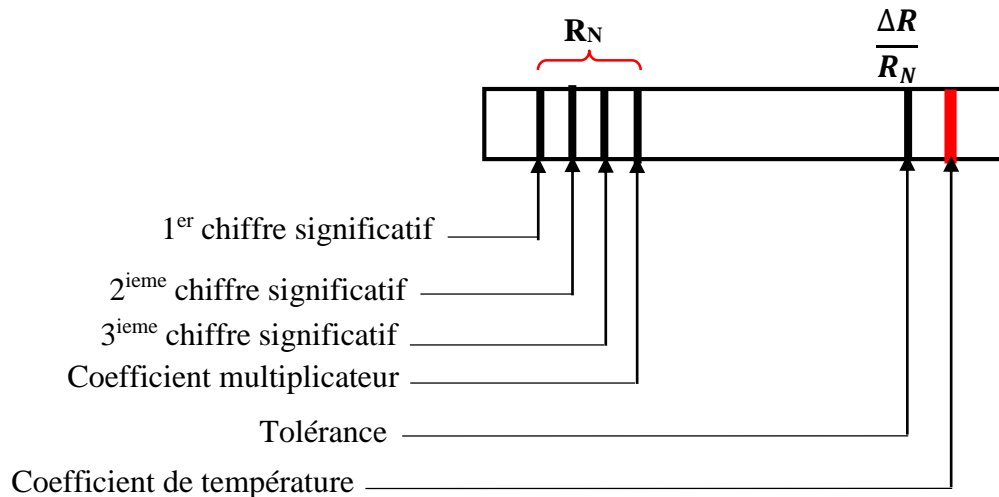


Figure 4. Résistance à 5 anneaux 1% ou 2% (résistance de précision)

Le code des couleurs pour le coefficient de température est mentionné sur le tableau 8.

Tableau 8. Code de couleur de coefficient de température d'une résistance.

Couleur	Noir	Marron	Rouge	Orange	Jaune
Coefficient de température (ppm/°C)	±200	±100	±50	±15	±25

Remarque

Plus la tolérance est faible plus la résistance est fiable.

Exemples

Exemple 1

Une résistance à 4 anneaux de couleurs marron, vert et rouge. Le 4^{ème} anneau un peu séparé des 3 premiers anneaux est en Or.

- 1- Donner la valeur de la résistance nominale
- 2- Calculer la tolérance absolue
- 3- Donner la valeur réelle de R.

Réponse

1- Calcul de R_N

1^{er} chiffre significatif = marron=1 ;

2^{ième} chiffre significatif = vert=5 ;

Multiplicateur = rouge=100= 10^2 ;

$R_N=1500 \Omega=1.5 \text{ K}\Omega$.

2- Calcul de la tolérance absolue ΔR

La tolérance relative = or =5%=0.05.

$$\frac{\Delta R}{R_N} = 0.05 \Rightarrow \Delta R = R_N \times 0.05.$$

$$\Delta R = 1.5 \times 0.05 = 0,075 \text{ K}\Omega = 75\Omega.$$

$$R = R_N \pm \Delta R = (1.5 \pm 0.075)\text{K}\Omega.$$

Exemple 2

Une résistance à 5 anneaux colorés comme suit : vert, bleu, rouge et marron. Le 5^{ième} anneaux éloigné des 4 premiers est rouge.

1- Donner la valeur de la résistance nominale

2- Calculer la tolérance absolue

3- Donner la valeur réelle de R.

Réponse1- Calcul de R_N

1^{er} chiffre significatif = vert=5 ;

2^{ième} chiffre significatif = bleu=6 ;

3^{ième} chiffre significatif = rouge=2 ;

Multiplicateur = marron=1= 10^1 ;

$R_N=5620 \Omega=5.62 \text{ K}\Omega$.

2- Calcul de la tolérance absolue ΔR

La tolérance relative = rouge =2%=0.02.

$$\frac{\Delta R}{R_N} = 0.02 \Rightarrow \Delta R = R_N \times 0.02.$$

$$\Delta R = 5.62 \times 0.02 = 0.1124 \text{ K}\Omega = 112,4\Omega.$$

$$R = R_N \pm \Delta R = (5.62 \pm 0.112)\text{K}\Omega.$$

Exemple 3

Une résistance à 6 anneaux colorés comme suit : Jaune, violet, vert et marron. Le 5^{ième} anneau marron et le 6^{ième} anneau est rouge.

- 4- Donner la valeur de la résistance nominale
- 5- Calculer la tolérance absolue
- 6- Donner la valeur réelle de R.

Réponse

- 3- Calcul de R_N

1^{er} chiffre significatif = jaune=4 ;

2^{ième} chiffre significatif = violet=7 ;

3^{ième} chiffre significatif = vert=5 ;

Multiplicateur = marron=1= 10^1 ;

$$R_N = 4750 \Omega = 4.750 \text{ K}\Omega.$$

- 4- Calcul de la tolérance absolue ΔR

La tolérance relative = marron = 1% = 0.01.

$$\frac{\Delta R}{R_N} = 0.01 \Rightarrow \Delta R = R_N \times 0.01.$$

$$\Delta R = 4.750 \times 0.01 = 0.0475 \text{ K}\Omega = 47.5\Omega.$$

$$R = R_N \pm \Delta R = (4.750 \pm 0.0475)\text{K}\Omega.$$

Le 6^{ième} anneau = rouge = 50 ppm/°C représente le coefficient de température.

10 Les différents types de résistances

Il existe quatre grands types de résistances: Agglomérées, à couches de carbone, à couche métallique et bobinées.

10.1 Les résistances agglomérées

La résistance agglomérée est la plus ancienne. Elle est fabriquée à partir de poudre de carbone mélangée à un isolant (silice) et à un liant (bakélite) et entouré d'un enrobage.

Tous ces constituants réduits en poudre et agglomérées à chaud et isolés dans un tube plastique ou de céramique. Le pourcentage de carbone détermine la valeur de la résistance. Peu couteuse et robustes. Les résistances agglomérées sont peu précises, et aujourd'hui leur construction est presque abandonnée. Sa tolérance est de 20% (sans anneau de tolérance) ou de 10% (anneau en argent). Elle est non inductive mais assez bruyante. Elle existe en différentes puissances. Ce type de résistance n'est plus guère utilisé, à cause de leurs très mauvaises performances.

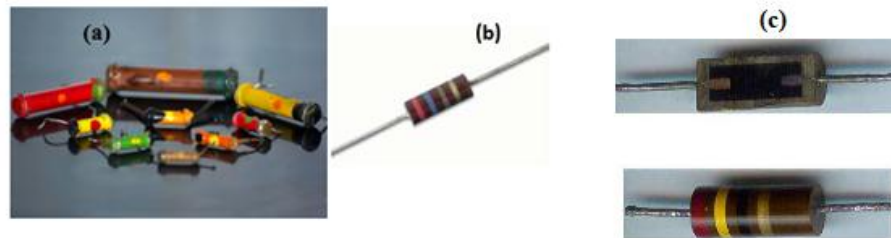


Figure 5. Résistances agglomérées : (a) Résistances anciennes (vers 1950) : même code de couleurs en lisant du plus grand au plus petit : corps, bout, point, (c) coupe d'une résistance agglomérée.

Ces résistances étaient constituées d'un bâtonnet de carbone aggloméré. Un fil de connexion est enroulé à chaque extrémité. Leur valeur est donnée par un code de couleur qui se lit dans l'ordre : corps, extrémité, point. Le point est le multiplicateur. Leur tolérance était généralement de 20 % ou de 10 % si l'autre extrémité était argentée. La puissance que pouvaient dissiper ces résistances dépendait de leur taille. Par exemple, une résistance quart de watt (1/4 W) avait un diamètre de 5 mm et une longueur de 18 mm. Ce type de résistance a été développé dès le début de la radio et abandonné dans les années 1950. Seul, leur code de couleurs a été conservé sous la forme d'anneaux.

-Caractéristiques de cette résistance

La puissance dissipée par la résistance est de 0.25 watts à 0 .5 watts. La tolérance 5%, 10% et 20%. Tension maximale admissible 500 à 700 V dc (en continu).

10.2 Résistance à couche de carbone

La résistance à couche de carbone est constituée d'une très fine couche de carbone déposée sur un barreau isolant en céramique et recouverte d'une couche de vernis. La valeur est ajustée en creusant la couche de carbone en forme hélicoïdale. Elle existe soit avec deux bagues de connexion, les connexions étant soudées directement aux extrémités (plus fiable mais plus fragile).

De par sa conception, elle possède en plus une certaine self-induction (bobine). Elle est moins bruyante et plus stable que la résistance agglomérée. C'est la plus courante et la moins chère.

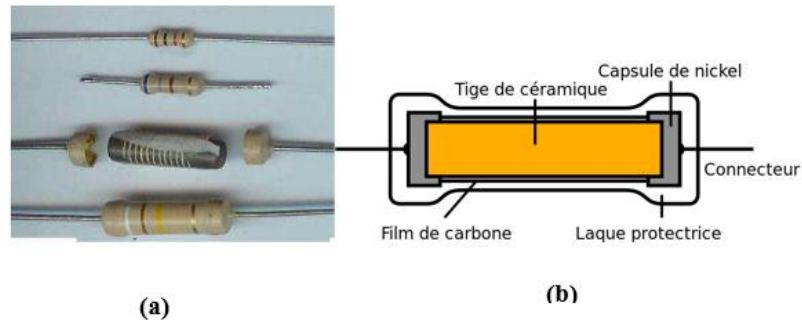


Figure 6. (a) Photo de quelques résistances à couche de carbone, (b) Vue de coupe d'une résistance à couche de carbone.

Les résistances à couche de carbone ont une stabilité et une précision moyenne, leur puissance nominale dissipée peut varier de 1/8 W à 2 W selon leurs dimensions, et elles sont de loin les résistances les plus répandues.

-Autre résistances à couche de carbone de puissance

Puissance	Dimensions
1/4 W	2,5mm x 7mm
1/2 W	8mm x 10,3mm
1 W	5mm x 10,5mm
2 W	5mm x 15 mm

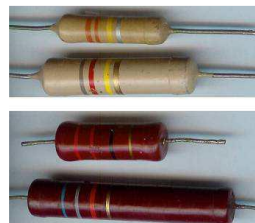


Figure 7. Résistance de puissance à couche de carbone

10.3 Résistance à couche métallique

La résistance à couche métallique est constituée, en général, d'un film métallique déposé sous vide sur un barreau isolant en céramique. La valeur est ajustée en creusant la couche de métal en forme hélicoïdale comme il est montré la figure 8. Elle existe soit avec deux bagues de connexion fixées aux extrémités comme la résistance R_1 de la figure 8. Soit sans bague de connexion, les connexions étant soudées directement aux extrémités (plus fiable mais plus fragile comme il est montré sur la résistance R_4 de la figure 8.

De par sa conception, elle possède en plus une self-induction (bobine). Elle est moins bruyante que la résistance agglomérée et celle à couche de carbone. Elle est en général, plus précise et a un coefficient de température moindre mais elle est plus chère.

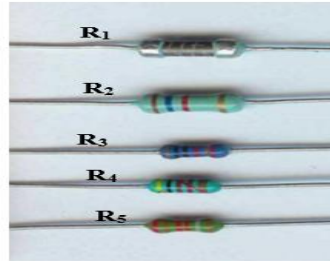


Figure 8. Photo de quelques résistances métalliques.

10.4 Résistance bobinée de puissance

La résistance bobinée est une résistance de puissance, en général, constituée d'un support cylindrique en céramique (ou autre) sur lequel a été bobiné en spires non jointives un fil résistant. De par sa conception, ce type de résistance est dotée d'une caractéristique inductive importante ce qui ne la prédestine qu'à une utilisation aux basses fréquences.



	RB57 Ø9,5 mm x 28 mm max Ø5 mm x 26mm nominal	Puissance 6,5W à 25° 6,6W à 70° P. Max 10W Tension de service 200V Tolérance 5%	Série E12
	RB58 Ø9,5 mm x 46 mm max	Puissance 11W à 25° P. Max 16W Tension de service 400V Tolérance 5%	Série E12
	RB59 Ø6 mm x 14 mm max	Puissance 3W à 25° 2,6W à 70° P. Max 5,5W Tension de service 100V Tolérance 5%	Série E12
	RB60 Ø7,5 mm x 34 mm max	Puissance 8W à 25° P. Max 6W Tension de service 250V Tolérance 5%	Série E12
	RB61 Ø5,5 mm x 22 mm max	Puissance 5W à 25° P. Max 16W Tension de service 160V Tolérance 5%	Série E12

Figure 9. Représentation de quelques résistances bobinées.

10.5 Résistance ajustable

La résistance ajustable ou le potentiomètre ajustable (Trimmer en Anglais) est un composant dont on peut varier la valeur de sa résistance en déplaçant un contact mobile (wiper en anglais) sur une piste résistante en carbone ou en métal grâce à un dispositif (vis de réglage) accessible de l'extérieur. Elle permet en phase finale de régler l'appareil fabriqué pour compenser la tolérance des composants utilisés (précision des composants).

La résistance ajustable possède deux connexions externes, elle a été très peu fabriquée.

Le potentiomètre ajustable existe sous diverses formes :

Deux grandes types de pistes : piste de carbone sur un support en résine (modèle économique) et à piste cermet (substrat céramique) plus stable.

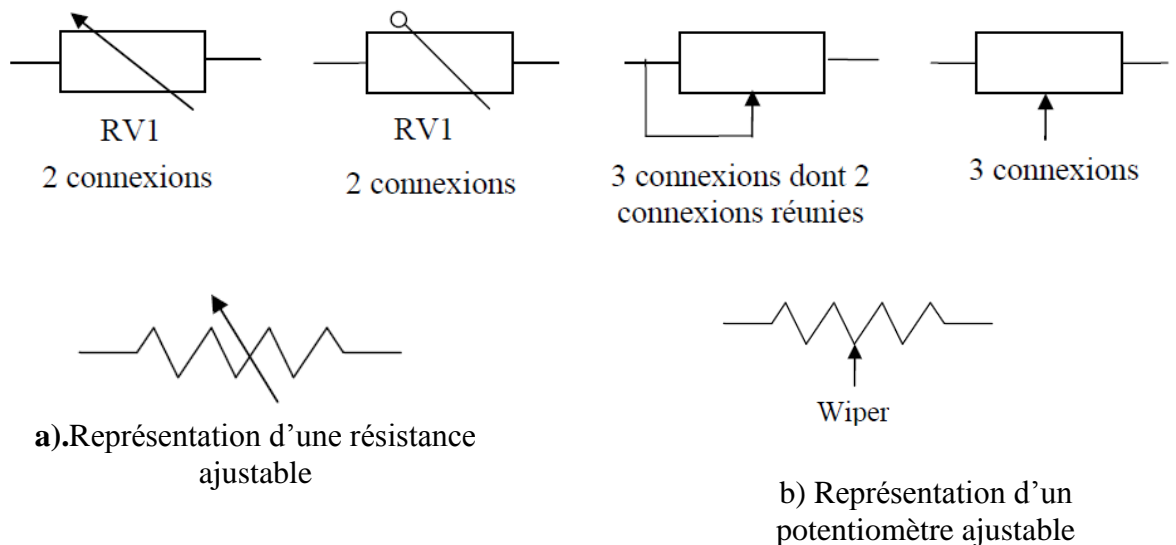
Sans capot ou capoté (plus fiable et stable, à l'abri de l'humidité et éléments externes).

Mono tour ou multi tours (10, 12, 15, 18, 20 ou 25 tours) pour des réglages précis.

Format classique ou format CMS.

Variation courbe de la piste : à variation linéaire ou logarithmique.

- Symbole de la résistance et du potentiomètre ajustable (norme européenne)



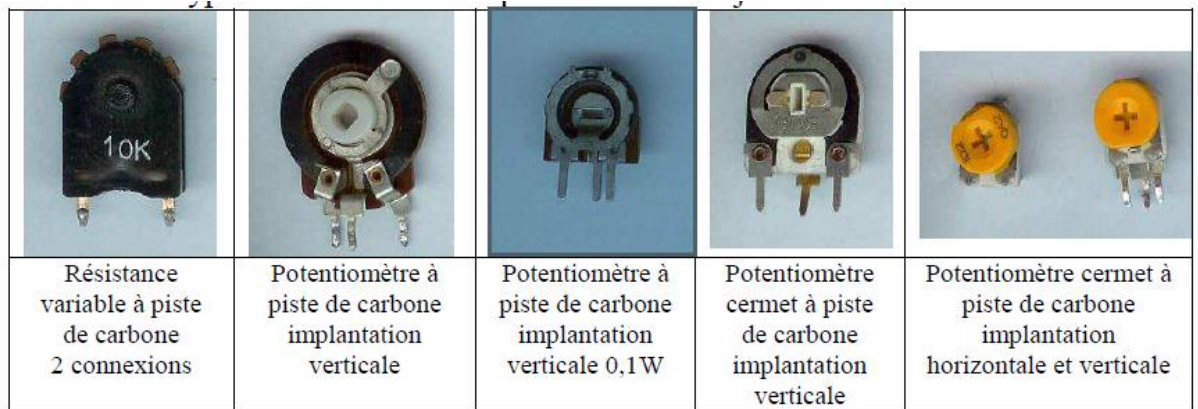


Figure 10. Différents types de résistances et de potentiomètres ajustables.

10.6 Les résistance CMS

La résistance montée en surface fait partie des *composants montés en surface* (CMS). Ce sont des composants miniatures, sans fils de connexion, et directement soudés sur le circuit imprimé. Ces résistances permettent une intégration importante (gain de place) et sont recommandées dans le domaine des très hautes fréquences du fait d'une inductance parasite très faible (dimensions réduites sans fils de connexion). Par contre, elles sont difficiles à manipuler et à souder pour un amateur ne disposant pas d'un matériel industriel adéquat. La valeur de la résistance est indiquée suivant le code de marquage sauf pour les plus petites qui n'ont plus de marquage.

Les résistances *CMS* sont marquées d'un code numérique de trois ou quatre caractères comme il est montré sur la figure 11.

- Avec le marquage à trois caractères, les deux premiers sont les chiffres de la valeur, le troisième est le chiffre du multiplicateur en puissance de dix ; pour les valeurs inférieures à 10 la position du séparateur décimal est représenté par la lettre R.
- Avec le marquage à quatre caractères, les trois premiers sont les chiffres de la valeur, le quatrième est le chiffre du multiplicateur en puissance de dix ; pour les valeurs inférieures à 100 la position du séparateur décimal est représenté par la lettre R.



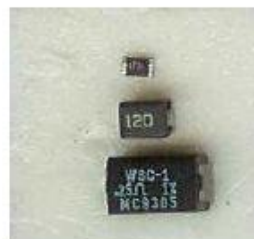
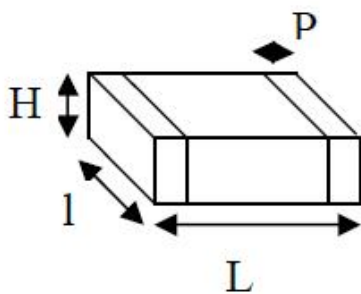
Figure 11. Résistance montée en surface CMS.

Tableau 9. Exemples de marquage de résistance CMS

Valeur	3 caractères	4 caractères
0,01 ohm	R01	0R01
0,22 ohm	R22	0R22
1,5 ohm	1R5	1R50
15 ohm	150	15R0
100 ohms	101	100R
4,7 kilohms	472	4701
12 mégaoohms	126	1205



Modèle ancien, valeur indiquée par le code des couleurs



← Marquée 4751 = 4,750 kΩ
 ← Marquée 120 = 12Ω
 ← Marquée en clair = 0,25 Ω

Tableau 10. Exemples de résistances CMS.

Boîtier Code	Puissance	L mm	l mm	H mm	P mm	Tension
0201	1/20 W	0,6	0,3	0,12		15 V
0402	1/16 W	1,0	0,5	0,35		25 V
0603	1/10 W	1,6	0,8	0,5 à 1,2	0,25 à 0,65	75 V
0805	1/8 W	2	1,25	0,5 à 1,4	0,25 à 0,75	100 V
1206	1/4 W	3,2	1,6	0,55 à 1,6	0,25 à 0,85	150 V
1210	1/3 W	3,2	2,5	0,56		200 V
2010	1/2 W	5,0	2,5	0,56		
2512	1 W	6,3	3,2	0,56		

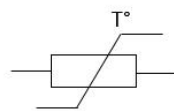
10.7 La thermistance

La thermistance est une résistance particulière dont la valeur de la résistance varie en fonction de la température. Elle est classée en deux catégories :

CTN : résistance à coefficient de température négative dont la valeur de la résistance diminue lorsque la température augmente

CTP : résistance à coefficient de température positif dont la valeur de la résistance augmente lorsque la température augmente.

La thermistance peut être utilisée pour mesurer la température à l'intérieur d'un appareil ou d'un radiateur d'un amplificateur et déclencher une ventilation forcée (ventilateur) à partir d'un certain seuil de température. Pour des mesures précises de température on utilise d'autres composants qui sont des composants actifs à base de semi-conducteurs.



Symbole d'une thermistance



Exemples de thermistance

Figure 12. Les thermistances.

10.8 La photorésistance

La photorésistance est une résistance particulière, parfois à base de sulfure de cadmium (CdS), dont la valeur de la résistance varie en fonction de l'intensité lumineuse reçue. La valeur de la résistance diminue quand la luminosité augmente et peut varier de

quelques Mégaohms à quelques centaines d'ohm en pleine luminosité. Le temps de réponse est moyen. Actuellement, elle est remplacée par des éléments plus rapides et disponibles telle la photodiode ou le phototransistor.

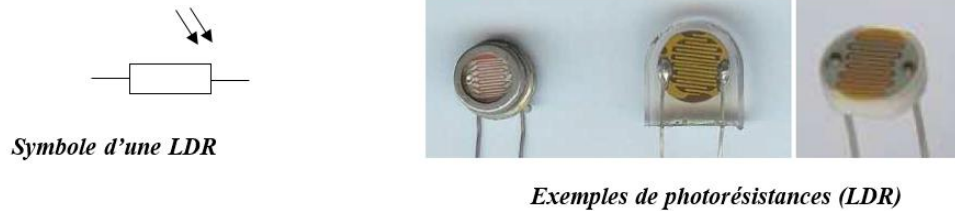


Figure 13. Les photorésistances et leurs symboles.

10.9 La varistance-VDR (voltage dependent resistor)

La varistance (Varistor en anglais) est une résistance à base d'oxyde métallique, dont la valeur varie en fonction de la tension appliquée à ses bornes (figure 14). La valeur de la résistance diminue quand la tension augmente à partir d'une tension de seuil et protège ainsi le montage d'une surtension. Elle est capable d'absorber les courants très importants (100 A à 1000 A) pendant une courte durée (8 à 20 μ S).



Figure 14. Les varistances

11 Domaines d'utilisation

Lorsqu'une résistance est placée dans un circuit électrique on obtient deux types de phénomènes :

La résistance a une influence sur l'intensité du courant électrique, plus la résistance est élevée et plus l'intensité est faible.

Cette influence sur le courant est mise à profit dans de nombreux appareils électriques et électroniques pour **modifier l'intensité du courant**. Elles permettent de protéger les dipôles qui ne supportent pas des intensités trop élevées. Dans ce cas les résistances servent à réguler l'intensité du courant électrique.

La résistance parcourue par un courant se met alors à chauffer. Ce phénomène peut être gênant et non souhaité dans certains cas mais il peut être mis à profit pour produire de la chaleur. On trouve ainsi des résistances dans les fours électriques, les radiateurs électriques, les sèche-cheveux, les fers à repasser.

Les résistances sont rencontrées dans tous les montages électroniques dans des configurations très diverses.

- Fixer un courant
- Diviseur de tension
- Polarisation d'une diode
- Polarisation d'un amplificateur à transistor

12 Comment tester une résistance

La valeur d'une résistance est mesurée en utilisant un ohmmètre ou un multimètre sur la position ohmmètre.

- Pour une forte valeur, ne pas mettre les doigts sur les contacts de la résistance et/ou des cordons de mesure car cela rajoute en parallèle, sur le composant en test, la résistance de votre corps (100 K Ω) et cela fausse la mesure.
- Pour une faible valeur, prendre des cordons de mesure aussi courts que possible et tenir compte de la résistance de ceux-ci en le retranchant de la valeur affichée. Pour ceux qui possèdent un milli ohmmètre faire une mesure 4 fils.

Lors de la réalisation d'un montage, il est préférable de vérifier à l'ohmmètre, la résistance avant de la souder. En effet, en fonction de la couleur du corps de la résistance, certaines couleurs peuvent être facilement confondues : jaune et orange ou rouge et marron. D'autre part, il est possible de confondre une résistance avec une inductance ou un condensateur ayant la même forme et repérée par un code de couleurs (en général l'inductance est plus renflée sur les bords ou au milieu).

12.1 Défaillances et pannes d'une résistance

On peut dire qu'un composant est défectueux lorsque l'une de ses caractéristiques sort de ses tolérances spécifiques. Les pannes les plus rencontrées sont les courts-circuits (valeur nulle) ou un circuit-ouvert (valeur très grande tend vers l'infini).

Exemple, si une résistance de $5.6\text{ K}\Omega \pm 5\%$ vaut $6\text{K}\Omega$ on peut dire que cette résistance est défectueuse.

Cette défaillance est mineure, puisqu'elle ne cause pas forcément une dégradation des performances du circuit. Un défaut mineur peut devenir majeur si la valeur de la résistance est critique (seuil).

Les défaillances brutales et totales d'une résistance sont :

- La résistance devenant infini donc c'est un circuit-ouvert (rupture du film)
- La résistance tombant à zéro la résistance est devenu un court-circuit.

Ces défauts conduisent généralement à l'effondrement des performances et à des modifications profondes des tensions continues relevées sur le circuit.

Chapitre 2 : Les condensateurs

1 Définition et symboles d'un condensateur

Le condensateur est un composant électronique *passif*. Il est constitué de deux surfaces conductrices appelées armatures métalliques, séparés par un isolant (diélectrique), comme le montre la figure 15.

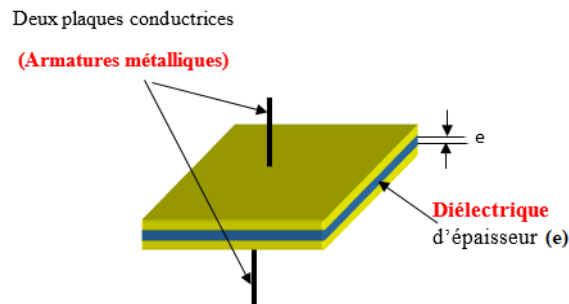


Figure 15. Représentation d'un condensateur plan.

Le diélectrique peut être un gaz tel que l'air, un liquide tel que l'huile, un isolant solide tels que papier, mica, verre, plastique, polyester, ... etc.

- Le symbole d'un condensateur

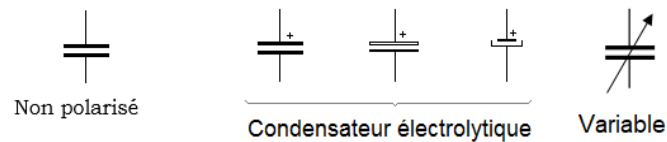


Figure 16. Symbole des différents types de condensateur.

2 Capacité d'un condensateur

La capacité d'un condensateur plan, constitué de deux armatures planes, parallèles de même surface (S) est donnée par :

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{e} \quad (\text{F})$$

C : capacité en farad (F), S : surface des armatures en mètre carré (m²), e : épaisseur du diélectrique en mètre (m), $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ (F/m) = 8.85pF/m est la permittivité du vide, ϵ_r : est la permittivité relative du diélectrique (sans dimensions).

Le farad est une unité trop grande pour les condensateurs usuels, on utilise ces sous multiples.

Tableau 11 . Les sous multiple de farad

Sous multiple de farad	En farad (F)
Microfarad (μF)	10^{-6} F
Nanofarad (nF)	10^{-9} F
Picofarad (pF)	10^{-12} F

3 Quantité d'électricité emmagasinée

A la mise sous tension, une quantité d'électricité Q a été stockée dans le condensateur. Il y a proportionnalité entre la quantité d'électricité emmagasinée et la tension U aux bornes du condensateur. Le coefficient de proportionnalité entre Q et U est appelé capacité (C).

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = C \cdot U$$

Q : quantité d'électricité emmagasinée s'exprime en coulombs (C).

U : tension aux bornes de C s'exprime en volts (V).

C : capacité en coulombs par volts ou Farads (F).

- Exercice d'application

Les caractéristiques d'un condensateur sont les suivantes : $C=4\mu\text{F}$, $U_{\max}=250\text{V}$.

- Quelle quantité d'électricité maximale peut-il stocker ?

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = C \cdot U$$

$$Q = 4 \cdot 10^{-6} \times 250 = 10^{-3} \text{ C.}$$

4 Énergie emmagasinée

Le condensateur a la particularité de stocker (emmagasiner) de l'énergie électrique lorsqu'il est polariser par une tension U . l'énergie emmagasinée est proportionnelle à Q .

$$W = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot (U \cdot U) = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \text{ en Joule (J).}$$

Avec U est la tension appliquée aux bornes du condensateur en volts (V), C : capacité du condensateur en farad (F).

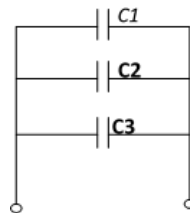
Exercice

- Calculer l'énergie stockée par un condensateur de capacité $C=47 \text{ nF}$ chargé sous une tension $U=250 \text{ V}$.
- $W = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = 1.47 \text{ mJ}$.

5 Association des condensateurs**5.1 Capacités en parallèles**

Si n condensateurs sont connectés en parallèles, le condensateur équivalent a pour valeur la somme des capacités de chaque condensateur.

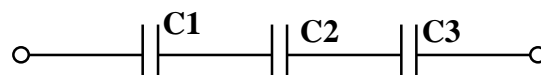
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



En reliant deux condensateurs $C_1=8200\text{pF}$ et $C_2= 5600\text{pF}$ en parallèle on obtient :

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

$$C_{eq} = 8200 + 5600 = 13\,800 \text{ pF}$$

5.2 Capacités en série

Si n condensateurs sont connectés en série, la capacité équivalente est donnée par :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Dans le cas de deux condensateurs en série :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

En reliant deux condensateurs en série, la valeur de la capacité globale sera inférieure à celle du condensateur ayant la capacité la plus faible.

Par exemple : $C_1=8200$ pF et $C_2 = 5600$ pF

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{eq} = \frac{8200 \times 5600}{8200 + 5600} = 3327 \text{ pF}$$

La capacité globale obtenue en reliant ces deux condensateurs en série est inférieure à 5600 pF.

5.3 Association de condensateurs polarisés

Si l'on relie en parallèle *deux condensateurs électrolytiques*, la sortie positive du premier doit être reliée à la sortie positive du second. De même pour leurs sorties négatives. La capacité globale du condensateur augmente, tandis que la tension de travail reste inchangée. Par exemple si on relie en parallèle deux condensateurs de 47 μF ayant une tension de travail de 100 volts, on obtiendra une capacité globale de 94 μF et une tension de travail de 100 volts.

Pour relier deux condensateurs électrolytiques en *série*, il faut relier le négatif du premier au positif du second. La capacité sera réduite, tandis que la tension de travail augmente. Par exemple, si en relie en série deux condensateurs de 47 μF ayant une tension de travail de 100 volts, on obtiendra une capacité globale de 23,5 μF et une tension de travail de 200 volts.

Si on souhaite réaliser un *condensateur non polarisé* mais de grande valeur (100 μF , 1000 μF , etc), on peut associer deux condensateurs chimiques en *parallèle*.

6 Charge et décharge d'un condensateur

A courant constant, la charge du condensateur croît linéairement avec le temps. La tension U aux bornes du condensateur est donnée par:

$$U_c(t) = \frac{I \cdot t}{C} + U_c(0)$$

$U_c(0)$ est la tension aux bornes de C à l'instant $t=0$.

Si $U_c(0)=0$, on aura :

$$U_c(t) = \frac{I \cdot t}{C}$$

6.1 Charge d'un condensateur par un générateur de tension et une résistance

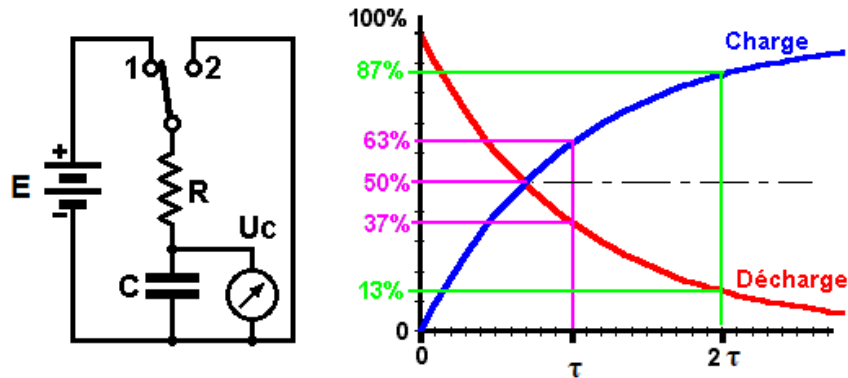


Figure 17. Courbes de charge et de décharge d'un condensateur.

Si le commutateur est sur la position 1, le condensateur est sous tension, et il se charge à travers la résistance R. Lorsque le commutateur est sur la position 2, le condensateur C se décharge à travers R. Le temps de charge ou de décharge est d'autant plus long que :

- La valeur de la résistance est grande.
- La capacité C du condensateur est forte.

L'équation de la charge du condensateur est donnée par :

$$U_C = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$\tau = RC$$

τ : est la constante de temps du circuit, R en ohms (Ω), C en farads (F) et τ en secondes (s).

La décharge du condensateur est obtenue en remplaçant le générateur E par un court-circuit (commutateur est sur la position 2).

L'équation de décharge du condensateur est donnée par :

$$U_C = E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

6.2 Courbe de charge et de décharge d'un condensateur

La figure 17 représente la courbe de la tension aux bornes d'un condensateur qui se décharge dans une résistance (courbe de décharge) ou qui se charge au travers une résistance (courbe de charge). On voit que la courbe de décharge est rigoureusement symétrique à la courbe de charge par rapport à un axe de symétrie horizontal passant par la valeur 50%. À

chaque combinaison RC correspond une seule courbe de charge et de décharge. Le temps nécessaire pour que, lors de la charge, la tension aux bornes du condensateur atteigne 50% de la valeur maximum est déterminée par la valeur de R et de C et ce temps est identique lors de la décharge pour que la tension aux bornes du condensateur diminue de 50%.

6.3 Calcul de la constante de temps graphiquement

En pratique on considère non pas une tension de niveau égale à 50% de la tension maximale mais égale à :

- 63% de la tension maximale lors de la charge
- 37% de la tension maximale lors de la décharge

Le temps nécessaire pour atteindre **63%** de la tension maximale lors de la charge et **37%** de la tension maximale lors de la décharge est appelé la constante de temps (τ).

Au bout d'un temps égale à 5τ , on considère que le condensateur est complètement chargé (ou déchargé) puisque la tension à ces bornes dépasse 99% (ou est inférieure à 1%).

7 Les caractéristiques technologiques d'un condensateur

7.1 La constante diélectrique

La constante diélectrique ϵ_r est comprise entre 1 et 15000 selon les diélectriques. Elle varie en fonction de la fréquence, de la température et de la tension. Les diélectriques à ϵ_r élevées sont plus instables. Ceux à ϵ_r faible sont plus stables. Les variations de ϵ_r imposent des limitations d'emploi des condensateurs.

7.2 Résistance d'isolement

Elle dépend du diélectrique, de l'imprégnation et de la protection. Elle diminue de moitié à chaque élévation de température de 10 à 15 °C, à partir de 20°C. Elle peut atteindre 100000M Ω .

7.3 Courant de fuite et constante de temps

La charge d'un condensateur diminue de 36.8% pendant le temps RC exprimé en seconde (R : résistance de fuite en ohms, C : capacité en farad).

7.4 Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique est la valeur maximum du champ auquel peut être soumis un diélectrique, sans apparition d'un claquage.

Elle est déterminée par la tension qui provoque *le perçage de l'isolant* c'est-à-dire création d'un chemin conducteur entre les deux électrodes. Elle s'exprime en kilovolts en fonction de l'épaisseur du diélectrique. Elle varie avec la température, l'humidité, la forme d'onde de la tension d'essai, de sa fréquence et de sa méthode de mesure. Elle est de l'ordre de plusieurs centaines de kilovolts par millimètres d'épaisseur du diélectrique (kV/mm).

8 Critères de choix d'un condensateur

En électronique, on caractérisera un condensateur par quatre éléments principaux :

- sa valeur nominale ;
- sa tolérance ;
- sa tension maximale de service ;
- sa technologie (impose une fréquence maximale d'utilisation).

En fonction de l'application pour laquelle il est destiné, il sera également nécessaire de prendre en compte la température de fonctionnement, la durée de vie, le courant efficace...

8.1 Valeur nominale et tolérance

La valeur nominale d'un condensateur est la valeur C_n portée par le fabricant, en clair ou en code, sur le corps du condensateur. La tolérance est un pourcentage, en plus et en moins autour de la valeur nominale, que le fournisseur s'engage à respecter. En effet, lors d'une fabrication en série, tous les condensateurs utilisés doivent permettre un fonctionnement normal de l'appareil. Les tolérances les plus courantes sont : $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$ et $\pm 1\%$.

8.2 Tensions limites

8.2.1 Tension nominale U_n ou la tension maximale de service

C'est la tension maximale applicable en utilisation permanent. Il existe une tension limite précisée par le constructeur pour chaque type de condensateur. Si une tension trop importante est appliquée aux bornes du condensateur, le diélectrique se perce et le composant est détruit : c'est le claquage du condensateur. Dans le cas d'une tension complexe (tension alternative superposée à une tension continue), il est nécessaire de vérifier que la tension résultante ne dépasse pas la tension nominale du condensateur.

8.2.2 Tension de pointe U_p

C'est la tension maximale répétitive que le condensateur peut supporter pendant des temps très courts.

Exemple des condensateurs SIC-SAFCO de la figure 18 :

$$U_p > 1.15U_n \quad (U_n < 315 \text{ V}).$$

$$U_p > 1.10U_n \quad (U_n > 315 \text{ V}).$$



Figure 18. Tension U_n et U_p mentionnées sur un Condensateur SIC-SAFCO.

8.3 Coefficient de température d'un condensateur

Le coefficient de température représente la variation relative de la capacité du condensateur correspondant à une variation de température ambiante de 1°C . Elle est généralement exprimée en $10^{-6}/^\circ\text{C}$, ou ppm, et est notée :

$$\alpha_t = \frac{\Delta C}{C \Delta T}$$

La valeur du condensateur s'obtient par la relation :

$$C = C_n(1 + \alpha_t \Delta T)$$

8.4 Puissance dissipée

Un condensateur est de bonne qualité si sa résistance et son inductance parasites tendent vers zéro.

La présence d'une résistance parasite implique inévitablement une dissipation calorifique en fonction de l'intensité efficace alternative qui circule dans le condensateur.

8.5 Durée de vie et fiabilité

Les condensateurs, comme la plupart des composants électroniques, ont une durée de vie limitée. Plusieurs facteurs influent sur cette durée de vie: la tension d'utilisation, le courant efficace et la température de fonctionnement.

Si I_0 est une valeur nominale du courant efficace, recommandé par le constructeur. En fonction de la valeur du condensateur et de sa tension maximale de service. I_0 est très différent d'un condensateur à un autre.

9 Technologie des condensateurs

9.1 Les condensateurs au papier métallisé

Les condensateurs au papier métallisé remplacent avantageusement les condensateurs au papier. Plutôt que de bobiner de feuilles de métal pour créer les armatures du condensateur, on vaporise sous vide un métal (zinc ou aluminium) directement sur le papier. Ce présente de nombreux avantages : les condensateurs sont moins volumineux, et acquièrent une propriété supplémentaire- ils sont pratiquement incalculables.

En effet, si une étincelle traverse le diélectrique dans le cas d'une surtension par exemple, le métal se vaporise, ce qui crée un petit trou mais n'empêche pas le condensateur de fonctionner : c'est l'auto-cicatrisation. Après bobinage du condensateur, on soude à l'étain les électrodes, on imprègne le papier de cire ou d'huile minérale, et on effectue la mise en boîtier.

9.1.1 Avantages des condensateurs en papier

- Condensateurs non inductifs.
- Faible résistance série.
- Auto-cicatrisants.

9.1.2 Inconvénients des condensateurs en papier

- Tolérances élevées.
- Peu performants pour le découplage basse tension
- En voie de disparition

9.2 Les condensateurs électrolytiques ou chimiques

On trouve deux types de condensateurs électrolytiques selon que l'électrolyte est solide ou liquide. Et selon le type du diélectrique on trouve deux types :

- les condensateurs électrochimiques (sous forme cylindrique), sont appelés aussi *électrolytique aluminium*, le diélectrique est Al_2O_3 ;
- les condensateurs *tantale goutte* sous forme de goutte, le diélectrique est Ta_2O_5 .

9.2.1 Les condensateurs électrolytiques à l'aluminium

Pour réaliser les condensateurs électrolytiques à l'aluminium, on bobine ensemble l'anode, qui est en aluminium presque pur mais qui est oxydée (alumine), une couche séparatrice (papier non chloré), la cathode, qui est l'aluminium non oxydé, et une autre

couche de séparateur. Après la mise en boîtier, on ajoute l'électrolyte imprégnant le papier. Cette opération terminée on scelle définitivement le boîtier.

Pour réaliser les condensateurs à électrolytes solides, on procède comme précédemment sauf que le papier est remplacé par un tissu imprégné de nitrate de manganèse. Après passage au four, on obtient un électrolyte sec. Ces condensateurs ont une durée de vie supérieure à celle des condensateurs à électrolyte liquide ; ils admettent des courants efficaces plus importants et sont plus stables en température. La figure 19 montre quelques condensateurs électrolytiques.

Polarisé : c'est-à-dire il y a un sens pour brancher le condensateur. La borne négative est indiquée par des signes (-) sur un côté du condensateur. La valeur de C est indiquée en clair, et la tension de service aussi indiquée en clair.

Leur capacité est très grande devant la capacité des condensateurs en plastiques.

Gamme de valeur : $1\mu F$ à $10mF$.

On trouve des condensateurs *axiaux* (une patte de chaque côté), des condensateurs *radiaux* (les deux pattes du même côté), et les condensateurs à bornes à vis ou à enclenchement. Les condensateurs radiaux sont maintenant les plus courants.

Remarque

Il ne faut pas monter les condensateurs électrochimiques à l'envers sous risque de destruction ; la polarisation inverse entraîne l'augmentation du courant de fuite, provoquant un court-circuit ou l'explosion du condensateur.

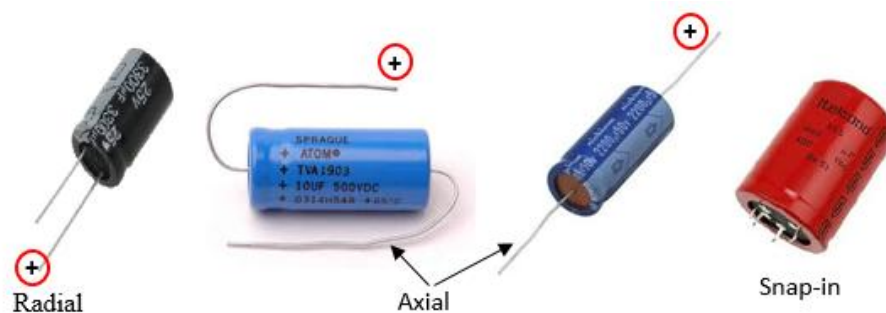
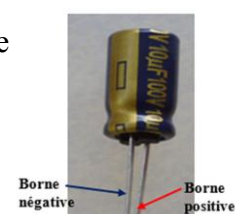


Figure 19. Quelques condensateurs électrolytiques.

Exemple :

C'est un condensateur électrolytique aluminium de capacité nominale $C_n=10\mu F$
Tension de service $v_{max}=100V$



9.2.2 Avantages des condensateurs électrolytiques

- Très grosses capacités.
- Courant efficace important (pour les grosses valeurs de capacité).
- Certains modèles fonctionnent jusqu'à 125°C.

9.2.3 Inconvénients des condensateurs électrolytiques

- Faible tension maximale (électrolyte solide).
- Tension maximale limitée à 600V (électrolyte liquide).
- Tolérances élevées.
- Courant de fuite important.
- Résistance série parfois importante (pour de petites valeurs de capacité).

9.3 Les condensateurs électrolytiques tantale

Le procédé de fabrication est presque identique à celui des condensateurs électrolyte solide, seuls les constituants changent, le diélectrique c'est pentoxyde de tantale Ta_2O_5 . La figure 20 montre quelques condensateurs en tantale.

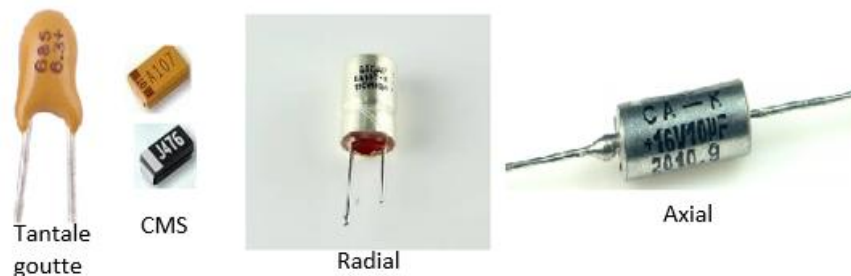


Figure 20. Quelques condensateurs électrolytiques tantale.

Avantages

- Grand rapport capacité/volume.
- Faible courant de fuite.
- Courant impulsionnel important.
- Un long stockage n'altère pas le condensateur.

Inconvénients

- Faible tension maximale.
- Tolérances élevées.

9.3.1 Utilisation des condensateurs en tantale

Ce sont des condensateurs de nature électrochimique. Ces condensateurs remplacent les condensateurs électrolytiques aluminium lorsqu'on souhaite un meilleur comportement en fréquence ou un encombrement moindre. Ces condensateurs ont une forte capacité et une taille réduite, donc ils ne prennent pas une grande surface sur le circuit imprimé.

Ils sont utilisés en basses fréquences comme condensateurs de liaison ou de découplage. Comme son courant de fuite est faible, et sa capacité stable et précise, il est utilisé dans les circuits de temporisation.

Gamme de valeurs : 0.1 μF à 100 μF .

Conseil : ne touchez pas un condensateur électrolytique lorsqu'il est chargé, car vous allez recevoir une décharge électrique.

10 Les condensateurs plastiques (polyester, polycarbonate, polystyrène)

Le plastique, comme le papier, peut être bobiné avec de minces feuilles métalliques qui forment les armatures du condensateur.

Au moment du bobinage, on élimine, grâce à une haute tension, les charges électriques stockées par le plastique. On préfère néanmoins métalliser le plastique, ce qui permet d'avoir des condensateurs auto-cicatrisants, de tailles plus réduite, et de tensions de service plus élevées. En revanche, la tangente de l'angle de perte est plus élevée.

La métallisation est possible pour les polyesters et les polycarbonates, mais pas pour le polystyrène, qui a un point de ramollissement trop bas.

Avantages

- Condensateurs non inductifs.
- Faible angle de perte.
- Auto-cicatrisants pour les condensateurs métallisés.
- Très bonne stabilité et fiabilité (polystyrène et polycarbonate).
- Plage de tolérance assez large.
- Tension de service disponible très élevées (films métallisés).
- Bon rapport qualité/prix.

Inconvénients

- Sensibilité à l'humidité.
- Température d'emploi limitée à 85°C pour le polystyrène.
- Intensité efficace limitée.

10.1 Les condensateurs au polypropylène

Ces condensateurs sont prédisposés aux applications de puissance. Le polypropylène peut être métallisé ou non, en fonction de l'application choisie.

Les condensateurs métallisés ont un excellent comportement en régime impulsionnel (protection des semiconducteurs en électronique de puissance et circuits d'aide à la commutation), les autres sont plutôt utilisés pour la correction de facteur de puissance. Ces condensateurs sont de plus en plus employés, et leur prix de vente a tendance à diminuer.

Avantages

- Condensateurs non inductifs.
- Bonne réponse en régime impulsionnel.
- Faible angle de perte.
- Auto-cicatrisants pour les condensateurs métallisés.
- Plage de tolérance disponible assez large.

Inconvénients

Température de fonctionnement souvent limitée à 85°C.

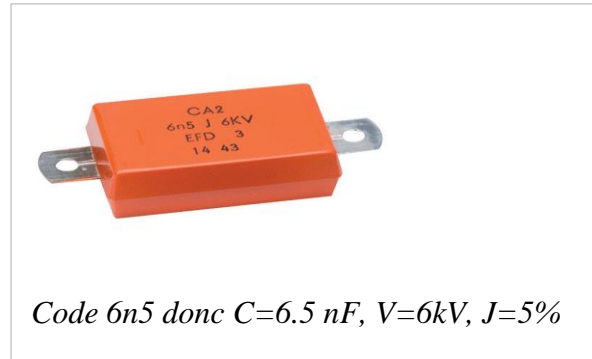
10.2 Les condensateurs au mica

Les condensateurs au mica ne sont plus bobinés. On utilise un mica naturel qui est aminci par clivage jusqu'à des épaisseurs de quelques dizaines de microns. Le mica a des caractéristiques techniques assez exceptionnelles. Il a une résistivité très élevée, une très bonne tenue en température jusqu'à plus de 500°C, et il est bénéficié d'une très grande stabilité.

Les lamelles de mica sont soigneusement nettoyées puis argentées. L'argenture est déposée sur les deux faces, ce qui permet d'avoir un condensateur élémentaire que l'on va empiler à d'autres jusqu'à avoir la capacité désirée.

Avantages

- Condensateurs non inductifs.
- Travail à courant et fréquence élevée.
- Faible angle de perte.
- Très bonne stabilité.
- Température de fonctionnement élevée.

**Inconvénients**

- Plage des valeurs nominale restreinte.
- Prix élevé.

10.3 Les condensateurs en céramique

Les condensateurs en céramique représentés sur la figure 21, sont obtenus par la cuisson au four à une température de l'ordre de 1400°C, d'une patte composée de silicate de magnésie, d'alumine et d'autres nombreux corps qui détermineront les caractéristiques mécaniques et électriques de la plaquette.

Comme pour les condensateurs au mica, les électrodes sont déposées par argenture sur les deux côtés de la plaquette. Le tout est ensuite enrobé dans une résine époxyde ou thermodurcissable. Cette technique ne permet de faire que de condensateurs de petite capacité. Pour augmenter cette dernière, on crée les condensateurs multicouches (figure 21.b).

Comme leurs normes l'indiquent, ces condensateurs consistent, en fait, en un empilement de petits condensateurs élémentaires qui sont cuits sous pression pour faire qu'un seul bloc. On relie ensuite électriquement les deux groupes d'électrodes élémentaires pour mettre les condensateurs en parallèles.

Ces condensateurs sont constitués d'un disque de céramique, sur lequel une patte est connectée de chaque côté figure 21.a. La valeur de la capacité est faible, elle varie de 1pF à 10000pF. Ils sont plus au moins stables et utilisés pour le découplage.

Les condensateurs de *céramique multicouches* figure 21.b sont caractérisés par de plus faible dimensions par rapport aux précédents. Les couleurs au-dessus de ces condensateurs servent à déterminer le type du condensateur (stabilité plus au moins grande ainsi la tension nominale).

Gamme de valeurs : 1pF à 100nF (se sont des condensateurs de plus petites capacités).

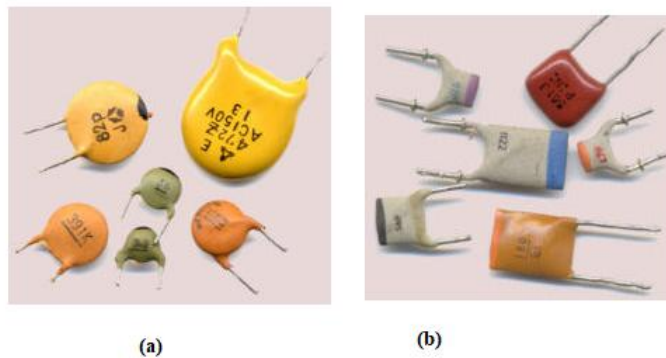


Figure 21. Condensateurs céramique : (a) à disque de céramique et (b) céramique multicouches.

Avantages

- Condensateurs non inductifs.
- Travail à fréquence élevées.
- Angle de pertes faible.
- Rapport capacité / volume élevé (multicouches).
- Tensions de fonctionnement élevées sont disponibles.

Inconvénients

- Pas de tolérances précise en multicouche.

10.3.1 Domaines d'application des condensateurs en céramique

Le condensateur en céramique on le trouve :

- Dans les applications où une forte valeur de C n'est pas requise.
- Utilisé en très hautes fréquences.
- Pour un couplage entre étage (suppression de la composante continue : le condensateur bloc le courant continu et laisse passer l'alternatif).
- Condensateur de découplage dans les lignes d'alimentations.

10.4 Les condensateurs variables

La capacité de ces condensateurs peut varier entre une valeur minimum et une valeur maximum. Un condensateur variable est montré sur la figure 22, est constitué des éléments suivants :

- un rotor, l'armature mobile ;
- un axe la commande du rotor ;
- un stator, l'armature fixe du condensateur.

Le condensateur variable dispose d'une valeur minimum appelée « *capacité résiduelle* » et d'une valeur maximale dite « *capacité nominale* ».

Ils sont basés sur la formule $C = cste.S$, ou S est la surface en regard. En tournant la vis, on fait varier la surface en regard, donc on varie la capacité C .

La capacité d'un condensateur variable peut varier selon: la surface des armatures, la nature du diélectrique, et la distance entre les armatures.



Figure 22. Condensateurs variables.

Les condensateurs variables sont utilisés dans différents appareils et équipements :

- les générateurs de fréquence ;
- les récepteurs radio ;
- les circuits oscillants (amplificateurs, oscillateurs, boîte d'accords) ;
- réalisation d'oscillateurs sonore.

Tableau 12. Tableau comparatif des différents condensateurs

	Électrolytique aluminium solide	Électrolytique aluminium liquide	Électrolytique tantale
Gamme de valeurs	100 nF à 1000 μ F	1 μ F à 100 000 μ F	100 nF à 220 μ F
Tolérance (%)	+/- 20%	-10% à +50%	+/- 10% à +/-20%
Tension maximale disponible	50 V	600 V	50 V
Tangente de l'angle de perte ou résistance série	0.03 Ω (100 μ F 20V) à 1 Ω (100 nF 25V)	5m Ω (0.47 F 10 V) à 2.7 Ω (47 μ F 400V)	0.05
Fréquence de fonctionnement	0 à 300 kHz	0 à 10 kHz	0 à 100 kHz
Stabilité ($\Delta C/C$)			Bonne stabilité thermique
Utilisation recommandée	Alimentation à découpage, découplage audio, temporisations	Filtrage d'alimentation, découplage basses fréquences	Faible courant de fuite, rapport capacité/volume important, stabilité en température

	Mica	Céramique multicouche	Céramique
Gamme de valeurs	10 pF à 2.2 nF	10 pF à 1 μ F	1 pF à 47 nF
Tolérance (%)	+/- 0.5% à +/- 1%	+/- 5% à -20%/+80%	+/-1% à -50%/+80%
Tension maximale disponible	5000 V	200 V	15 000 V

Tangente de l'angle de perte ou résistance série	0.001	0.01	0.001
Fréquence de fonctionnement	1 kHz à 10 GHz	1kHz à 200MHz	100 Hz à 10 GHz
Stabilité ($\Delta C/C$)	Excellente	Variable selon les types	Bonne stabilité thermique
Utilisation recommandée	Circuits HF, circuits impulsions, auto extinguibles	Découpage HF, rapport capacité / volume important	Découpage HF, Circuits résonnants, haute tension

	Polycarbonate MKC	Polyester MKT	Polystyrène MKS
Gamme de valeurs	100 pF à 22 μ F	1 nF à 47 μ F	100 pF à 10 μ F
Tolérance (%)	+/-1% à +/-20%	+/-5% à +/-20%	+/-1%à+/-20%
Tension maximale disponible	25000 V	25000 V	1000 V
Tangente de l'angle de perte ou résistance série	0.001	0.01	0.001
Fréquence de fonctionnement	0 à 1GHz	0 à 10 GHz	0 à 1 GHz
Stabilité ($\Delta C/C$)	Très bonne +/- 2% -55°C à + 125°C	Bonne stabilité thermique	Très bonne +/-1% -55°C à +85°C
Utilisation recommandée	Filtres, intégrateurs, liaisons, découplage, température élevée, fréquence de travail élevée, bonne fiabilité.	Filtrage haute et basse tension, découplage, liaisons, milieux humides	Fréquence de travail élevée, filtres, intégrateurs, constantes de temps, circuits oscillants.

11 Code des condensateurs

La capacité d'un condensateur est indiquée sur son corps avec un code qui n'est pas toujours facile à interpréter.

Chaque fabricant utilisant une méthode différente pour indiquer les valeurs de ces condensateurs.

Note : pour différentes raisons, la lettre grecque « μ » est quelquefois remplacée par la lettre « m » ou la lettre « u ». Lorsque dans un schéma ou dans une liste de composants, on trouve mF ou uF, on le traduit par microfarad (μ F).

L'unité de mesure de la capacité des condensateurs est le farad mais, étant donné qu'il n'existe pas de condensateur ayant une telle capacité, seuls les sous multiples sont utilisés : picofarad (pF), nanofarad (nF) et le microfarad (μ F).

11.1 Code américain

Les valeurs de capacité comprises entre 1pF et 8.2pF sont indiquées sur le corps du condensateur avec un point (.) remplaçant la virgule (,). Il suffit de remplacer le point par une virgule. Par exemple, 2.5 sera lu 2,7 picofarad.

Les valeurs comprises entre 1000 pF et 820 000 pF sont exprimées en microfarad, grâce à l'utilisation d'un point (.) à la place du 0. Lorsqu'il s'agit d'une valeur inférieure à 1. Par exemple s'il est inscrit .0012, .01 ou .82 sur le corps du condensateur, on lit 0,0012 microfarad, 0,01 microfarad, ou 0,82 microfarad.

11.2 Code européen

Les valeurs de capacité comprise entre 1pF et 8,2 pF sont indiquées avec un « p » remplaçant la virgule. Par exemple, 1p0, 1p5 et 2p7 doivent être lus 1,0, 1,5 et 2,7 picofarads.

Les valeurs comprises entre 10 pF et 82 pF sont indiquées sans mentionner pF. Les capacités comprises entre 100 pF et 820 pF sont exprimées en nanofarad et indiquées par la lettre *n*, par exemple, si les valeurs *n15*, *n22* ou *n56* apparaissent sur le corps du condensateur, on lit 0,22 ou 0,56 nanofarad.

Dans les valeurs de capacités comprises entre 1000 pF et 8200 pF, la virgule est remplacée par la lettre *n* qui suit le nombre. Par exemple, *1n*, *1n2*, *3n3* ou *6n8* doivent être lus 1,0, 1,2, 3,3 ou 6,8 nF et seront équivalente à 1000, 1200, 3300 et 6800 picofarads.

Enfin dans les valeurs de capacité comprises entre 10 000 pF et 820 000 pF, la lettre *n* positionnée après le chiffre indique que l'unité de mesure est le nanofarad. Par exemple,

les valeurs 10n, 56n ou 100n doivent être lues 10, 56 ou 100 nF (nanofarads), soit 10 000 pF, 56 000 pF ou 100 000 picofarads (pF).

Pour les valeurs de capacité comprises entre 1 000 et 8 200 pF, les fabricants allemands préfèrent utiliser l'unité de mesure microfarad en positionnant la lettre 'u' ou la lettre 'm' devant le chiffre : *u0012*, *u01*, *u1* ou *u82* doivent être lus *0,0012*, *0,01*, *0,1* ou *0,82* microfarads.

Tableau 13. Valeurs standards des condensateurs

1,0 pF	10 pF	100 pF	1 nF	10 nF	100 nF	1 µF
1,2 pF	12 pF	120 pF	1,2 nF	12 nF	120 nF	1,2 µF
1,5 pF	15 pF	150 pF	1,5 nF	15 nF	150 nF	1,5 µF
1,8 pF	18 pF	180 pF	1,8 nF	18 nF	180 nF	1,8 µF
2,2 pF	22 pF	220 pF	2,2 nF	22 nF	220 nF	2,2 µF
2,7 pF	27 pF	270 pF	2,7 nF	27 nF	270 nF	2,7 µF
3,3 pF	33 pF	330 pF	3,3 nF	33 nF	330 nF	3,3 µF
3,9 pF	39 pF	390 pF	3,9 nF	39 nF	390 nF	3,9 µF
4,7 pF	47 pF	470 pF	4,7 nF	47 nF	470 nF	4,7 µF
5,6 pF	56 pF	560 pF	5,6 nF	56 nF	560 nF	5,6 µF
6,8 pF	68 pF	680 pF	6,8 nF	68 nF	680 nF	6,8 µF
8,2 pF	82 pF	820 pF	8,2 nF	82 nF	820 nF	8,2 µF

11.3 Code asiatique

Les valeurs des capacités comprises entre 1 pF et 82 pF sont indiquées sans le mettre 'pF' sur le condensateur.

Dans celle comprise entre 100 pF et 820 pF, le dernier (0) zéro est remplacé par le nombre '1' pour indiquer qu'il faut insérer un 0 après les deux premiers chiffres.

Dans les valeurs de 1000 pF à 8200 pF, les deux derniers 0 sont remplacés par le nombre '2'.

Dans les capacités de 100 000 pF à 820 000 pF, les quatre derniers 0 sont remplacés par le nombre 4. C'est-à-dire : si le code marqué est 104 donc C=100000 pF

Dans un code contenant deux chiffres la capacité est donnée en pF. Par exemple : le code 20, il s'agit de deux chiffre, il n'y a pas un troisième qui indique le nombre de zéros. Donc C=20 pF.

Nombre de zéros après les deux chiffres significatifs

Code	101	152	123	104
Valeur de C	100 pF	1500 pF	12 000 pF	100 000 pF

Note importante

Les lettres M-K-J peuvent apparaitre sur le corps du condensateur, suivies d'un chiffre. Par exemple :

104 M 100 ou **104 K 100**

Ces lettres n'expriment pas l'unité de mesure mais elles sont utilisées pour indiquer la tolérance.

M= tolérance inférieure à 20%

K= tolérance inférieure à 10%

























J= tolérance inférieure à 5%.

Le nombre qui suit ces lettres indique la valeur de la tension maximale applicable aux bornes du condensateur. Le nombre 100 indiquera donc que la tension continue maximale qui pourra être appliquée au condensateur sera égale à 100 volts.

Les capacités indiquées sur le corps des condensateurs céramiques peuvent être exprimées en picofarad (pF) ou en nanofarad (nF) comme l'indique le tableau 11.

Tableau 14. Marquage des condensateurs en céramiques

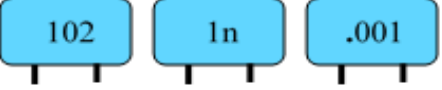

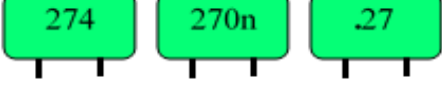
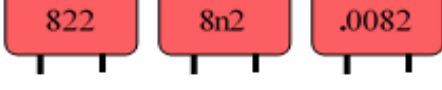
1pF		10 pF		100 pF	
1.2 pF		12pF		120 pF	
1.5 pF		15 pF		150 pF	
1.8 pF		18 pF		180 pF	

2.2 pF		22 pF		220 pF	
2.7 pF		27 pF		270 pF	
3.3 pF		33 pF		330 pF	
3.9 pF		39 pF		390 pF	
4.7 pF		47 pF		470 pF	
5.6 pF		56 pF		560 pF	
6.8 pF		68 pF		680 pF	
8.2 pF		82 pF		820 pF	

11.3.1 Marquage des condensateurs en plastique (polyester)

Sur le corps du condensateur polyester, les capacités peuvent être exprimées en picofarad, nanofarad ou microfarad comme le montre le tableau 15.

Tableau 15. Marquage condensateurs polyester

	$C = 1000 \text{ pF} = 1 \text{ nF} = 0.01 \mu\text{F}$
	$C = 12\,000 \text{ pF} = 12 \text{ nF} = 0.012 \mu\text{F}$
	$C = 270\,000 \text{ pF} = 270 \text{ nF} = 0.27 \mu\text{F}$
	$C = 8200 \text{ pF} = 8.2 \text{ nF} = 0.0082 \mu\text{F}$

11.3.2 Capacité des condensateurs ajustables

Lorsque dans un circuit électronique il est prévu de varier la valeur d'un condensateur, on doit utiliser un condensateur ajustable. Le symbole de ce composant est identique à celui d'un condensateur fixe sur lequel est ajoutée une flèche centrale. La flèche indique que la capacité peut varier en tournant son axe d'une extrémité à l'autre. Par exemple un condensateur ajustable de 100 pF peut être réglé de façon à obtenir une valeur comprise entre 3 et 100 picofarads.

Les condensateurs ajustables peuvent avoir une capacité maximale de 200 pF mais, dans la plupart des cas, cette valeur est très basse et ne dépasse que rarement les 10, 20, 30, 50 ou 80 pF.

- Condensateurs variables

Pour obtenir une capacité plus importante, il faut augmenter la taille des lames du condensateur. Aujourd'hui, ces condensateurs ne sont plus guère utilisés que dans des applications où les courants sont très importants comme en amplification haute fréquence à lampes.

Dans les applications où les courants sont faibles, ils sont remplacés par des diodes varicaps (diodes à capacité variables), de dimensions microscopiques.

11.3.3 Marquage des condensateurs électrolytiques

Les condensateurs électrolytiques se différencient des autres condensateurs par la matière isolante qui les compose et par la capacité maximale qu'il est possible d'obtenir.

Dans les condensateurs polyesters, les lamelles sont séparées par des petites pellicules isolantes en plastique et leur valeur ne dépasse jamais 2 microfarads. Dans les condensateurs électrolytiques, on utilise de petites pellicules isolantes poreuses imbibées d'un liquide électrolytique. On obtient de cette façon des valeurs de capacité très élevées (10, 33, 100, 470, 2200, 4700, 10 000 microfarads), tout en gardons de petites dimensions.

Le seul inconvénient des condensateurs électrolytiques est qu'ils sont polarisés. C'est pour cette raison que leurs sorties sont marquées par les signes (+) et (-) tous comme les piles.

Lors du montage de ces condensateurs sur un circuit électrique, il faut respecter leur polarité. Si on inverse le sens du montage, le condensateur risque d'être endommagé et, si la tension est très élevée, il peut même exploser.

La tension de travail est indiquée en clair sur tous les condensateurs électrolytiques. Il ne faut jamais dépasser cette valeur car les électrons pourraient perforer la pellicule isolante placée entre les lamelles, endommager le condensateur ou provoquer son explosion.

On trouve dans le commerce des condensateurs ayant des tensions de travail de 10, 16, 20, 25, 35, 63, 100, 250, 400 volts.

Un condensateur de 100 volts peut être utilisé dans tous les circuits alimentés par une tension ne dépassant pas 100 volts.

11.3.4 Tolérances, résistances et capacité

Tous les composants électroniques sont fabriqués avec une tolérance. Les résistances au carbone peuvent avoir une tolérance allant jusqu'à 5 ou 10%.

Les condensateurs polyester et céramiques peuvent atteindre des valeurs de tolérance entre 10% et 20%.

Les condensateurs électrolytiques, jusqu'au 40% ou 50%.

Ces tolérances ne compromettent pas le fonctionnement des appareils car, pendant la phase d'étude du projet, on prévoit toujours une oscillation des valeurs entre 10% et 20%.

Lorsqu'on mesure une résistance dont la valeur ohmique déclarée par le fabricant est 10 000 ohms, elle pourra, pour une tolérance de 10%, avoir une valeur comprise entre 9000 ohms et 11 000 ohms.

Le phénomène est le même pour les condensateurs : une capacité déclarée de 15000 pF avec une tolérance de 10%, pourra avoir une valeur réelle située entre un minimum de 13500 pF et un maximum de 16500 pF.

Un condensateur électrolytique de 47 μF , ayant une tolérance comprise entre 40% et 50%, peut avoir une valeur réelle comprise entre 29 μF et 65 μF .

11.4 Comment lire la valeur d'un condensateur

Le code d'un condensateur varie selon le fabricant et le type. Les indications des condensateurs de petites dimensions sont particulièrement difficiles à lire, parce qu'il n'y a pas suffisamment d'espace pour imprimer les codes.

11.5 Marquage des capacités élevées

11.5.1 Les unités de mesure d'une capacité

L'unité de la capacité est le farad (F). Cette unité est beaucoup plus grande pour les circuits ordinaires. Par conséquent, la capacité des condensateurs est exprimée dans l'une des unités suivantes :

$1\mu\text{F}$, uF ou mF = 1 microfarad = 10^{-6} farads. Dans certains cas, mF correspond à l'abréviation normalisée du millifarad, ou 10^{-3} farad).

1 nF = 1 nanofarad = 10^{-9} farad,

1 pF , mmF , ouuuF = 1 picofarad = 1 micromicrofarad = 10^{-12} farad.

Unité marquée sur le condensateur	lecture	Combien en farad (F)
μF , uF , mF	microfard	10^{-6} F
nF	nanofarad	10^{-9} F
pF , mmF , uuuF	picofarad	10^{-12} F

11.5.1.1 Valeur de la capacité

La valeur de la capacité de la plupart des grands condensateurs tels que les condensateurs électrolytiques est inscrite sur le côté du composant comme le montre la figure 23. Il est possible de rencontrer d'autres dispositions. Donc rechercher la valeur qui correspond au mieux aux unités ci-dessous.

- Ignorer la majuscule des unités : par exemple l'insertion MF est équivalente à mF, il ne s'agit certainement pas de mégafarad, même si les lettres correspondantes à l'abréviation officielle du système international d'unités (SI).
- L'inscription fd est une abréviation de farad, mmfd est une autre manière d'écrire $\text{mmF}=\mu\text{F}$.
- Examiner soigneusement les inscriptions que ne contient qu'une seule lettre, comme 475m. Dans ce cas **m** est la tolérance $\pm 20\%$.

		
Électrolytique $C=470\mu\text{F}$ et $V_{\text{max}}=16\text{V}$	Electrolytique $C=470\mu\text{F}$, $V_{\text{max}}=450\text{V}$, $T_{\text{max}}=105^\circ\text{C}$	Condensateur à Film De Polypropylène $C=1000000\text{pF}=1\mu\text{F}$ $J=\pm 5\%$, $V_{\text{max}}=400\text{V}$
		
Céramique multicouche $C=0.18\text{nF}=180\text{pF}$	$C=0.1\text{MF}=0.1\mu\text{F}$ $V_{\text{max}}=1500\text{V}$	Condensateur au mica $C=200\mu\text{F}=200\text{pF}$
		
Céramique $C=2.2 \cdot 10^3\text{pF}=2200\text{pF}$ et $V_{\text{max}}=500\text{V}$, tolérance = $\pm 20\%$	Tantale goutte $C=100000\text{pF}=100\text{nF}$ $V_{\text{max}}=35\text{V}$	$C=1500\mu\text{F}=1500\mu\text{F}$ $V_{\text{max}}=30\text{V}$ en V_{DC}
		
Condensateur variable	$C=10\text{nF}$, $V=1\text{kV}$, $\pm M=20\%$ CM(military capacitor) Z5U (température) : $Z=T_{\text{min}}=10^\circ\text{C}$, $5=T_{\text{max}}=85^\circ\text{C}$, $U=\text{dérive} = \pm 22\% - 56\%$	$C=0.22\text{MFD}=0.22\mu\text{F} \pm 10\%$ Unité  $V_{\text{max}}=50\text{V}$
 $C=1.5\text{nF} \pm 10\%$ $V=160\text{V}$ code 1n5	 Mylar $C=0.027\mu\text{F} \pm 5\%$, $V=600\text{V}$	

Figure 23. Différentes formes de marquage de l'unité ainsi le code du condensateur.

11.5.2 La valeur de la tolérance

Certains condensateurs admettent une tolérance, c'est-à-dire une fourchette par rapport à la valeur de la capacité nominale. Cette donnée pas importante dans toutes les applications. Dans le cas des condensateurs de précision, il est nécessaire de considérer la tolérance. Par exemple si un condensateur a une capacité de $8000 \mu\text{F} +50\%/-70\%$, donc

$$C_{\text{max}}=8000+(8000 \times 0.5)=12000\mu\text{F}=12\text{mF}.$$

$$C_{\text{min}}=8000-(8000 \times 0.7)=2400\mu\text{F}=2.4\text{mF}.$$

S'il n'y a pas de pourcentage, la tolérance peut être indiquée par une lettre sur le corps du composant comme le montre le tableau.

Code (lettre)	D	F	G	J	K	M
Tolérance	±0.5%	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%

11.5.3 La tension nominale

Généralement le fabricant indique la valeur de la tension d'utilisation du composant, s'il y a suffisamment d'espace sur l'enveloppe du condensateur. Il s'agit d'un chiffre suivi par la lettre V, V_{CC} ou TS pour indiquer la tension de service comme il est représenté sur la figure 24.

Il s'agit de la tension maximale que le condensateur peut supporter en service.

- La tension de fonctionnement du condensateur est exprimée par code composé soit d'une lettre ou d'un chiffre et une lettre. En cas d'absence de code de tension, il faut utiliser le condensateur en basse de tension.
- Pour construire un circuit en courant alternatif, on utilise un condensateur spécialement conçu pour fonctionner en alternatif (V_{AC}).








			
C=1000pF=1nF, J=±5% V _{max} =2E=250V	V _{AC} =150V (valable en circuit alternatif)	Céramique HT 1kV=1000V	V=50 (n'est pas mentionnée)
 <p>chiffres significatifs multiplicateur (zéros) polarité + tension de service</p>	 <p>polarité valeur en µF tension de service</p>		
C=4700000pF=4.7µF V _{max} =E=25V	C=22µF, V=6V	Mylar C=47000pF=47nF J=±5% V _{max} =2A=100V	

Figure 24. Marquage de la tension nominale sur les condensateurs.

11.6 Marquage des condensateurs compacts

Les indications des condensateurs anciens sont moins faciles à déchiffrer. Puisque toutes les marques se fondent sur les normes de l'organisation des constructeurs américains (EIA) lorsque la taille du condensateur ne permet pas d'inscrire la totalité du code.

a- Noter les deux premiers chiffres de la capacité

Si le code commence par deux chiffres suivis par une lettre, comme 44M, ces deux chiffres présentent le code de la capacité. La lettre est l'unité.

Si l'un des deux premiers symboles est composé d'une lettre. On cherche la signification de la lettre.

Si les trois premiers symboles sont des chiffres :

Le troisième chiffre est utilisé comme multiplicateur

Exemple : un condensateur est marqué 453 donc $C=45000\text{pF}$, la valeur de la capacité est donnée en pF.

b- Déterminer la valeur du condensateur en fonction du contexte

- Les petits condensateurs en céramique ou en tantale, ou à film en matière synthétique ont des capacités exprimées en picofarads (pF), soit 10^{-12}F .
- Les grands condensateurs électrolytiques cylindriques en aluminium ou à double couche ont des capacités exprimées en microfarads (uF or μF), soit 10^{-6} fards.
- Un condensateur peut échapper à ces règles, lorsqu'une unité est ajoutée après le code, par exemple la lettre *p* pour picofarad, la lettre *n* pour s'il s'agit du nanofarad ou *u* pour microfarad. Et s'il y a une seule lettre après le code, elle correspond habituellement au code de tolérance et non à l'unité. Par exemple 473K et 562J comme le montre la figure 25. Les lettres P et N sont rarement utilisées pour définir la tolérance, mais elles peuvent servir à cette fin dans certains cas.

		
C=47000pF ± 10% (K=±10%)	C= 5600pF ±5% (J=±5%)	C=3000000pF, J=±5%, V _{AC} =250V
		
Code de couleurs C=1.5μF et V _{max} =100V	C=56nF V=250V (code de couleurs)	C=0.47μF=470nF V=630V

Figure 25. Différentes formes de marquage des condensateurs ainsi que la tolérance

Le constructeur du condensateur donne le nom du fabricant, la valeur de la capacité, la tension de service, la tolérance et le type du matériau diélectrique utilisé. Comme le montre la figure 26. La tension maximale de service est inscrite en clair sur le composant sans unités

Pour les condensateurs à film plastiques le type du matériau est indiqué.

- MKT Polyester (polyéthylène ou mylar)
- MKC Polycarbonate
- MKP Polypropylène
- MKS Polystyrène

La tolérance est codée à l'aide d'une lettre placée à la suite comme le montre le tableau

Code (lettre)	D	F	G	J	K	M
Tolérance	±0.5%	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%

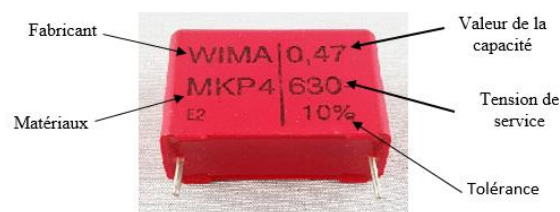


Figure 26. Marquage d'un condensateur en plastique.

11.7 Comment Lire les codes qui contiennent des lettres

- Si la lettre est un R, on remplace la lettre R par une virgule et la valeur de la capacité est donnée en picofarad (pF). Exemple : code est 5R6 donc $C=5.6\text{pF}$.
- Si la lettre est p, n, ou u, elle indique simplement qu'il s'agit de pico-, nano- ou microfarad. Et remplacer cette lettre par une virgule. Par exemple : n47 et 2u5 signifient respectivement : 0.47nF et $2.5\mu\text{F}$.
- Un code comme **2A473J** représente en fait deux codes. 2A donne une information sur la tension ($2A=100\text{V}$), et 473 représente la valeur de la capacité ($C=47000\text{pF}$), J est la tolérance (5%).

11.7.1 Lire le code de la tolérance

Pour les condensateurs en céramique, la valeur de la tolérance est indiquée par une lettre située immédiatement après les trois chiffres qui donnent la valeur de la capacité. Cette lettre indique la tolérance du condensateur. Cette valeur permet de savoir à quel point la capacité réelle du condensateur sera proche de la capacité nominale. Selon le code inscrit sur le condensateur, la précision est donnée sur le tableau.

B= $\pm 0.1\text{pF}$, C= $\pm 0.25\text{pF}$, D= $\pm 0.5\text{pF}$ s'il s'agit d'un condensateur de moins de 10pF , ou ± 0.5 si la capacité du condensateur dépasse 10pF .

F= $\pm 1\text{pF}$ s'il s'agit d'un condensateur de moins de 10pF , ou $\pm 1\%$ si la capacité du condensateur dépasse 10pF .

G= $\pm 2\text{pF}$ s'il s'agit d'un condensateur de moins de 10pF , ou $\pm 2\%$ si la capacité du condensateur dépasse 10pF .

J= $\pm 5\%$, K= $\pm 10\%$, M= $\pm 20\%$, Z= $+80\%$ / -20% .

Lettre (code)	B	C	D	F	G	J	K	M	Z
Tolérance	$\pm 0.1\text{pF}$	$\pm 0.25\text{pF}$	$\pm 0.5\text{pF}$	$\pm 1\text{pF}$ ou $\pm 1\%$	$\pm 2\text{pF}$ ou $\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$+80\%$ / -20%

11.8 - Déterminer la valeur de la tolérance en température (coefficient en température)

Le code de la tolérance sur certains condensateurs, comprend plus de trois symboles. On peut le trouver sous la forme : *lettre-chiffre-lettre*. Dans ce cas :

- Le premier symbole concerne la température minimale, Z=10°C, Y=-30°C, X=-55°C.
- Le deuxième symbole correspond à la température la plus élevée. 2=45°C, 4=65°C, 6=105°C, 7=125°C.
- Le troisième signe indique la variation peut être précise par exemple A=±1.0%.
- On peut avoir aussi une fourchette, par exemple V=+20% / -82%. La lettre R est l'un des symboles les plus courants. Elle représente une variation de ± 15%.

Par exemple : Z5U (température) : de 10°C à 85°C, dérive de ±22% à -56%.

Tableau 16. Autres marquages du coefficient de température

	T_{min}		T_{max}		Dérive de C
Z	+10°C	2	+45°C	A	±1.0%
		4	+65°C	B	±1.5%
Y	-30°C			C	±2.2%
		5	+80°C	D	±3.3%
X	-55°C			E	±4.7%
		6	105°C	P	±10%
				R	±15%
		7	+125°C	S	±22%
				T	+22% à -33%
				U	+22% à -56%
				V	+22% à -82%

EIA (organisation des constructeurs américains)	Industrie	Coeff Temp (ppm/°C)
COG	NPO	0
S1G	NO33	-33
U1G	NO75	-75
P2G	N150	-150

S2H	N330	-330
U2J	N750	-750
P3K	N1500	-1500

11.9 Code pour les tensions de service des condensateurs

0G	4V	1J	63V	2D	200V*
0L	5.5V	0k	80V	2P	220V
0J	6.3V*	2A	100V*	2^E	250V*
1A	10V*	2Q	110V*	2F	315V
1C	16V*	2B	125V	2V	350V
1E	25V*	2C	160V	2G	400V*
1H	50V*	2Z	180V	2W	240V

Les codes marqués d'un * sont les valeurs recommandées.

- **Autres codages**
- Si le condensateur a un codage assez long commençant par les lettres CM ou DM, on parle d'un condensateur de normes de l'armée américaine.
- Si le condensateur est marqué par une série de bande ou de point colorés, on applique le code de couleurs des condensateurs.

12 Lecture de la valeur d'un condensateur en utilisant le code de couleurs

La lecture se fait de l'anneau le plus éloigné des pattes à celui le plus proche des pattes. Il existe des condensateurs marqués par le code des couleurs. L'unité dans ce cas est le picofarad. Si le condensateur contient plus de 5 anneaux, dans ce cas le coefficient en température est mentionné.

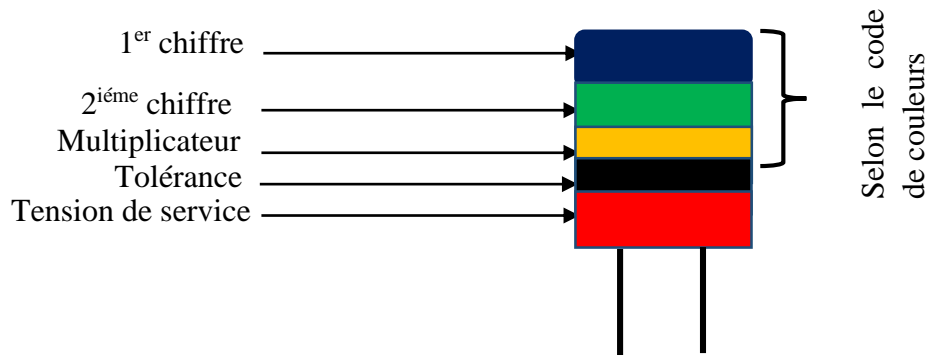


Figure 27. Code de couleurs des condensateurs

Couleur	1 ^{er} chiffre	2 ^{ième} chiffre	Multiplicateur	tolérance	V _{max}
Noir	0	0		20%	
Marron	1	1	x 10pF	1%	100 V
Rouge	2	2	100pF	2%	250 V
Orange	3	3	10 ³ pF ou 1nF		
Jaune	4	4	10 ⁴ pF ou 10nF		400 V
Vert	5	5	100 nF		
Bleu	6	6	10 ⁶ pF ou 1μF		630 V
Violet	7	7	10 ⁷ pF ou 10μF		
Gris	8	8			
Blanc	9	9		10%	

13 Domaines d'application des condensateurs

13.1 Application des condensateurs électrolytiques aluminium

- On utilise les condensateurs électrolytiques aluminium partout où de fortes valeurs de capacités sont nécessaires.
- Assurer un filtrage ou une base de temps de longue durée.
- Fonction lissage des alimentations (redressement avec filtrage capacitif), réduire les ondulations d'une tension redressée comme le montre la figure 28.
- Stockage de l'énergie pour la sauvegarde des données en mémoire RAM.
- Temporisation de longue durée.

- Filtres : (passes bas, passe haut ou passe bandes).

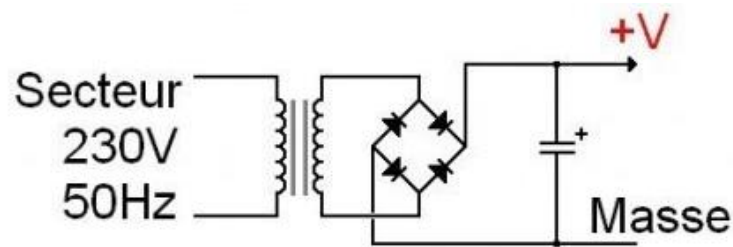
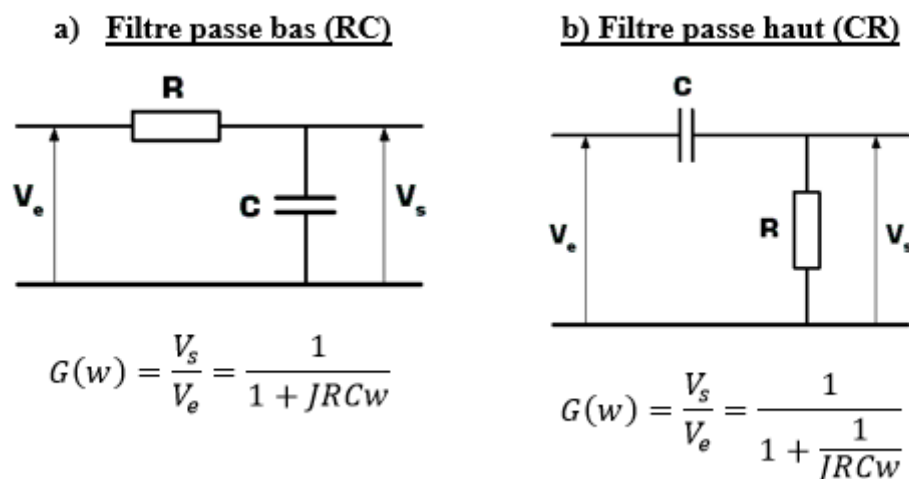


Figure 28. Redressement double alternance avec filtrage capacitif.

13.2 Exemple d'applications des condensateurs non polarisés, réalisation des filtres



13.3 Application en tant que condensateurs de liaison

Un montage électronique est souvent constitué de différents étages dont les sorties sont connectées aux entrées des suivants. Un étage électronique est une partie qui fonctionne avec une tension de polarisation (tension continue utile au fonctionnement du composant). Les tensions de polarisation de deux étages successifs ne doivent pas se mélanger. En revanche, le signal alternatif issu d'un étage doit passer vers l'étage suivant. C'est là que le condensateur de liaison intervient, voir figure 29.

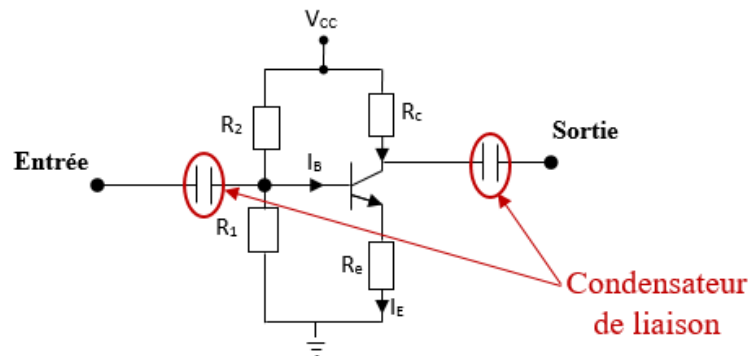


Figure 29. Condensateur de liaison dans un étage amplificateur.

13.4 Application des condensateurs dans les circuits d'accords

Pour pouvoir s'accorder sur une fréquence désirée, il faut un circuit composé d'un condensateur et d'une inductance ou bobine, figure 30. Si l'on relie en parallèle une **capacité variable** sur la bobine, on pourra s'accorder sur **plusieurs fréquences**.

Ce circuit est utilisé pour sélectionner les fréquences radio ou les programmes télé par exemple.

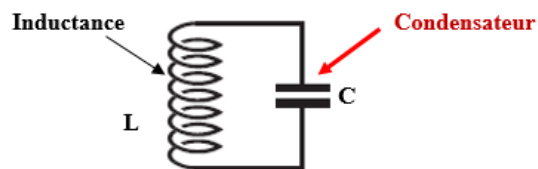


Figure 30: un circuit d'accord est composé d'une inductance et d'un condensateur relié en parallèle.

14 Les pannes des condensateurs

Les condensateurs chimiques sont la cause d'un nombre relativement important de pannes. La panne survient au minimum trois ans suivant la fabrication de l'appareil et surtout dans le cas de condensateurs de mauvaise qualité.

La panne se déclare et empire progressivement avec le temps, c'est une **panne de chauffe**.

En dessoudant le condensateur du circuit et on le soumettant au capacimètre, on peut arriver à voir une baisse significative de sa capacité pouvant entraîner la panne.

14.1 Comment tester un condensateur

1. Débrancher le condensateur du circuit où il se trouve.
2. Décharger le condensateur avec une résistance ou un objet métallique comme un fil conducteur, des ciseaux ou un tournevis.
3. Régler le multimètre sur la lecture de capacimètre.
4. Connecter le capacimètre aux bornes du composant en respectant la polarité.
5. Vérifier la mesure du multimètre, si la capacité affichée est proche de celle qui est notée sur le composant, donc le condensateur est en bon état de marche. Si elle est inférieure de beaucoup ou si elle est proche de zéro, le condensateur est mort.

Par exemple:

Sur le corps d'un condensateur est marqué $1\mu\text{F}$. Nous lisons une capacité de $0.7\mu\text{F}$ sur le capacimètre au lieu de $1\mu\text{F}$, ce qui peut suffire à déclencher une panne. Ceci est dû à l'augmentation de la résistance interne du condensateur avec l'âge ou à la fuite ou l'altération de l'électrolyte.

Par l'observation on peut détecter la panne : le condensateur en panne va se mettre à chauffer, et de ce fait son enveloppe plastifiée de couleur verte, bleu ou marron va commencer à se rétracter par le haut, c'est un signe d'usure.

Dans le cas extrême la pression dans le condensateur augmente, celui-ci peut s'ouvrir par le sommet en faisant un bruit d'explosion, il peut également gonfler sa base et l'on verra éventuellement apparaître l'électrolyte (un acide) sur le circuit imprimé. La figure 31 montre un exemple de panne des condensateurs électrolytiques. Concernant les condensateurs de filtrages d'alimentation, leur défaillance provoquera des parasites (audio, vidéo, ...). Les condensateurs en général, manifestent leur mécontentement par des fissures ou des éclatements et surtout pour des condensateurs travaillant en haute tension.





Figure 31. Condensateurs en pannes sont légèrement bombés (gonflés).

La durée de vie d'un condensateur chimique est très liée à sa température, mais aussi à son courant d'ondulation et à la tension appliquée à ses bornes. Ce sont les composants les plus critiques d'une carte électronique avec les transistors de puissance et les parties mécaniques (connecteurs, commutateurs, etc).

Au-delà de la température maximale, aucune garantie de fonctionnement n'est donnée. La plupart des condensateurs chimiques sont donnés pour 85°C ou 105°C max. Il est préférable d'utiliser des condensateurs 105°C si on souhaite une longue durée de vie.

14.2 Durée de vie des condensateurs et tension

La durée de vie d'un condensateur ne dépend que très peu de la tension à ses bornes. Pour la fiabilité du condensateur, il est recommandé de **ne pas dépasser 80% de la tension nominale**.



Figure 32. Condensateur électrolytique de tension nominale de 25V.

Pour un condensateur 25V représenté sur la figure 32 : ne pas dépasser $25\text{ V} \times 0.80 = 20\text{ V}$ à ses bornes. Bien sûr, il ne faut jamais le polariser à l'envers. Si un montage nécessite 22V ou 24V par exemple, il est préférable de choisir un condensateur 35V.

Chapitre 3 : Les bobines

1 Principes et propriétés

Une bobine est formée d'un fil conducteur enroulé soit dans l'air (inductance sans noyau), soit sur un noyau ferromagnétique (inductance avec noyau), chaque boucle est appelée spire.



Figure 33. Les bobines.

1.1 L'inductance

L'inductance est la propriété que possède une bobine avec ou sans noyau de fer, de s'opposer aux variations du courant qui la parcourt et par conséquent déphase en arrière le courant sur la tension.

La présence d'une bobine retarde l'établissement du courant dans la branche où elle est montée.

Le passage du courant électrique dans un conducteur engendre un champ d'induction magnétique dans l'espace environnant. Ce phénomène se traduit par une accumulation locale d'énergie sous forme de lignes de **flux** magnétique.

Nous pouvons dire également qu'une inductance est caractérisée par la propriété de créer un flux magnétique lorsqu'elle est parcourue par un courant électrique.

La présence d'un noyau ferromagnétique augmente considérablement le champ magnétique obtenu.

1.2 Intensité des lignes de champ

Si une bobine de N spires de section S est soumise à un champ magnétique B , on appelle flux la quantité :

$$\phi = N \cdot B \cdot S$$

ϕ : intensité de ligne de champ et s'exprime en Webers (Wb) ;

B : champ magnétique s'exprime en tesla

S : section du corps de la bobine (m^2) ;

N : nombre de spires.

Si le champ magnétique a été créé par l'enroulement lui-même on parle de **flux propre**.

Tant que le courant n'est pas trop élevé le flux ϕ est proportionnel au courant qui l'a engendré :

$$\phi = L.I$$

Le facteur de proportionnalité entre le flux ϕ créé et le courant I est appelé coefficient d'auto-induction, ou encore inductance et est symbolisé par la lettre L :

$$L = \frac{\phi}{I} = \frac{\text{flux créé}}{\text{Intensité}}$$

ϕ : en Wéber (Wb)

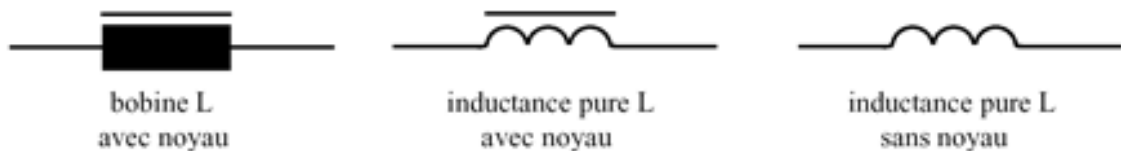
I : en ampère (A)

L : en Henry (H)

Dans le langage courant on utilise le mot self, l'unité de l'inductance est le Henry (H), on utilise aussi le microhenry (μH) et le millihenry (mH).

1.3 Symbole de la bobine

Dans les schémas électriques, nous symboliserons l'inductance pure L des façons suivantes :



2 Energie emmagasinée dans une bobine

Une bobine emmagasine de l'énergie sous forme magnétique lorsqu'elle est parcourue par un courant. L'énergie emmagasinée dans une bobine traversée par un courant I à l'instant t est donnée par :

$$W = \frac{1}{2} L.I^2$$

Avec :

W : énergie emmagasinée en Joules (J) ;

L : inductance en Henry (H) ;

I : intensité de courant en Ampère (A).

La puissance fournie à l'inductance est donnée par :

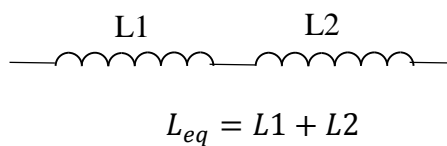
$$P = \frac{1}{2} L \frac{dI^2(t)}{dt}$$

Il est difficile de faire varier rapidement le courant dans une bobine et ceci d'autant plus que la valeur de son inductance L sera grande.

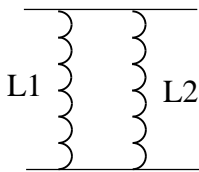
3 Association des bobines

Les lois d'association pour les inductances sont les mêmes que celles qui ont été citées pour les résistances :

3.1 En série



3.2 En parallèle



$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} \text{ Donc } L_{eq} = \frac{L1.L2}{L1+L2}$$

L'impédance d'une self est : $Z_L = 2\pi fL$, où f est la fréquence en Hz.

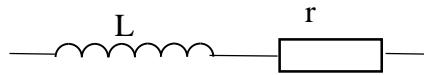
4 Les différents types de bobines

- à noyau de fer
- à noyau de ferrite Fe_2O_3XO , c'est un céramique ferromagnétique, X peut être du manganèse, Zinc ou cobalt, Nickel,..., caractérisées par une forte inductance.
- enroulée à vide (sans support) ou en air : faible inductance, saturation magnétiques limitée, utilisées pour les hautes fréquences.

5 Modélisation d'une bobine

Une bobine est un long fil conducteur, recouvert de vernis, enroulé sur un cylindre. Une bobine parcourue par un courant électrique variable, produit un champ magnétique variable. Les propriétés de la bobine liée au champ variable, sont caractérisées par une

grandeur, notée L , appelée *inductance* et exprimée en Henry. La grande longueur du fil entraîne des *pertes par effet Joule*. Pour prendre en compte de ces pertes, on introduit une résistance de perte r en série avec L , ou une résistance parallèle R_p . En régime continu et en basse fréquence, on peut modéliser la bobine par une inductance pure L (sans perte énergétique par effet Joule dans les enroulements) en série avec une résistance r .



En *haut fréquence*, les enroulements recouverts de vernis étant très proches, ils se comportent comme un condensateur. La bobine a donc certain comportement *capacitif*. De plus, à haute fréquence, les pertes énergétiques par *effet Joule* sont plus importante (comme s'était plus grande (effet de peau). Nous nous contenterons à travailler à fréquences raisonnables pour ne considérer que le premier modèle.

6 Détermination de la valeur d'une inductance

6.1 Par les caractéristiques géométriques

La valeur de l'inductance propre dépend essentiellement des dimensions de la bobine, notamment le nombre de spires N , la section S du corps de la bobine, la longueur l du circuit magnétique obtenu à l'intérieur de la bobine et enfin de la nature du matériau qui se trouve à l'intérieur de la bobine.

6.1.1 Bobine enroulée en air ou sur un support vide

$$L = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot S}{l}$$

μ_0 : est la perméabilité du vide, $\mu_0 = 2\pi \cdot 10^{-7}$ (H/m).

6.1.2 Cas d'une bobine enroulée sur un noyau ferromagnétique

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot S}{l}$$

Avec : $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

μ est la perméabilité absolue du noyau ferromagnétique [H/m].

μ_0 : perméabilité du vide [H/m] ;

μ_r : perméabilité relative du noyau [sans unité];

l : longueur du circuit magnétique [m]

N : nombre de spires de la bobine ;

S : section ou surface du corps de la bobine [m^2], $S=\pi R^2$ avec R est le rayon d'un cercle.

Pour obtenir une grande inductance, une bobine doit avoir un noyau qui forme un circuit magnétique le plus perméable possible. La valeur de L dépend beaucoup du noyau et cette propriété est utilisée pour régler la valeur d'une bobine.

On note aussi que le *déplacement du noyau* modifie la valeur de l'inductance L .

6.2 Méthode volt-ampèremètre

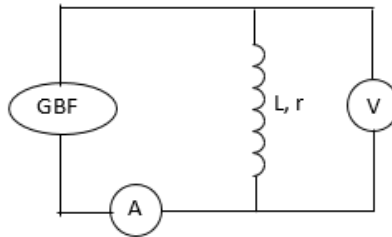


Figure 34. Méthode volt-ampèremètre pour la mesure s'une inductance.

L'impédance du circuit est donnée par :

$$Z = \sqrt{r^2 + (L\omega)^2} = \frac{U}{I} \text{ donc } L = \sqrt{\frac{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - r^2}{\omega^2}}$$

GBF : générateur de tension alternative (signal sinusoïdal)

r : résistance interne de la bobine [Ω]

U : tension en volt [V] ;

I : intensité de courant [A]

$\omega=2\pi f$ est la pulsation [rd/s].

6.3 Mesure de la constante de temps d'un circuit RL

Le circuit est alimenté par un signal carré de fréquence $f= 1\text{KHz}$, $R=2\text{K}\Omega$.

La constante de temps est donnée par:

$$\tau = \frac{L}{R_{tot}}$$

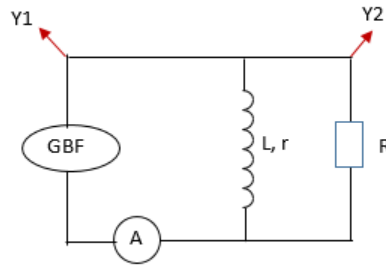


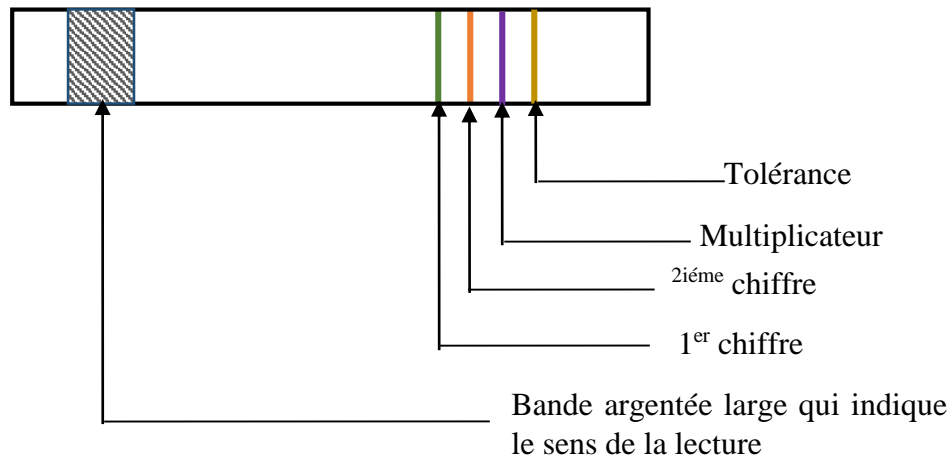
Figure 35. Montage pour mesurer la constante de temps d'un circuit RL.

6.4 Appareil de mesure d'une inductance

La valeur d'une inductance se mesure par inductancemètre.

7 Marquage des bobines par code des couleurs

On rencontre des bobines de formes et de dimensions comparables à celles d'une résistance dont l'inductance pouvant aller de $0.1 \mu\text{H}$ à 10 mH . Certains modèles sont marqués en *clair* d'autres suivant un *code des couleurs*.



3ième anneau multiplicateur

Couleur	Multiplicateur
Noir	$1 \mu\text{H}$
Marron	$10 \mu\text{H}$
Rouge	$100 \mu\text{H}$
Orange	1 mH

4^{ième} anneau tolérance

<i>Couleur</i>	<i>Tolérance</i>
Rien	20%
Argent	10%
Or	5%

8 Les applications des bobines

Une bobine peut être employée pour diverses fonctions :

- Assurer l'antiparasitage d'une alimentation électrique ou d'un signal analogique, elle joue alors le rôle d'impédance ;
- Raccourcir une antenne ;
- Accorder en impédance un circuit ;
- Créer un filtre pour une fréquence ou une bande de fréquence particulière ; lisser les courants continus ou contrôler la croissance des courants dans les dispositifs d'électronique de puissance ;
- Stocker de l'énergie électrique, il faut alors que sa résistance soit très faible. Des bobines en supraconducteurs sont utilisées pour cette application ;
- La bobine d'inductance s'utilise comme élément des circuits oscillants ou comme filtre de fréquence (bobine d'arrêt) ;
- Moteurs, transformateurs, alternateur, dynamo, bobine d'allumage...

8.1 Les transformateurs

Un transformateur est constitué par deux enroulements de fil de cuivre bobinés sur une carcasse métallique ou un tore de ferrite comme le montre la figure 36. Ces deux enroulements se comportent comme des bobines qui sont traversées par un même flux électromagnétique. Le transformateur est destiné à transmettre une puissance électrique, tout en assurant une isolation galvanique (il n'y a pas de contact électrique entre le circuit primaire et le circuit secondaire). Le transformateur doit être alimenté en courant alternatif.

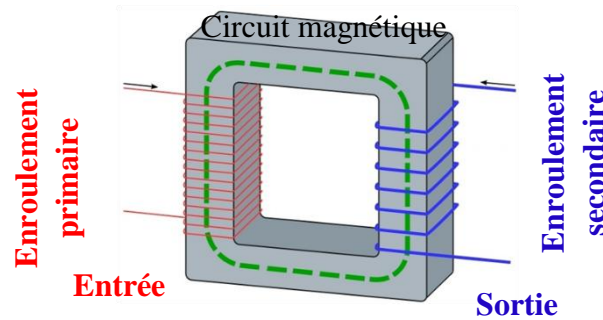


Figure 36. Représentation schématique d'un transformateur.

- **Symbole du transformateur** : le symbole du transformateur est donné sur la figure 37.

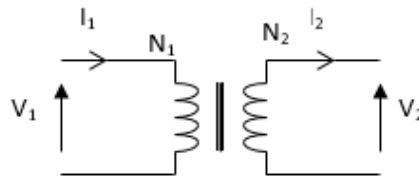


Figure 37. Symbole d'un transformateur.

- **Relation entre le primaire et le secondaire d'un transformateur**

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = n$$

N_1 : nombre de spires du primaire ;

N_2 : nombre de spires du secondaire ;

V_1 : tension appliquée au primaire ;

V_2 : tension du secondaire ;

n : rapport de transformation de l'appareil.

Les transformateurs ne fonctionnent qu'avec des signaux variables c'est-à-dire alternatifs.

Si $n < 1$: est un abaisseur de tension ;

Si $n > 1$: est un élévateur de tension ;

Si $n=1$: c'est un transformateur d'isolement, il ne modifie pas la valeur de la tension, mais permet d'avoir un isolement électrique entre les circuits branchés au primaire et au secondaire.

Les pertes dans les transformateurs sont les mêmes que celles d'une bobine :

- Pertes par effet Joule dans les enroulements ;
- Pertes par hystérésis proportionnelles à la fréquence ;
- Les pertes par courant de Foucault proportionnelles au carré de la fréquence :
pour améliorer le rendement des transformateurs, on utilise des tôles feuilletées.

Les transformateurs sont aussi utilisés pour la réalisation des alimentations continues : redressement simple alternances ou double alternances.

8.2 Application des bobines pour le filtrage

Les bobines sont utilisées dans la réalisation des filtres sélectifs appelés aussi rejeteurs ou circuits bouchons. Ces circuits réduisent certaines fréquences à zéro, ils laissent passer juste une seule fréquence, les autres sont rejetées.

8.2.1 Définition de la fréquence de coupure

Si la bande de passante Δf est faible ($\Delta f \ll f_0$), où f_0 est la fréquence de coupure du circuit, un filtre passe bande est dit filtre sélectif. La fréquence f_0 de résonance est la fréquence pour laquelle le gain est maximal. C'est-à-dire si $f=f_0$, $T=T_0$ (voir figure). T est le gain du filtre en dB, T_0 est le gain maximal. Rappelons que le gain d'un filtre ou la fonction de transfert est donné par :

$$T(f) = \frac{Vs}{Ve}$$

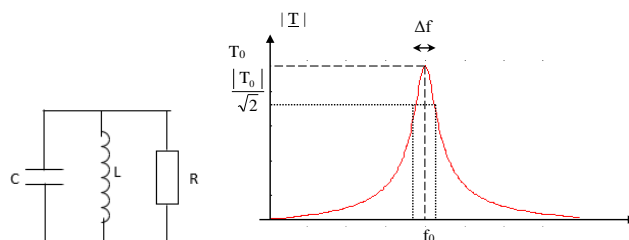


Figure 38. Gain d'un filtre sélectif en fonction de la fréquence

9 Pannes dans les bobines

Une bobine est en panne s'elle se met soit en court-circuit partiel ou total, soit se couper. Pour les transformateurs, c'est généralement son bobinage le plus fin, généralement

le primaire qui va couper, suite à une surtension ou une surcharge du secondaire. Une bobine en court-circuit partiel va s'échauffer, dégager de la fumée (c'est dus au vernis isolant recouvrant le fil du bobinage, qui fond) et dégager une forte odeur de brûler.

Chapitre 4 : Les diodes

1 Définition d'une diode et d'une jonction PN

Une diode est un composant électronique formée de la mise en contact de deux types de semiconducteurs de dopage différent, à savoir une région dopée N et une région dopée P. La zone de contact des deux régions dopées s'appelle *une jonction PN*. La majorité des composants électroniques, du transistor au circuit intégrés, sont composés de jonctions PN. La figure 39 représente le principe d'une jonction PN.

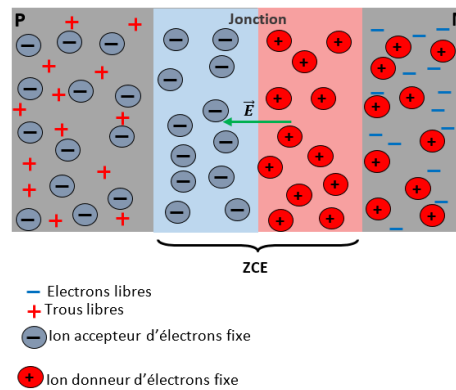


Figure 39. Principe d'une jonction PN

1.1 Symbole et représentation

La diode est un dipôle à semiconducteur (*jonction PN*), ces bornes sont repérées anode "A" et cathode "K". La diode est sous forme d'un cylindre, la cathode est indiquée par un anneau noir comme le montre la figure 40.a. Dans un circuit électronique, elle est représentée par son symbole de la figure 40.b, avec A est l'anode et K est la cathode.

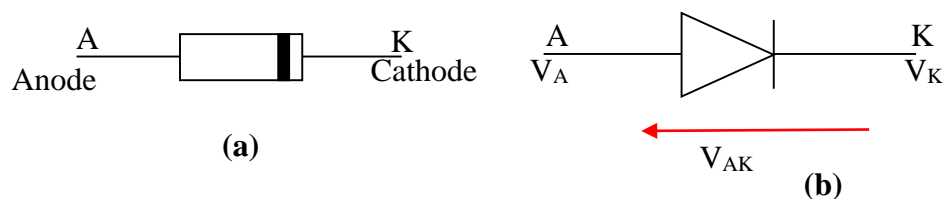


Figure 40. Représentation schématique d'une diode et de son symbole

1.2 Fonctionnement

La diode est un composant de commutation qui possède deux états :

- Etat passant : interrupteur fermé
- Etat bloqué : interrupteur ouvert

La diode est un composant **unidirectionnel**, c'est-à-dire elle laisse passer le courant seulement dans un sens et le bloque dans l'autre sens. La diode est passante si $V_A > V_K$ c'est à dire $V_{AK} > 0$.

Lorsque la diode conduit le courant, on dit elle est passante, et on la représente par son schéma équivalent.

Si la diode est bloquée, on la représente par un circuit ouvert.

Exemple : Soit le circuit de la figure 41.

- Si $E > 0$: la diode D est passante (état ON) et $V_R = E$.
- Si $E = 0$, la diode D est bloquée (état OFF) et $V_R = 0$ (car $V_R = R \cdot I_R$ et $I_R = 0$).

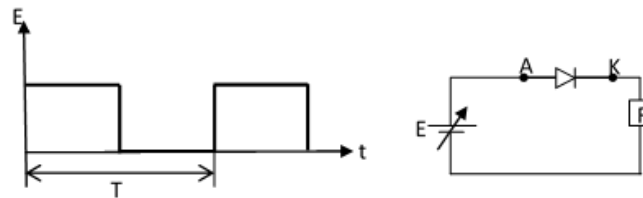


Figure 41. Circuit à diode.

2 Caractéristique I(V) d'une diode

La caractéristique I(V) d'une diode est donnée par :

$$I = I_s \left(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right)$$

Avec

I_s : courant de saturation de la diode est de l'ordre de 10^{-12} A.

n : coefficient d'idéalité de la diode ($1 < n < 2$) pour le silicium

V_T : tension thermique est donnée par : $V_T = \frac{kT}{q} = 25 \text{ mV}$ à température ambiante,

La température ambiante égale à 25°C .

K : constante de Boltzmann, $K = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$

T : température absolue en Kelvin (K)

q : charge de l'électron, $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Selon le type de polarisation, la diode se trouve dans plusieurs états :

2.1 Polarisation directe

L'anode de la diode est branchée à la borne positive du générateur et la cathode K de la diode est branchée à la borne négative du générateur ($V > 0$) le courant de la diode croit rapidement avec la tension.

2.2 Polarisation inverse

L'anode de la diode est branchée à la borne négative du générateur et la cathode est branchée à la borne positive du générateur ($V < 0$). La diode est bloquée, elle se comporte comme un circuit ouvert, le courant $I = I_s \approx 0$.

2.2.1 Zone de claquage

Si la tension inverse tension ($-V_d$) aux bornes de la diode devient trop importante, il y a un risque de destruction de la diode par échauffement de la jonction PN. Les constructeurs précisent la tension de claquage inverse ; elle correspond à la tension maximum que peut supporter une diode en polarisation inverse.

La caractéristique $I(V)$ d'une diode polarisée est représentée sur la figure 42. La diode est caractérisée par une tension de seuil V_d . Si la tension appliquée à ces bornes est supérieure à V_d la diode est passante. Et si la tension appliquée à ces bornes est inférieure à V_d la diode est bloquée.

2.2.2 La tension de seuil V_d

V_d est la tension directe positive à partir de laquelle la diode devient passante, est d'environ 0,6 V pour les diodes en silicium et d'environ 0.3 V pour les diodes en germanium. Cette tension est la barrière de potentiel à franchir pour que la diode laisse circuler un courant. Tant que cette valeur de tension n'est pas atteinte, dans le sens direct, aucun courant ne traverse la diode.

Si la diode est soumise à une tension inverse, donc négative, elle reste bloquée (aucun courant ne la traverse) jusqu'à une certaine valeur maximale. Cette valeur maximale est par exemple de 1000 V pour une diode référencée **IN4007**. Si cette valeur est atteinte, la diode, parcourue par un courant très important, est immédiatement détruite : on dit qu'elle claque. Cette tension inverse maximale est appelée *tension Zener ou tension de claquage*.

Il est donc important de connaître la caractéristique de la diode que l'on veut utiliser pour savoir si elle est compatible avec l'utilisation désirée.

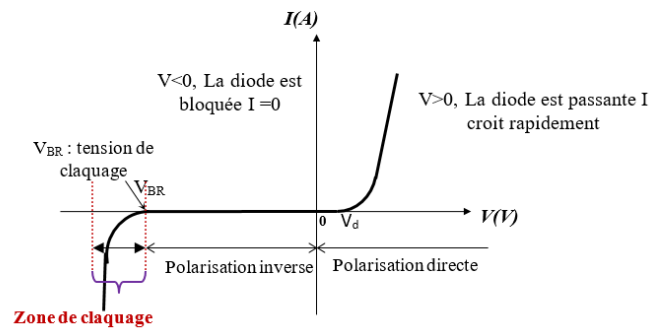


Figure 42. Caractéristique I(V) d'une diode.

2.2.3 La résistance dynamique

r_d de la diode est exprimée par :

$$r_d = \left(\frac{dV}{dI} \right)^{-1}$$

Lorsque $V > V_d \gg V_T$ la résistance dynamique peut être approximée par la formule suivante :

$$r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

2.3 Modèles électriques linéaires de la diode

La diode est un élément non linéaire, or l'analyse d'un circuit à comportement non linéaire est assez difficile, on remplace donc la diode par des modèles linéaires

La diode est modélisée par trois modèles :

- *Modèle de la diode idéale* : la tension de seuil $V_d = 0$, et la résistance dynamique $r_d = 0$.
- *Modèle de la diode parfaite* (classique) : la tension de seuil $V_d \neq 0$ et la résistance dynamique $r_d = 0$.
- *Modèle de la diode réelle* : la tension de seuil $V_d \neq 0$ et la résistance dynamique $r_d \neq 0$.

Cas d'une diode idéale ($r_d = 0$ et $V_d = 0$) : figure (43)

Si $V_{AK} > 0$, en polarisation directe il s'agit d'un interrupteur fermé, la diode est représentée par un court-circuit

Si $V_{AK} < 0$: en polarisation inverse c'est un interrupteur ouvert la diode est représentée par un circuit ouvert.

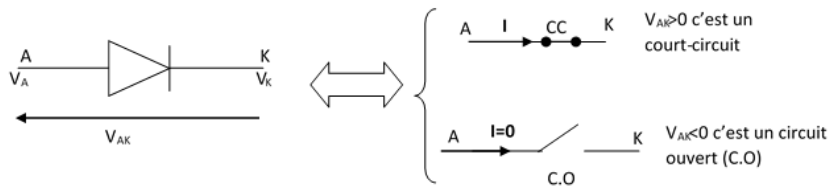


Figure 43. Modèle d'une diode idéale.

Cas d'une diode réelle $V_d \neq 0$ et $R_d \neq 0$: (figure 44)

En polarisation directe si $V_{AK} > V_d$ la diode est passante elle est remplacée par une source de tension V_d en série avec une résistance r_d .

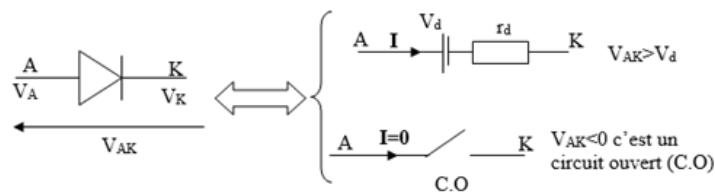
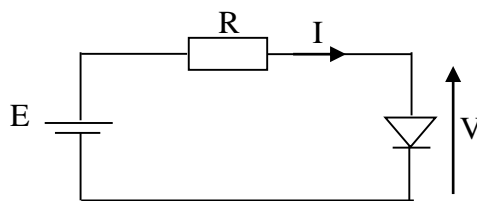


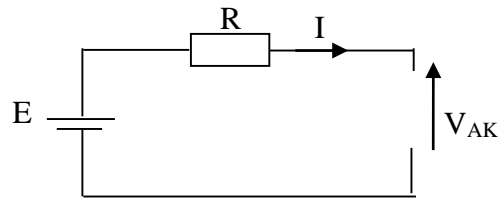
Figure 44. Modèle d'une diode réelle.

Exemple 1: déterminer la tension V et le courant I en utilisant le modèle idéal et réelle du circuit suivant : $V_d = 0.6$ V et $r_d = 1\Omega$. $E = 10$ V et $R = 1K\Omega$.



L'état de la diode passante ou bloquée : débrancher la diode et calculer la tension V_{AK} , si $V_{AK} > 0$ la diode est passante si non la diode est bloquée.

On considère que la diode est bloquée et on la représente par un circuit ouvert, donc on débranche la diode ($I=0$) et on calcul la tension de Thévenin V_{AK} à ces bornes.



On applique la loi des mailles : $V_{AK} = E - RI$

$I=0$ donc $V_{AK} = E = 10\text{ V} > 0$.

Donc la diode est passante dans le cas idéal

Dans le cas réel $V_{AK}=10\text{ V} > 0.6\text{V}$ donc la diode est passante.

1. Calcul de V dans le cas idéal

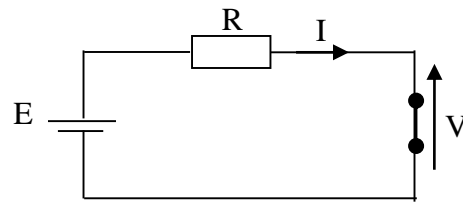
La diode est passante, on remplace la diode par un interrupteur fermé (court-circuit).

$$V=0 \text{ et } I = \frac{E}{R}$$

On donne $E=10\text{V}$ et $R=1\text{K}\Omega$

A.N.:

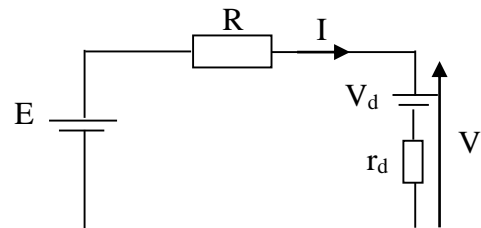
$$I = \frac{10}{1 \times 10^3} = 10\text{ mA}$$



2. Calcul de V_s dans le cas où la diode réelle

La diode est passante donc on la remplace par une source de tension V_d en série avec la résistance dynamique r_d .

$$V = \frac{\frac{E}{R} + \frac{V_d}{r_d}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r_d}}$$



3 Caractéristiques technologiques d'une diode

3.1 Valeurs limites d'utilisation : maximum rating

Les valeurs d'utilisation sont définies par le montage autour du composant Diode. C'est au concepteur du montage de s'assurer que les valeurs limites d'utilisation ne seront pas dépassées, voir tableau 17.

Tableau 17. Valeurs limites d'utilisation - Maximum ratings

Symbole	Expression	Unité	Définition
I_F	Forward Current	A	Courant direct continu
V_{RRM}	Reverse Repetitive Maximum Voltage	V	Tension inverse maximum répétitive
P_{tot}	Total power dissipation	W	Dissipation de puissance totale
T_{VJ}	Junction Temperature	°C	Température de jonction

3.2 Caractéristiques électriques

Ces valeurs sont intrinsèques au composant. On ne peut pas les modifier. Elles sont la conséquence de leurs caractéristiques de fabrication et des conditions d'utilisation.

Tableau 18 Caractéristiques électriques

Symbole	Expression	Unité	Définition
V_F	Forward Voltage	V	Tension directe
I_R	DC Reverse Current	μA	Courant inverse continu
t_{rr}	Reverse Recovery Time	ns	Temps de recouvrement inverse
R_{thj-c}	Junction-Case Thermal Resistance	W/°C	Résistance thermique Jonction - Boîtier

3.3 Caractéristiques technologiques données par le constructeur

Les fabricants des diodes donnent quelques paramètres des diodes tels que :

V_T : tension inverse maximale admissible ;

I_F : courant direct permanent admissible à la température spécifiée (ici : 75°C) ;

I_{FRM} : courant temporaire de surcharge ;

I_{FSM} : courant temporaire de surcharge en régime impulsionnel (ici : pour une alternance à 60 Hz).

3.4 La puissance dissipée dans une diode

La puissance dissipée dans une diode est donnée par le produit $P_d = I \cdot V_{AK}$. L'échauffement correspondant produit par l'effet Joule ne doit pas amener la température de la jonction au-dessus d'une valeur limite, fonction de la nature du matériau, afin que le courant inverse ne dépasse pas des valeurs inacceptables. Pour le silicium cette température de l'ordre de 185°C.

Les caractéristiques techniques de diodes de redressement standard sont représentées sur le tableau 19.

Tableau 19. Caractéristiques des diodes de redressement standard

**Tableau caractéristique
Diodes de redressement standard**

Type	I_0	V_{RRM}	I_{FSM}	$V_F @ I_F$ max.		I_R	T_j	P_D	Boîtier
	(A)	(V)	(A)	(V)	(A)	(mA)	(°C)	(W)	
1 N 4001 1 N 4002 1 N 4004 1 N 4007	1	50 100 400 1000	10	1,1	1	0,05	150		DO4
1 N 5401 5402 5404 5406 5407 5408	3	100 200 400 600 800 1000	200	1,2	3	0,5	150	6,25	DO 27 A (plastique)
BY 214- 50 100 200 400 600 800	6	50 100 200 400 600 800	400	1,2	20	0,25	100	6	AG (plastique)
BY 239- 200 400 600 800	10	200 400 600 800	140	1,45	30	0,5	125	12,5	TO 220 AC (plastique)
BY 88- 50 100 200 300 400 600 800 1000	10	50 100 200 300 400 600 800 1000	230	1,25	35	3	125		DO4 (métal)
1 N 248 B 249 B 250 B 1 N 1195 A 1 N 1198 RN 820 1120	20	50 100 200 300 600 800 1000	450	1,5	70	5	150		DO5 (métal)
1 N 1183 1 N 1190 1 N 3766 1 N 3768	40	50 600 800 1000	700	1,5	110	5	150		DO5 (métal)

Caractéristiques techniques d’une diode de redressement en silicium de type *1N4001* à *1N4007* en boîtier DO-41, du fabricant *fairchild semiconductor* (Figure 45). Les paramètres représentés sur le tableau 20 sont tirés du datasheet du composant.

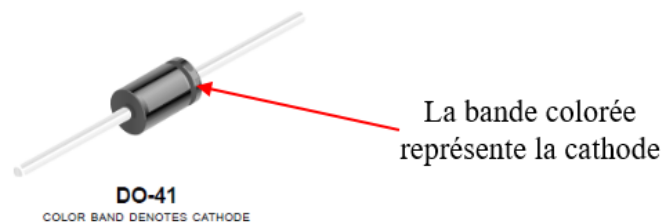


Figure 45. Diode de type 1N4001 à 1N4007 du fabricant Fairchild Semiconductor.

Tableau 20. Paramètres électriques des diodes de type 4001 à 4007

Absolute Maximum Ratings* $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current, .375 " lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	30							A
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +175							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							$^\circ\text{C}$

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Device							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_F	Forward Voltage @ 1.0 A	1.1							V
I_{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 75^\circ\text{C}$	30							μA
I_R	Reverse Current @ rated V_R $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	5.0 500							μA μA
C_T	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$	15							pF

4 Codes d'identification d'une diode

La valeur des diodes peut être indiquée de plusieurs façons : soit en clair selon un codage normalisé, soit en code de couleurs.

4.1 Affichage en clair, norme JEDEC ou Pro-Electron

Il existe deux normes pour deux types de dénominations :

- Les diodes suivant la norme américaine commencent par *IN* et se terminent par un numéro d'ordre, par exemple *IN4148*.

- Les diodes suivant la norme européenne commencent par deux ou trois lettres (AA, AB, BA, BB, BAX ou BAW par exemple) et se terminent par un numéro d'ordre.

4.2 Affichage en code de couleurs

Le codage de la valeur de la diode est réalisé avec quatre anneaux de couleur. Parmi ces quatre anneaux, un ou deux sont plus larges que les autres, ce qui permet de savoir par où commencer la lecture. Le côté où se trouvent le ou les anneaux les plus larges correspond à la cathode (K).

- *Un seul anneau et plus large que les autres (norme américaine)*

La figure 46 présente une diode dont le marquage est normalisé selon un codage américain, et le nom de la diode commence toujours par 1N.

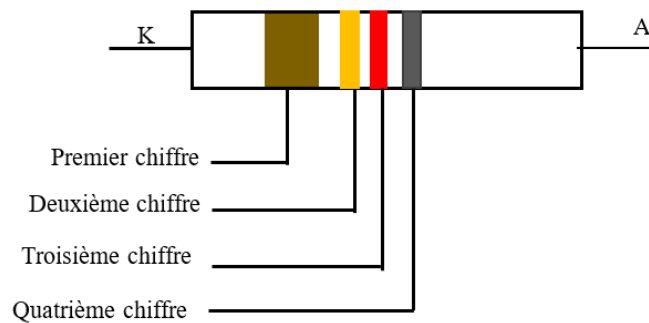


Figure 46. Norme américaine pour le codage des diodes.

- *Deux anneaux et plus large que les autres (norme européen)*

La figure 47 présente une diode selon le marquage européen, le nom de la diode commence par trois (deux plus une) lettres.

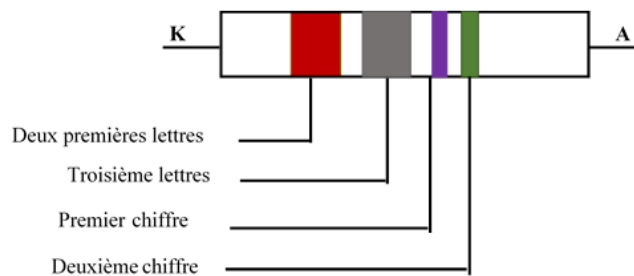


Figure 47. Norme européenne pour le codage d'une diode.

Remarque

Contrairement aux résistances et aux condensateurs, aucun anneau de couleur n'est utilisé pour indiquer un facteur de multiplication ou une tolérance.

Le tableau 21 montre la correspondance entre la couleur et la référence de la diode.

Tableau 21. Correspondance entre couleurs et valeurs

Chiffres significatifs		Première lettre		Troisième lettre	
Noir	0				
Marron	1	Marron	AA		
Rouge	2	Rouge	BA		
Orange	3			Orange	S
Jaune	4			Jaune	T
Vert	5			Vert	V
Bleu	6			Bleu	W
violet	7			Violet	X
Gris	8			Gris	Y
Blanc	9			Blanc	Z

Exemple 1

Diode avec un anneau large et trois anneaux étroits, donc norme américaine. En partant de l'anneau le plus large, on voit les quatre couleurs suivantes : jaune, marron, jaune, gris.

Jaune = 4 (premier chiffre)

Marron = 1 (deuxième chiffre)

Jaune = 4 (troisième chiffre)

Gris = 8 (quatrième chiffre).

La diode a donc pour valeur : 1N4148.

Exemple 2

Diode avec deux anneaux larges et deux anneaux étroits, donc norme européenne. En partant de l'anneau le plus large, on voit les quatre couleurs suivantes : rouge, gris, blanc, orange.

Rouge = BA (deux premières lettres)

Gris = Y (troisième lettre)

Blanc = 9 (premier chiffre)

Orange = 3 (deuxième chiffre)

La diode a donc pour valeurs : BAY93.

5 Association de diodes

5.1 Association série

Le groupement série représenté sur la figure 48 est utilisé pour le redressement de très hautes tensions en augmentant la tension inverse supportée par l'ensemble et la tension direct dans certains cas de stabilisation.

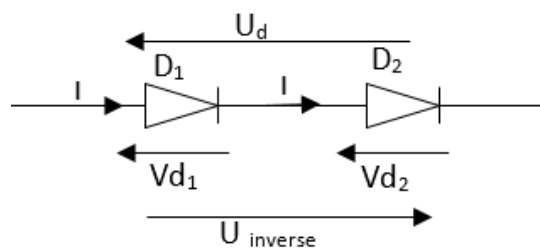


Figure 48. Association série de diode

- **Avantage de l'association série**

Augmente la chute de tension directe et augmente la tension inverse maximale admissible pour le redressement très haute tension, ainsi on aura : $U_d = Vd_1 + Vd_2$.

- **Contrainte de l'association série**

Les précautions suivantes doivent être prises : n'utiliser que des diodes de même référence, du même fabricant et de la même série (même date de fabrication) pour minimiser la dispersion des caractéristiques des diodes et égaliser le courant dans chaque diode.

5.2 Association parallèle

Le groupement parallèle de la figure 49 est utilisé pour augmenter l'intensité du courant redressé en minimisant la chute de tension dans les diodes et pour répartir la chaleur dissipée dans les composants.

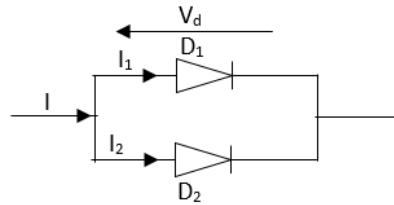


Figure 49. Association parallèle de diodes.

Avantage du groupement parallèle :

- Augmente le courant redressé. le courant $I = I_1 + I_2$.
- Minimise la chute de tension dans les diodes (qqs 10 mV)
- Répartit la chaleur dégagée par les diodes.

Contraintes: ce groupement demande l'utilisation de diodes de même références, même fabricant et même série.

Remarque: le groupement de diodes en série ou en parallèle est possible si les diodes sont de même références et de même série.

Les diodes de redressement les plus connus sont :

- la série 1N4001 à 1N4007 pour des courants d'intensité maximale de 1 A.
- la série 1N5400 à 1N5408 pour des courants d'intensité de 3 A.

6 Les différents types de diodes

- diodes de redressement: 1N4001-1N4007, 1N5402,
- diodes Zener (*BZX55C2V7*, *BZX85C2V7* deux diodes Zener à $V_Z=2.7V$)
- diodes Schottky 1N5817 ;
- diodes électroluminescents (LED) ;
- les photodiodes ;
- les varicaps ;
- Diodes de signal ;
- Diode de commutation ;
- Diodes de détection ;
- Diodes de puissance.

6.1 Les diodes électroluminescentes LED ou DEL

Une diode électroluminescente est une diode qui émet la lumière lorsqu'elle est polarisée en direct. La LED est composée en plusieurs familles définies selon la puissance ou selon le spectre d'émission de lumière.

Selon la puissance des LED, on trouve les LED de faible voltage elles servent de voyant de veille des appareils électriques, et les LED de puissance sont utilisées dans les ampoules, les lampes de poche ou encore dans les phares de voiture.

Selon la couleur de la lumière émise on trouve les LED à couleurs visibles : rouge, bleu, vert ou blanche, la figure 50 montre quelques LED. Et les LED infrarouge qui émettent une lumière invisible, celles-ci sont utilisées dans les télécommandes.

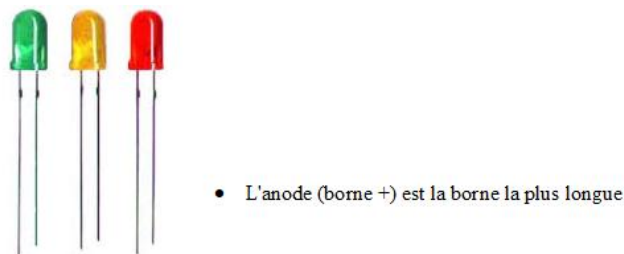


Figure 50. Photo de trois LED : vert, jaune et rouge.

Les LED doivent être alimentées en courant continu, et polarisées en direct pour émettre de la lumière. Les tensions directes des LED étant très basses varient de 1.5 V à 3.3 V. Pour faire fonctionner une LED il faut utiliser une alimentation supérieure à sa tension directe V_F : de 5, 12, 24 volts ou plus et il faut aussi rajouter une résistance de limitation de courant. La figure 51 montre une LED alimentée pour une tension continue.

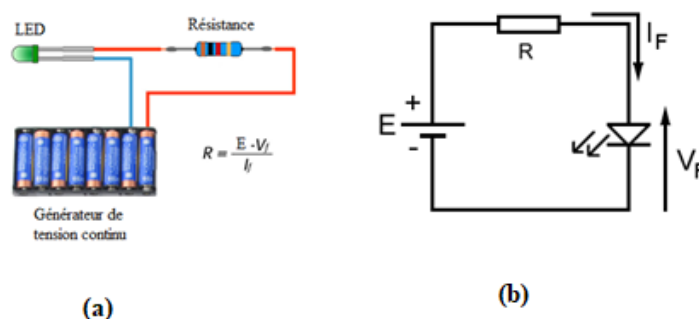


Figure 51. Branchement d'une diode électroluminescente avec une alimentation continue.

Le schéma électronique représenté à la figure 51-b, nous indique que la diode est polarisée en direct. La résistance R permet de limiter le courant direct I_F à la valeur préconisée par le constructeur en correspondance à la tension directe de la LED. I_F est le courant permanent que peut supporter la LED.

- **Comment Tester une LED**

On peut tester ou alimenter une LED directement avec une pile de 1.5V (figure 51).

- **Précautions à prendre pour tester une LED**

Il faut tenir en compte des caractéristiques électriques données par le constructeur à la température ambiante et à la température de fonctionnement.

- **Température ambiante**

Le constructeur de la diode donne un courant d'emploi I_F pour une température ambiante 25°C. Si la température ambiante peut facilement dépasser ce seuil, il faudra alors réduire l'intensité du courant.

- **Température de fonctionnement**

La température de la jonction doit rester inférieure à 125°C ; mais si la diode est montée dans un boîtier plastique, la température de fonctionnement ne devra pas dépasser 100°C.

- **Exemple d'une LED avec une alimentation de 5 volts**

Pour expliquer les principes et les calculs de base, nous allons fonctionner une LED à partir d'une tension de 5V en courant continu.

Si la LED est alimentée directement en 5 V, elle éclaire mais, le courant qui la traverse est excessif et elle finit par chauffer et griller. Pour limiter le courant, une résistance de limitation de courant sera branchée en série avec la LED.

- **Etude de la caractéristique du courant d'une LED**

Pour alimenter correctement une LED il faut

- Déterminer un courant de fonctionnement I_F ;
- Trouver la tension directe (V_F) correspondant à ce courant.

Le courant direct minimum qui nous intéresse sera celui où la LED commence à émettre de la lumière ; le courant maximum est donné par le constructeur de la diode (mode permanent ou pic).

Les documents techniques (datasheet) du constructeur de la LED verte 703-0097 *multicom*, nous indiquent une tension directe de 2.1 V pour un courant I_F de 20 mA sachant que cette diode est prévue pour un courant de 30 mA maximum en mode continu à température ambiante ($T_{amb}=25^\circ\text{C}$).

- Calcul de la résistance de limitation

Le calcul est une simple application de la loi d'Ohm et se fait en deux temps.

- Calcul de la chute de tension dans R lorsque la tension de seuil de la LED est de 2.1 V.

$$U_R = E - V_F$$

$$U_R = 5 - 2.1 = 2.9 \text{ V}$$

Cette tension de 2.9 V représente la tension qui sera présente aux bornes de la résistance de limitation.

La valeur de la résistance R est donnée par :

$$R = \frac{U_R}{I_F} = \frac{2.9}{0.020} = 145 \Omega$$

I_F est le courant qui traverse la résistance $I_F=20 \text{ mA}$

En pratique nous utiliserons une résistance de la série E₂₄ (tolérance $\pm 5\%$) de 160 Ω .

- Pourquoi 160 Ω au lieu de 150 Ω ?

La valeur de 160 ohms permet de ne pas dépasser le courant que l'on s'est fixé (20 mA). Il faut tenir compte de la tolérance pour connaître les valeurs limites que peut avoir une résistance.

Si nous prenons une résistance de 150 ohms avec une tolérance de 5%, elle peut avoir comme valeur plus ou moins 5% de 150 ohms.

$$L'écart \Delta R = 150 \times 5\% = 7.5 \Omega$$

$$R_{min} = 150 - 7.5 = 142.5 \Omega ;$$

$$R_{max} = 150 + 7.5 = 157.5.$$

Nous pouvons choisir une résistance de 160 Ω ou trier une résistance parmi celles données du 150 Ω .

- Caractéristiques technologiques données par le constructeur d'un LED

Le fabricant d'une LED donne un datasheet expliquant les caractéristiques technologiques (tableau 19), les conditions d'utilisation, la couleur et l'intensité de la lumière

émise, et les dimensions du composant comme le montre la figure 52. Si ces paramètres ne sont pas respectés, le composant peut être détérioré.

Tableau 22. Paramètres électrique et optique d'une LED rouge donnée par le constructeur Vishay Semiconductor

PARTS TABLE														
PART	COLOR	LUMINOUS INTENSITY (mcd)			at I _F (mA)	WAVELENGTH (nm)			at I _F (mA)	FORWARD VOLTAGE (V)			at I _F (mA)	TECHNOLOGY
		MIN.	TYP.	MAX.		MIN.	TYP.	MAX.		MIN.	TYP.	MAX.		
TLUR6400	Red	4	15	-	10	-	630	-	10	-	2	3	20	GaAsP on GaAs
TLUR6401	Red	4	15	32	10	-	630	-	10	-	2	3	20	GaAsP on GaAs

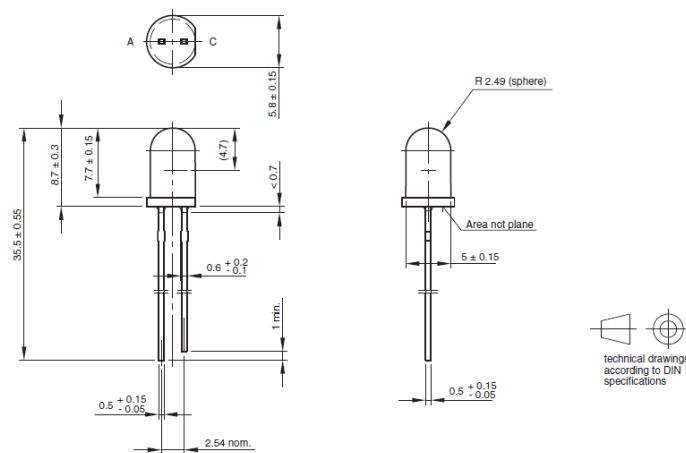


Figure 52. Dimensions de la LED TLUR 6400-TLUR 6401.

6.2 Les photodiodes (cellule photovoltaïque)

La photodiode appelée aussi cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de convertir l'énergie lumineuse en électricité. On trouve des cellules à base de silicium monocristallin, amorphe et multi-cristallins et des cellules à base de l'AsGa.

La photodiode est une jonction PN éclairée. Elle fonctionne en polarisation inverse, si l'éclairement augmente le courant inverse augmente.



Figure 53. Symbole d'une photodiode.

6.3 Diode varicap

Cette diode possède une capacité très faible. La capacité d'une diode polarisée en inverse diminue quand la tension inverse augmente. Ainsi on a un condensateur variable qui est commandé par une tension. Cette diode, on la trouve dans les oscillateurs ou les circuits d'accord.

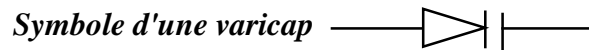


Figure 54. Symbole d'une varicap.

6.4 Diode Schottky

C'est une structure métal-semiconducteur est caractérisée par une tension de seuil plus faible que celle d'une jonction PN, de l'ordre de 0.2 à 0.4 V. Elle possède aussi un temps de commutation très court. Ceci permet la détection de signaux haute fréquence faible et hyperfréquences.

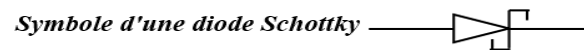


Figure 55. Symbole d'une diode Schottky.

7 Utilisation et applications d'une diode

Il existe divers types de diodes correspondant à des technologies différentes. Chaque technologie présente le meilleur compromis pour une utilisation donnée. Nous citons quelques applications :

- Redressement simple alternance
- Circuits écrêteurs
- Réalisation d'alimentation stabilisée en utilisant les diodes Zener.
- La protection contre l'inversion de polarité des circuits intégrés.
- La protection des portes logiques.
- Réalisation des afficheurs 7 segments en utilisant les diodes électroluminescentes.
- Les photodiodes sont utilisées pour la réalisation de panneaux solaires.

7.1 Redressement simple et double alternance avec filtrage

Le circuit de redressement simple alternance est représenté sur la figure 56. V_e est un signal sinusoïdal d'amplitude V_{\max} . La tension de sortie V_s est représentée sur les graphes de la figure 56.

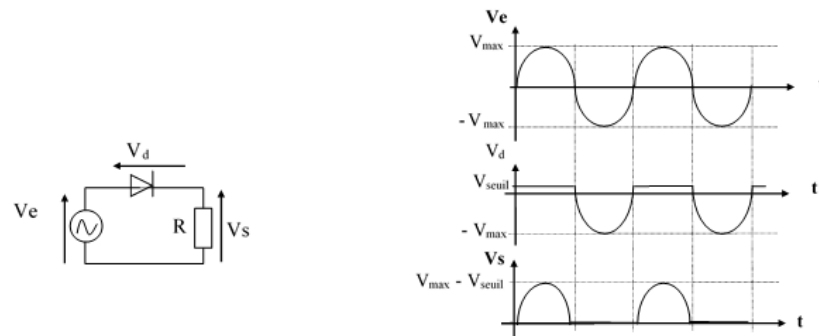


Figure 56. Redressement simple alternance sans filtrage.

Pour avoir une tension V_s continue sans ondulation, on rajoute un condensateur de filtrage en parallèle avec la résistance R .

Pour faire passer les deux alternances et avoir un taux d'ondulation réduit, on utilise un pont de diode (constitué de 4 diodes).

7.2 Ecrêtage

Ces Circuits écrêteurs ou limiteurs ont pour but de modifier l'amplitude d'une tension ou plus exactement d'en supprimer une partie du signal. On peut par exemple obtenir un signal carré à partir d'un signal sinusoïdal.

Un exemple de circuit d'écrêtage est représenté sur la figure 57. V_e est un signal alternatif (sinusoïdal).

Si V_e est positif, D_1 passante et D_2 bloquée, et $V_s = V_d = 0.6V$.

Si V_e est négatif, D_1 bloquée et D_2 est passante, $V_s = -V_d = -0.6V$.

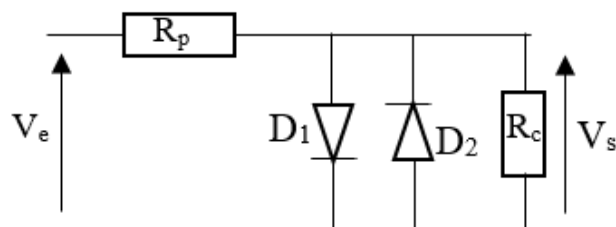


Figure 57. Circuit limiteur à diodes.

7.3 Réalisation d'alimentation stabilisée en utilisant une diode Zener

La stabilisation ou régulation de tension intervient généralement après un redressement d'une tension alternatif. La régulation sert à éliminer les ondulations et fixer la tension de sortie à une tension constante. Dans le cas de faible courant, on utilise la diode Zener.

La diode Zener est polarisée en inverse. Et dès que la tension inverse à ces bornes est plus élevée que la tension de claquage, la diode devient passante et le potentiel à ces bornes prend alors la valeur de sa tension de claquage.

La valeur de la tension de sortie du circuit de la figure 58 sera égale à la tension Zener (V_Z) lorsque la diode est passante.

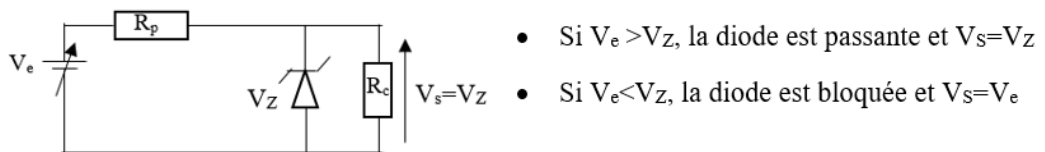


Figure 58 .Tension stabilisée par diode Zener.

8 Test et pannes d'une diode

On teste la diode soit avec un testeur à diodes ou avec un ohmmètre.

On met le multimètre sur la position diode est on lit la valeur de V_d , comme le montre la figure 59.

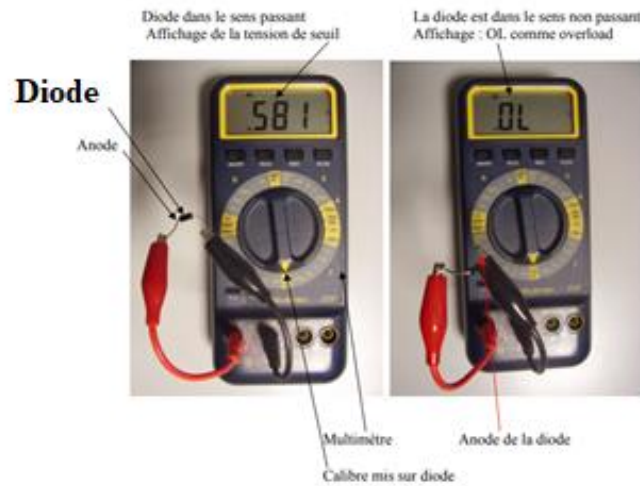


Figure 59. Tester une diode avec un multimètre sur la position diode.

8.1 Etats possibles d'une diode défectueuse

- **Coupée** : la diode est un circuit ouvert et la résistance tend vers ∞ .
- **En court-circuit** : Le claquage est total, la résistance tend 0 dans les deux sens.
- **En fuite** : la résistance inverse n'est pas infinie, elle présente une résistance non négligeable.

Dans le cas où on suppose que la diode est un court-circuit, il faudra tester la diode une fois celle-ci dessoudée, car sinon, on mesure en plus la résistance du circuit qui dans certains cas peut-être très faible.

Chapitre 5 : Les transistors bipolaires

1 Généralités

Un transistor est constitué de trois couches de semiconducteurs formant ainsi deux *jonctions PN*.

On peut considérer le transistor comme l'association de deux diodes montées en inverse.

Le transistor comporte trois connexions (ou trois électrodes) : l'émetteur (**E**), la base (**B**) et le collecteur (**C**).

Selon le sens de montage de ces diodes on obtient deux types de transistors : le *NPN* ou le *PNP*. La figure 60 représente les structures et les symboles des deux types de transistors.

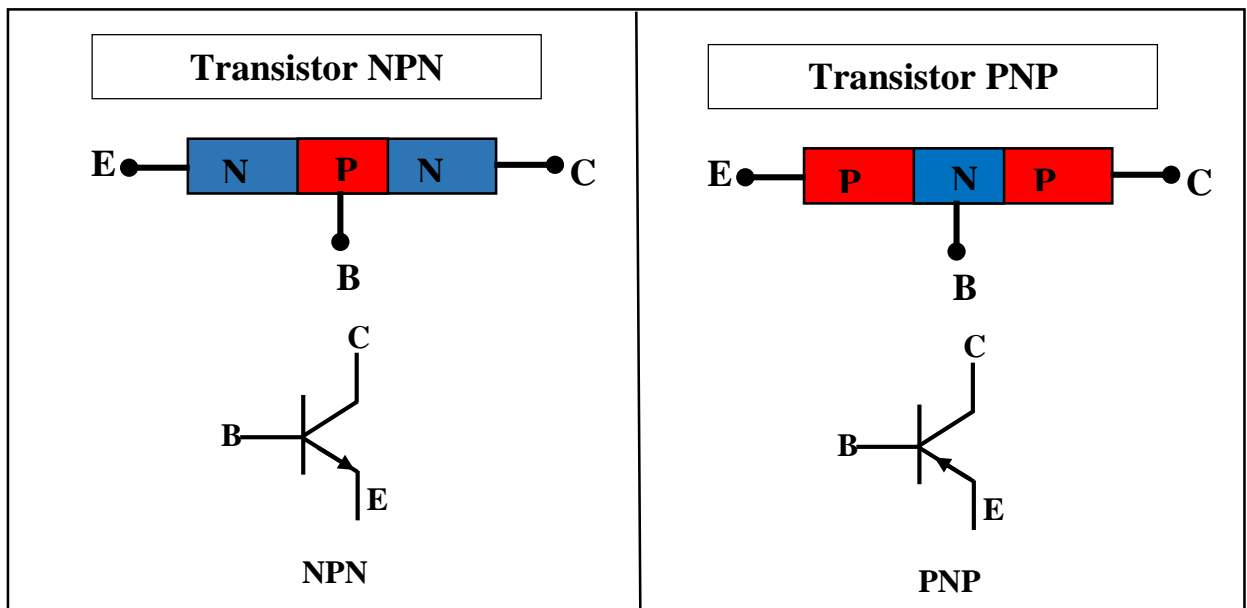


Figure 60. Structure et symbole des transistors NPN et PNP.

Remarque

L'émetteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant dans la jonction entre base et émetteur. C'est l'effet transistor qui permet à la diode qui est en inverse de conduire quand une tension est appliquée sur la base.

- Dans un transistor NPN la flèche est sortante
- Dans un PNP la flèche est entrante.

2 Relation entre courant-tension dans un transistor

$$I_C = \beta I_B$$

β : le gain de l'amplificateur (transistor),

I_C : courant du collecteur

I_B : courant de base

$$I_E = I_C + I_B = (\beta + 1)I_B \text{ si } \beta \gg 1 \Rightarrow I_E = I_C$$

$$V_{CE} = V_{BE} + V_{CB}$$

La tension $V_{BE}=0.6$ V pour le silicium.

- le coefficient β , gain en courant du transistor, est souvent noté H_{fe} dans les catalogues des constructeurs. Il est parfois aussi appelé coefficient d'amplification statique en courant. β varie de 30 à 300 selon le type du transistor (technologie de fabrication et matériaux utilisés).
 - pour les transistors petits signaux : $100 < \beta < 300$
 - pour les transistors de puissance : $30 < \beta < 100$.

3 Caractéristiques d'un transistor

Les constructeurs donnent en général les valeurs ci-dessous à ne pas dépasser pour éviter la détérioration du transistor.

V_{CE0} ou V_{max} : tension collecteur-émetteur maximal (à $V_{BB}=0V$).

V_{BE0} : tension base émetteur maximale

I_{Cmax} : courant maximale dans le collecteur

P : la puissance maximale que peut dissiper le transistor, $P = V_{CE}I_C$.

4 Polarisation d'un transistor NPN

Deux sources d'alimentations sont nécessaires pour assurer un fonctionnement correct d'un transistor. Elles sont souvent notées :

- V_{BB} : alimentation du circuit base
- V_{CC} : alimentation du circuit collecteur

Polariser un transistor c'est lui fixer un ensemble de valeurs caractérisant son état de fonctionnement. Cela revient à fixer les valeurs des tensions de polarisation des diodes V_{BE} et V_{CE} ainsi que le courant de commande I_B et le courant d'émetteur ou de collecteur.

Le montage le plus utilisé est le montage « émetteur commun », mais il existe aussi les montages « base commune » et « collecteur commun » où se sont la base et le collecteur qui servent de pole commun.

Polariser un transistor va donc consister à insérer ce quadripôle entre un réseau d'entrée, qui va fixer les valeurs V_{BE} et I_B , et un réseau de sortie qui va fixer les valeurs V_{CE} et I_C . Pour déterminer le point de fonctionnement d'un transistor, on trace la droite de charge statique $I_C=f(V_{CE})$. Le point de fonctionnement se situe au milieu de la droite de charge. Il a été vu que tout réseau linéaire et invariant dans le temps peut se mettre sous forme de dipôle de Thévenin, on en déduit le schéma de principe général d'un transistor polarisé montré à la figure 61.

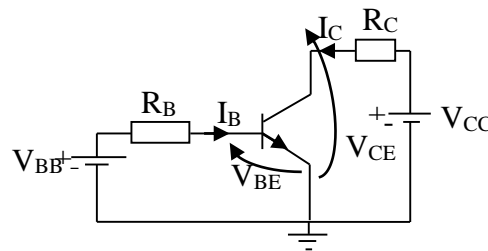


Figure 61. Principe générale de la polarisation d'un transistor.

4.1 Droite d'attaque statique $I_B=f(V_{BE})$

L'équation de la maille d'entrée :

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

C'est l'équation d'une droite que l'on appellera la droite d'attaque. Cette droite est représentée sur la caractéristique de base du transistor. Les valeurs de V_{BE} et de I_B devant vérifier à la fois l'équation de fonctionnement du transistor et celle du réseau d'entrée, elles seront déterminées par l'intersection entre la droite d'attaque statique et la caractéristique de base du transistor comme le montre la figure 62. Il est évident que si le point P est tel que $V_{BE0} < 0,6 \text{ V}$, alors le transistor sera bloqué et $I_{BE0} = 0$.

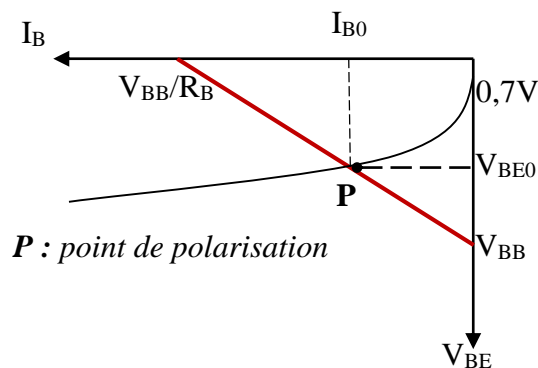


Figure 62. Droite d'attaque statique $I_B=f(V_{BE})$ d'un transistor.

4.2 Droite de charge statique $I_C=f(V_{CE})$

L'équation de la maille du circuit de sortie nous donne :

$$V_{CC} = V_{CE} + R_C I_C$$

La droite représentative de cette équation est appelée *droite de charge statique*. L'intersection de cette droite avec la caractéristique de collecteur de transistor donne les valeurs de V_{CE} et de I_C comme le montre la figure 63. La caractéristique de collecteur choisie correspondra au courant de base I_{B0} déterminé par la droite d'attaque statique.

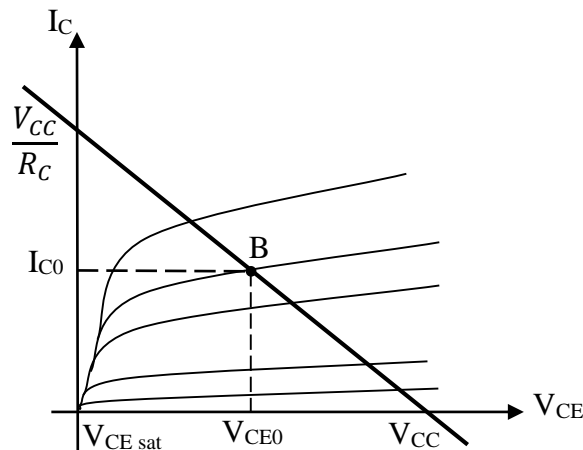


Figure 63. Droite de charge statique $I_C=f(V_{CE})$.

4.3 Blocage et saturation

Lorsque $V_{BE0} < 0,6$ V, le transistor est bloqué et donc $I_B=0$ et $I_C = 0$. Donc $V_{CE} = V_{CC}$.

Lorsque $V_{CE} < V_{CE sat}$ ($V_{CE sat}$ variant entre quelques dixièmes de volts et 1 volt), on peut donner une excellente approximation de I_C par la formule :

$$I_C \approx \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Tous les points de fonctionnement tels que $V_{CE sat} < V_{CE} < V_{CC}$ et $0 < I_C < \frac{V_{CC}}{R_C}$, donc situés entre les points de blocage et de saturation se trouvent dans la zone active.

- Exemples

Dans cet exemple on n'utilisera pas deux sources de tension V_{CC} et V_{BB} car cela serait trop coûteux et trop encombrant. La tension V_{BB} sera égale à V_{CC} où à une fonction de V_{CC} .

L'étude de la polarisation sert non seulement à déterminer le point de fonctionnement d'un transistor, mais aussi à choisir les valeurs de R_C , R_B , V_{CC} et V_{BB} pour obtenir un point de fonctionnement déterminé.

- **Exemple 1**

Le transistor **2N4401** du circuit de la figure 64 (a) est un transistor au silicium avec $\beta=80$.

1. Tracer la droite de charge statique.
2. Déterminer le point P de la polarisation lorsque $R_B=390\text{ K}\Omega$, $R_C= 1.5\text{ K}\Omega$. $V_{CC}= 30\text{ V}$.
3. Déterminer I_B à partir de la droite de charge statique.

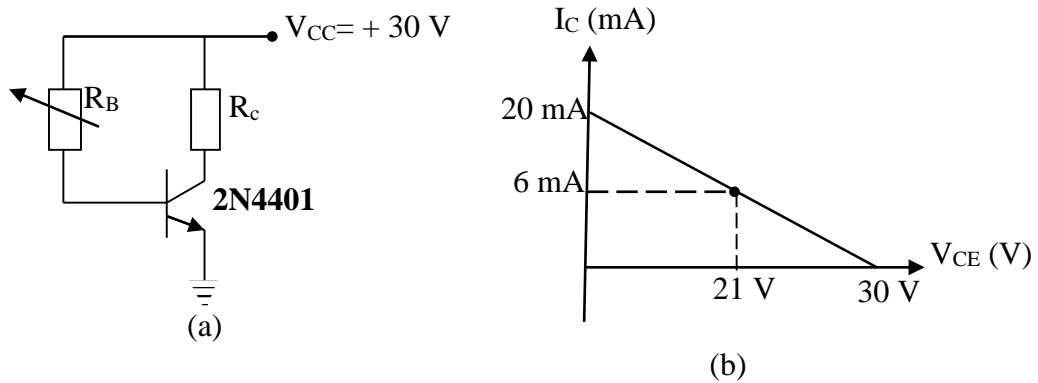


Figure 64. Droite de charge statique de l'exemple 1.

Solution

$$I_{C\text{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{30}{1500} = 20\text{ mA}$$

$$V_{CE\text{ blocage}} = V_{CC} = 30\text{ V}$$

La figure 64 (b) représente la droite de charge statique. Déterminons I_B :

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{30 - 0,7}{390 \cdot 10^3} = 75,1\text{ mA}$$

Le courant collecteur est :

$$I_C = \beta I_B = 80 \times 75,1 \cdot 10^{-6} = 6\text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 30 - 6 \cdot 10^{-3} \times 1500 = 21\text{ volts.}$$

La figure 64 (b) donne le point de repos P avec ces coordonnées $I_C=6\text{ mA}$ et $V_{CE}=21\text{ V}$.

On remarque que le point P est sur la droite de charge statique car cette droite représente tous les points de fonctionnement possibles. Si on changeait la valeur de R_B , le point P se déplacerait alors en un autre point P se déplacerait alors en un autre point de la droite de charge.

4.4 Réseau de caractéristique d'un transistor bipolaire

Le réseau de caractéristiques de la figure 65, établi par le constructeur du transistor, nous permet de connaître tous ce qu'il est utile sur le composant afin de le polariser correctement.

Dans le premier cadran, $I_C=f(V_{CE})$, on a une infinité de courbes, correspondant chacune à une valeur du courant de base. Le constructeur n'en a bien sûr représenté que quelques-unes. Pour un courant de base donné, on s'aperçoit que la courbe a deux zones distinctes. Dans la première, pour des faibles tensions de V_{CE} , on est dans un régime de commutation ; le transistor est utilisé comme interrupteur. Dans le second, pour des tensions V_{CE} allant de 0.3V à V_{CEmax} , on est dans la zone de fonctionnement linéaire, et le transistor est utilisé en amplificateur.

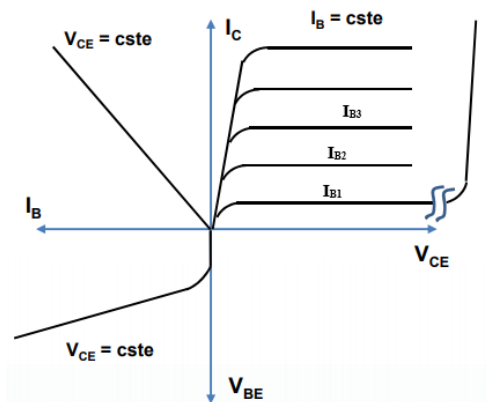


Figure 65. Réseau de caractéristique d'un transistor bipolaire.

Dans le deuxième cadran, $I_C=f(I_B)$, on voit que la courbe est une droite. Sa pente correspond au gain du transistor noté β .

Dans le troisième est le dernier cadran, $I_B=f(V_{BE})$ nous donne le courant de base en fonction de la tension V_{BE} . On peut constater que cette courbe ressemble à la polarisation d'une diode. Cela est toute à fait normal car, c'est l'on se réfère au schéma d'un transistor, on constate bien que l'on a une jonction NP (diode) entre la base et l'émetteur.

4.5 La puissance dissipée par un transistor

La puissance dissipée par un transistor en régime statique est donnée par:

$$P = I_C V_{CE}$$

5 Le transistor Darlington

Le transistor Darlington est composé de deux transistors implantés sur le même substrat comme le montre la figure 66. Le gain est beaucoup plus élevé que précédemment, le gain du premier transistor est multiplié par le deuxième et l'on a:

$$\beta = \beta_1 \beta_2$$

- Inconvénients du Darlington

- Le seuil de conduction V_{BE} à partir duquel le Darlington commence à conduire est doublé comparé à un transistor simple, le courant de commande traverse la jonction base/émetteur du premier transistor puis la jonction base/émetteur du deuxième, par conséquent le V_{BE} du Darlington est l'addition des deux V_{BE} .
- La chute de tension V_{CEsat} du Darlington (typiquement 1,4V) est supérieure à celle d'un transistor bipolaire simple (typiquement 0,7 V), ce qui augmente sensiblement les pertes par effet joule, surtout dans les applications de puissance.

De plus, la tension V_{BE} de mise en conduction vaut :

$$V_{BE} = V_{BE1} + V_{BE2}$$

Soit environ 1.4 V pour le transistor en silicium.

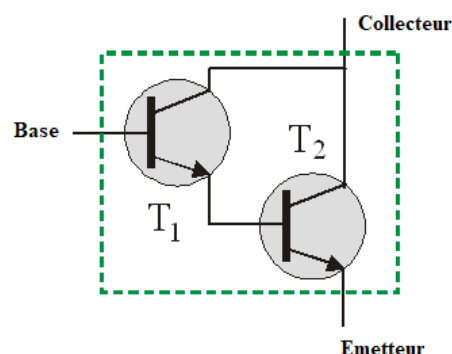


Figure 66. Schéma de base d'un Darlington.

6 Les différents types de boîtiers

La plupart des transistors possèdent 3 pattes, ces transistors sont présentés dans un boîtier soit métallique, soit en plastique.

- Le transistor de référence 2N2222 est un transistor NPN présenté dans un boîtier métallique.
- Le transistor PN2222 est un transistor NPN qui est présenté dans un boîtier plastique TO92.
- Un transistor de type BC237, également un transistor NPN en boîtier plastique TO92, présente un brochage inversé par rapport à celui du PN2222.

Il existe d'autres boîtiers de type: TO1, TO3, TO5, TO220, ...

- TO92 est un boîtier en plastique
- le TO18, TO39 sont des boîtiers métalliques.

Il existe différents boîtiers pour les transistors, suivant son emploi et la puissance qu'il devra dissiper comme le montre la figure 67.

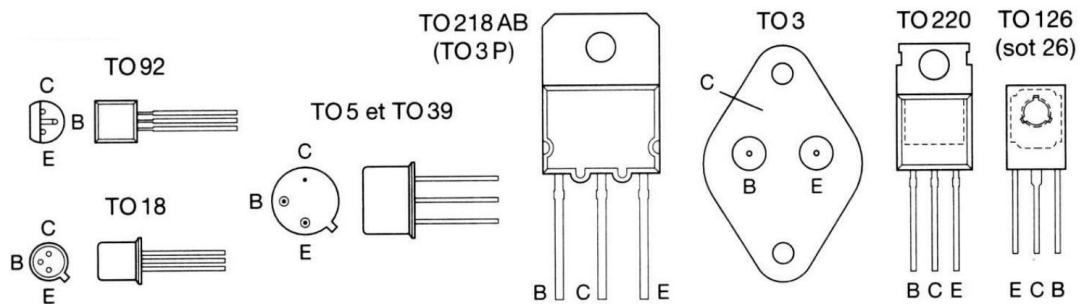


Figure 67. Les différents boîtiers d'un transistor.

7 Caractéristiques technologiques donnée par le constructeur

Le datasheet d'un transistor bipolaire de puissance de référence: BD909, BD911, BD910 et BD912 est représenté par la figure 68 et les tableaux 20 et 21.

- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES

DESCRIPTION

The BD909 and BD911 are silicon Epitaxial-Base NPN power transistors mounted in Jedec TO-220 plastic package. They are intended for use in power linear and switching applications.

The complementary PNP types are BD910 and BD912 respectively.

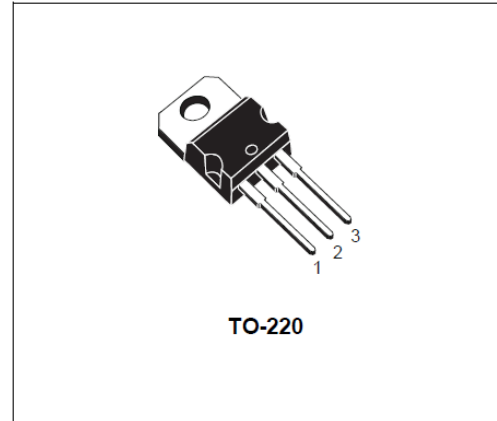


Figure 68. Transistor de puissance dans un boîtier TO-220.

Tableau 23. Valeur maximum à ne pas dépasser d'un transistor de puissance

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit	
		NPN	BD909		BD911
		PNP	BD910		BD912
V_{CB0}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	80	100	V	
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	80	100	V	
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	5		V	
I_E, I_C	Collector Current	15		A	
I_B	Base Current	5		A	
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ\text{C}$	90		W	
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		$^\circ\text{C}$	
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150		$^\circ\text{C}$	

For PNP types voltage and current values are negative.

Tableau 24. Caractéristiques électrique d'un transistor bipolaire de puissance**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_{\text{case}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-off Current ($I_E = 0$)	for BD909/910 for BD911/912 $T_{\text{case}} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	$V_{CB} = 80\text{ V}$ $V_{CB} = 100\text{ V}$		500 500	μA μA
		for BD909/910 for BD911/912	$V_{CB} = 80\text{ V}$ $V_{CB} = 100\text{ V}$		5 5	mA mA
I_{CEO}	Collector Cut-off Current ($I_B = 0$)	for BD909/910 for BD911/912	$V_{CE} = 40\text{ V}$ $V_{CE} = 50\text{ V}$		1 1	mA mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 5\text{ V}$			1	mA
$V_{CEO(\text{sus})}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 100\text{ mA}$	for BD909/910 for BD911/912	80 100		V V
$V_{CE(\text{sat})}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 5\text{ A}$	$I_B = 0.5\text{ A}$		1	V
		$I_C = 10\text{ A}$	$I_B = 2.5\text{ A}$		3	V
$V_{BE(\text{sat})}^*$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ A}$	$I_B = 2.5\text{ A}$		2.5	V
V_{BE}^*	Base-Emitter Voltage	$I_C = 5\text{ A}$	$V_{CE} = 4\text{ V}$		1.5	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 0.5\text{ A}$	$V_{CE} = 4\text{ V}$	40	250	
		$I_C = 5\text{ A}$	$V_{CE} = 4\text{ V}$	15	150	
		$I_C = 10\text{ A}$	$V_{CE} = 4\text{ V}$	5		
f_T	Transition frequency	$I_C = 0.5\text{ A}$	$V_{CE} = 4\text{ V}$	3		MHz

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %
For PNP types voltage and current values are negative.

8 Les applications des transistors bipolaires

8.1 Amplification

Le transistor utilisé dans le circuit de la figure 69 est un *NPN*, quand on fait circuler un petit courant dans la base I_B du transistor, un courant plus important circule du collecteur vers l'émetteur (I_C). Le courant de base est multiplié par un coefficient β :

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

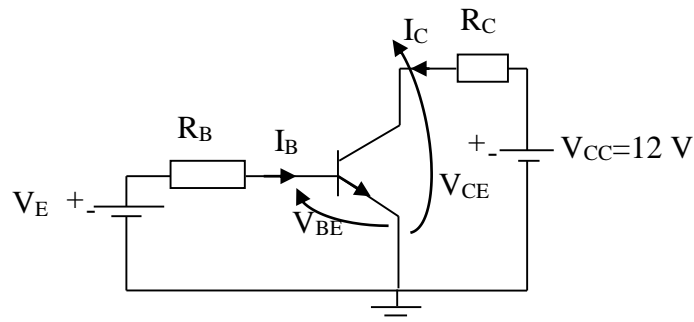


Figure 69. Circuit d'amplification à l'aide d'un transistor NPN.

Remarque

- Le coefficient β est appelé gain en courant du transistor.
- Il est souvent noté Hfe dans les documentations techniques.
- Il est parfois appelé aussi coefficient d'amplification statique en courant.
- En général β se situe entre 30 et 300.
- Le montage est alimenté par 2 tension V_E et $V_{CC}=12V$, (V_{CC} représente l'alimentation du circuit collecteur).
- Si le courant I_B est continu, le courant I_C est continu.
- Si le courant I_B est alternatif, le courant I_C est alternatif (Si I_B est un signal sonore comme de la musique, I_C est le même signal sonore mais plu fort).

Pour le circuit précédent de la figure 69, on donne : $I_C=200$ mA, $V_{BE}=0.6V$, $V_E=6V$, et $\beta=100$.

Calculer la résistance R_B nécessaire à ce montage.

- Calcul de I_B :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{200}{100} = 2mA.$$

- Calcul de R_B : on utilise la maille d'entrée

$$V_E = R_B I_B + V_{BE} \Rightarrow R_B = \frac{V_E - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{6 - 0.6}{2} = 2.7 k\Omega$$

8.2 Commutation

Le transistor en commutation est utilisé afin d'ouvrir ou de fermer un circuit, *c'est une sorte d'interrupteur commandé*, le circuit de la figure 70 est un exemple de circuit de commutation. Ainsi il peut commander une LED, un relais, un moteur, ou autre dispositifs. On considère généralement le circuit de sortie du transistor comme un interrupteur commandé soit par une tension, soit par un courant suivant le type du transistor choisi. Un transistor pourra donc avoir deux états : soit il conduit, soit il est bloqué.

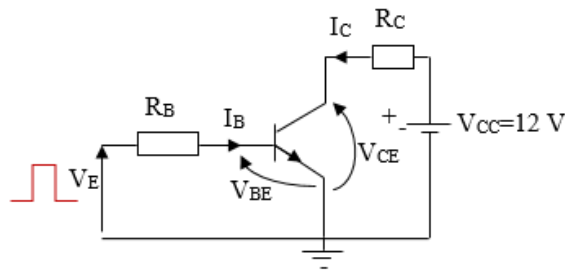


Figure 70. Transistor utilisé en commutation.

La tension V_E pourra prendre deux valeurs (0V ou 5V).

- **1^{er} cas : $V_E = 0V$ (0 logique)**

Le transistor est **bloqué**, Il ne peut pas conduire car $I_B = 0$ et $V_{BE} < 0.6V$.

Alors on obtient :

$I_C = 0 A$. $V_{CE} = 12 V$.

- **2^{ème} cas : $V_E = 5 V$ (1 logique)**

Le transistor conduit le courant car $I_B \neq 0$ et $V_{BE} = 0.6 V$.

En commutation, pour que l'on soit sûr que le transistor conduise on va le saturer (par exemple, si dans le calcul on trouve qu'il faut un courant $I_B = 2mA$ pour que le transistor conduise et fasse circuler le courant I_C voulu, alors on choisira les éléments du montage pour avoir un courant de 4 mA, on utilisera donc un coefficient de saturation de 2). Quand le transistor est saturé, $V_{CE} = 0V$, en général $< 0.5V$). La vraie valeur de V_{CEsat} se trouve dans la documentation technique du transistor.

9 Repérage des pattes du transistor

La figure 71 montre comment repérer les trois électrodes d'un transistor 2N2222 en boîtier TO18. L'ergot permet de repérer l'émetteur, et le collecteur est relié électriquement au boîtier.

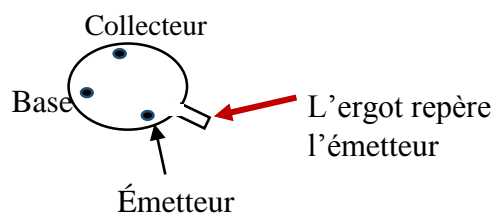


Figure 71. Repérage des pattes d'un transistor bipolaire.

Chapitre 6 : Les circuits intégrés logiques

1 Introduction

Le circuit intégré (CI), aussi nommé *puce* électronique, est un composant électronique reproduisant une ou plusieurs fonctions électroniques plus ou moins complexes, intégrant fréquemment plusieurs types de composants électroniques de base dans un volume réduit, rendant le circuit facile à mettre en œuvre. Il existe une très grande variété de ces composants divisés en deux grandes catégories : analogiques et numériques. En général, l'utilisateur n'a pas besoin de connaître le schéma interne du circuit, mais doit seulement tenir compte de quelques caractéristiques externes. La conception d'un montage à circuits intégrés est souvent beaucoup plus facile que celle d'un montage à composants discrets.

2 Identification d'un circuit intégré logique

Un circuit intégré logique renferme des portes logiques (ET, OU, NAND, NOR...). Chaque circuit intégré possède une référence imprimée sur le dessus de son boîtier. Cette référence est composée de 4 à 7 caractères (chiffres et / ou lettres). Par exemple, sur la figure 72, la référence du circuit de gauche est 4029, et la référence du circuit de droite est 74S113. Pour connaître la fonction d'un circuit intégré dont on connaît la référence, il faut consulter le Mémotech ou le datasheet qui contient la fiche technique relatif à chaque circuit.

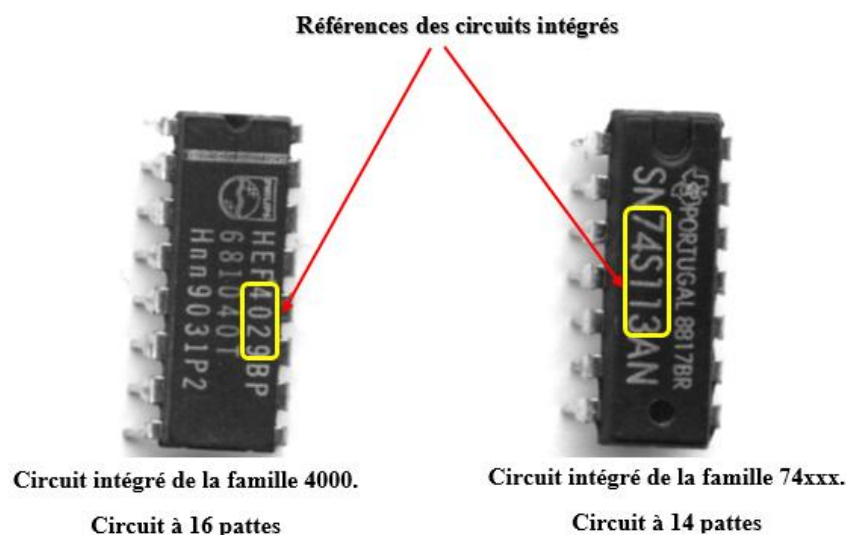


Figure 72. Exemple de circuits intégrés avec leurs références.

Les circuits intégrés logiques se présentent dans des boîtiers DIL en plastique. DIL (Dual in Line), les types les plus répandues ont 8, 14 ou 16 broches. Ces broches sont appelées "pattes".

Le sens dans lequel il faut placer le composant est indiqué par un point en relief ou une encoche. La numérotation des broches se fait dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à partir du repère (l'encoche) comme le montre la figure 73.

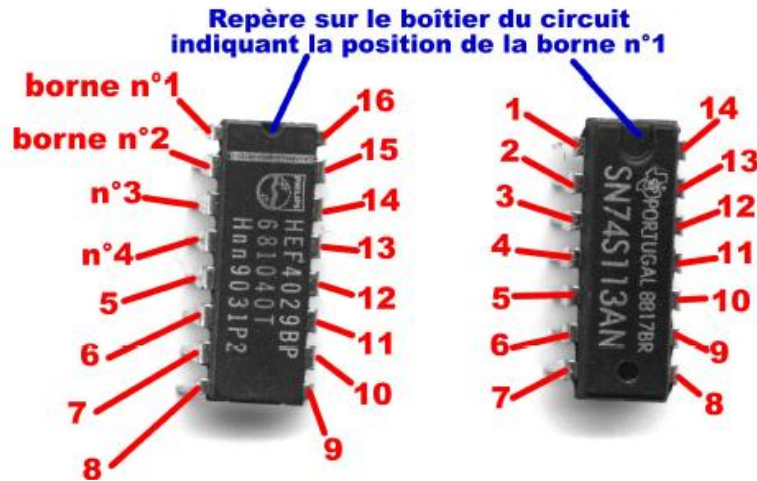


Figure 73. Numérotation des broches d'un circuit intégré.

- Les notices des constructeurs précisent sur un dessin les rôles respectifs des différentes connexions : c'est le brochage du circuit.

3 Différents types de circuits intégrés logiques

La constitution d'un circuit intégré logique est identique à celle d'un circuit intégré analogique : un grand nombre de transistor bipolaire ou MOS et de résistances placés sur une même pastille de silicium. Les circuits logiques utilisent un signal binaire, c'est-à-dire constitué de seulement de deux niveaux, auxquels on attribue une variable 0 ou 1.

La valeur exacte du niveau de tension n'a aucune importance : l'état 0 ou 1 est attribué pour toute une fourchette de niveaux.

Les circuits logiques sont d'emploi très simple : il suffit de suivre un certain nombre de règles élémentaire pour assembler un grand nombre de composants complexes.

On trouve deux grandes familles de circuits logiques :

3.1 Technologie TTL (Transistor Transistor Logique)

Ces circuits sont constitués de transistors bipolaires. Les performances sont médiocres: ces composants sont rapides et consomment beaucoup. La référence de ces circuits commence par 74 (74XX).

3.2 Technologie CMOS (complementary Metal Oxide Semiconductor)

Ces circuits sont constitués de transistors à effet de champ MOSFET. Cette famille est lente, mais consomme peu. La référence de ces circuits est de la forme 40XX.

Remarque

Dans la référence 74, on trouve aussi la technologie CMOS, c'est la référence qui contient la lettre C (74HCXX...).

Comme pour les références des circuits analogiques, les numéros sont accompagnés d'un préfixe propre à chaque constructeur et d'un suffixe qui indique la gamme de température.

4 Les intégrations

Ces opérateurs logiques sont réalisés par une intégration plus ou moins grande de leurs éléments.

SSI	Small Scale Integration	$n < 10$	Petite intégration, réservée aux opérateurs élémentaires et aux bascules
MSI	Medium Scale Integration	$10 < n < 100$	Moyenne intégration pour les compteurs et les registres
LSI	Large Scale Integration	$100 < n < 1000$	Sont appliqués aux circuits complexes tels que les microprocesseurs
VLSI	Very Large Scale Integration	$n > 10\ 000$	

5 Les portes logiques de base

La figure 74 représente le brochage de quelques circuits intégrés : NON, ET et OU. Par exemple le circuit intégré 7408 fait partie de la série des circuits intégrés 7400 utilisant la technologie TTL. Ce circuit est composé de quatre portes logiques indépendantes ET à deux entrées.

Le circuit intégré 4081 fait partie de la série des circuits intégrés 4000 utilisant la technologie CMOS. Ce circuit est composé de quatre portes ET à deux entrées.

Une porte logique combinatoire est définie par une table de vérité.

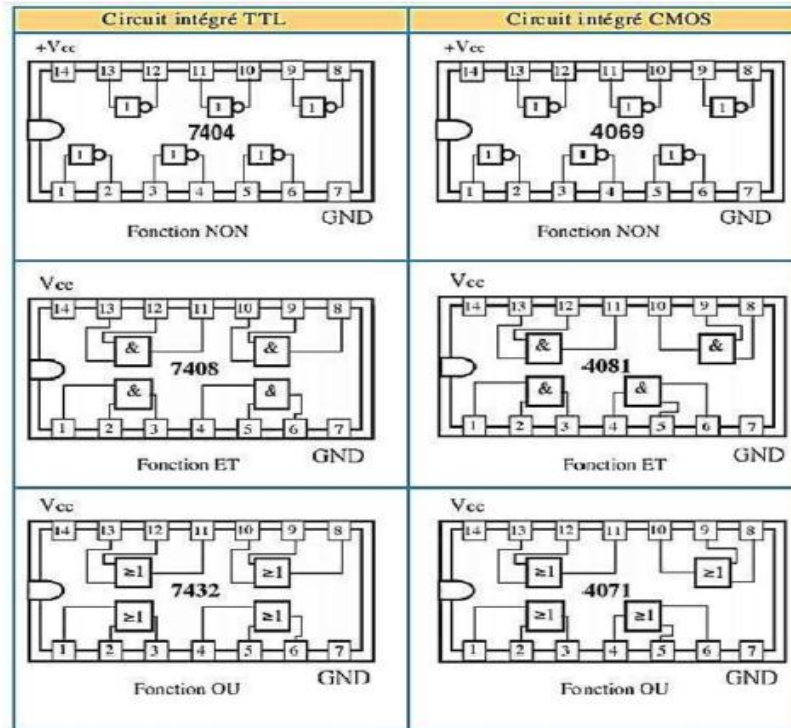


Figure 74. Représentation du brochage de quelques portes logiques en technologie TTL et en technologie CMOS.

6 Evolution des différentes familles logiques

Pour améliorer la rapidité des circuits TTL, des circuits utilisant des diodes Schottky sont apparus. De même les séries CMOS sont aussi développées pour diminuer leur consommation et avoir des circuits rapides.

6.1 Technologie TTL

C'est la première technologie qui a été mise sur le marché. Cette technologie a connu plusieurs évolutions qui ont donné plusieurs familles de circuit TTL.

	Série	Caractéristiques
TTL: Standard	74xxx	
TTL: Low power	74 L xxx	TTL à faible consommation
TTL: Schottky	74 S xxx	Vitesse accrue grâce aux diodes Schottky
TTL: Fast	74 F xxx	Plus rapide

TTL: power Schottky	74 LS xxx	
TTL: Advanced Schottky	74 AS xxx	Vitesse accrue grâce aux diodes Schottky
TTL: Advanced Schottky Low Power	74 ALS xxx	Vitesse accrue grâce aux diodes Schottky

6.2 Technologie MOS

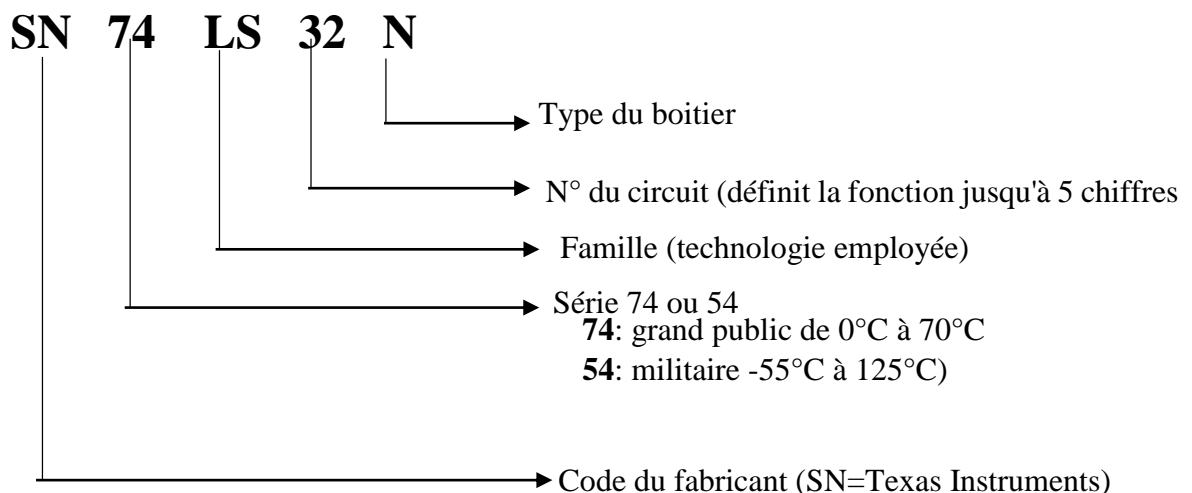
Cette technologie a connu elle aussi, plusieurs évolutions qui ont donné plusieurs familles de circuit CMOS.

	Série	Caractéristiques
CMOS	4000 et 4000B et 74C	Standard à très faible consommation, vitesse lente, et à sortie bufférisées
HC MOS	74 HC	Vitesse accrue comparable à la famille 74 LS
HCT MOS	74 HCT	Entièrement compatible TTL et HCMOS

7 Caractéristiques technologiques

7.1 Le code de désignation

Un code de désignation ou la référence permet d'identifier chaque boîtier.



Dans le circuit précédent SN74LS32N il s'agit de :

SN: fabricant Texas

74: Série grand public de 0°C à 70°C

LS: Famille TTL low power Schottky

32: quadruple porte OU à deux entrées

N: boîtier DIL 14.

7.2 Les tensions d'alimentation de quelques circuits TTL ou CMOS

Circuits intégrés	Tension d'alimentation
74, 74 L, 74 S, 74 F, 74 LS	5 V \pm 5%
74 ALS, 74 AS, 74 HCT	5 V \pm 10%
74 HC	2 V à 6 V
74 C et série 4000	3V à 18 V

- Pour éviter les pointes de tension sur, l'alimentation en fonctionnement dynamique, il est nécessaire de découpler par des condensateurs de 100 nF à 1 μ F.

7.3 Principales caractéristiques électriques

	TTL			CMOS		
	74	74 LS	74 ALS	4000	74 HC	74 HCT
Tension d'alimentation	5 V	5 V	5 V	3 à 18 V	2 à 6 V	5 V
Dissipation par porte	10 mW	2 mW	1 mW	2.5 mW	2.5 mW	2.5 mW
Temps de propagation par porte	10 ns	9.5 ns	4 ns	40 ns	10 s	11 s

7.4 Sortance

La sortance d'un circuit logique est le nombre d'entrée qu'on peut connecter à la sortie de ce circuit. La sortance est le nombre d'entrée qu'une sortie peut commander.

7.5 Niveaux d'entrée et de sortie

Chaque entrée de fonction logique traduit le niveau de tension reçu en état logique (figure 75).

Niveau d'entrée ou de sortie	TTL	CMOS
V_{OHmin}	2.4 V	$0.95 V_{CC}$
V_{IHmin}	2 V	$0.55 V_{CC}$
V_{OLmax}	0.4 V	$0.05 V_{CC}$
V_{ILmax}	0.8 V	$0.45 V_{CC}$
L'immunité aux bruits	0.4 V	$0.4 V_{CC}$

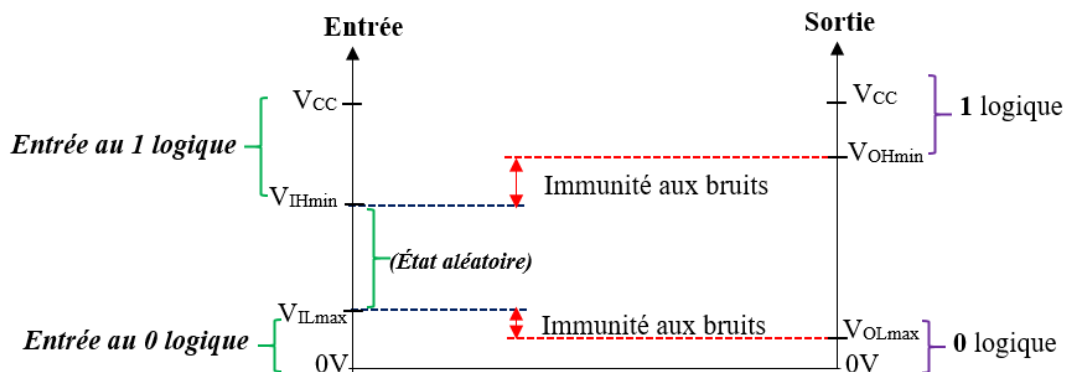


Figure 75. Niveau logique en entrée et en sortie d'une porte logique.

7.6 Immunité aux bruits

L'immunité aux bruits correspond à l'amplitude de la tension parasite qui peut exister entre la sortie d'une fonction logique et à l'entrée d'une autre fonction logique qui sont reliées.

7.7 Compatibilité d'association des circuits TTL et CMOS

Il est nécessaire de prendre certaines précautions lors de l'association de CI de familles différentes. Les niveaux des tensions d'entrée et de sortie pour les états Haut et Bas doivent être compatibles pour assurer correctement le changement d'état du circuit commandé.

Il faut s'assurer que V_{OH} du circuit amont correspond à V_{IH} du circuit commandé.

A l'état haut, la tension minimale de sortie V_{OHmin} , doit être supérieure ou égale à la tension minimale d'entrée V_{ILmin} du circuit commandé.

A l'état bas, la tension maximale de sortie V_{OLmax} , doit être inférieure ou égale à la tension maximale d'entrée V_{ILmax} du circuit de commande.

Abréviations : I: Input (entrée), O: output (sortie), H: High (haut), L: Low (bas).

8 Choix d'une technologie

Pour une application donnée le choix de la famille dépend des caractéristiques suivantes : tension d'alimentation, sortance, consommation, temps de propagation, immunité aux bruits.

Il est préférable d'utiliser ensemble des circuits de même technologie voir de même famille. Toutes les entrées doivent être raccordée à un potentiel positif ou nul.

Sur chaque alimentation du composant il est souhaitable de placer un condensateur de découplage des alimentations de valeur $C=100$ nF.

Bien faire attention à la sortance des circuits.

9 Application de la technologie TTL

9.1 Réalisation d'une porte NAND en technologie TTL

L'élément roi dans ce type de circuits est le transistor bipolaire. Les diodes présentes n'assurent qu'un rôle de protection des circuits (contre les tensions inverses par exemple...).

Q_1 est un transistor multi-émetteur, E_1 et E_2 les deux entrées, la sortie $S = \overline{(E_1 \cdot E_2)}$

D1 et D2 sont deux diodes de protection. La figure 76 représente une porte NAND en technologie TTL standard et une porte en technologie TTL-LS.

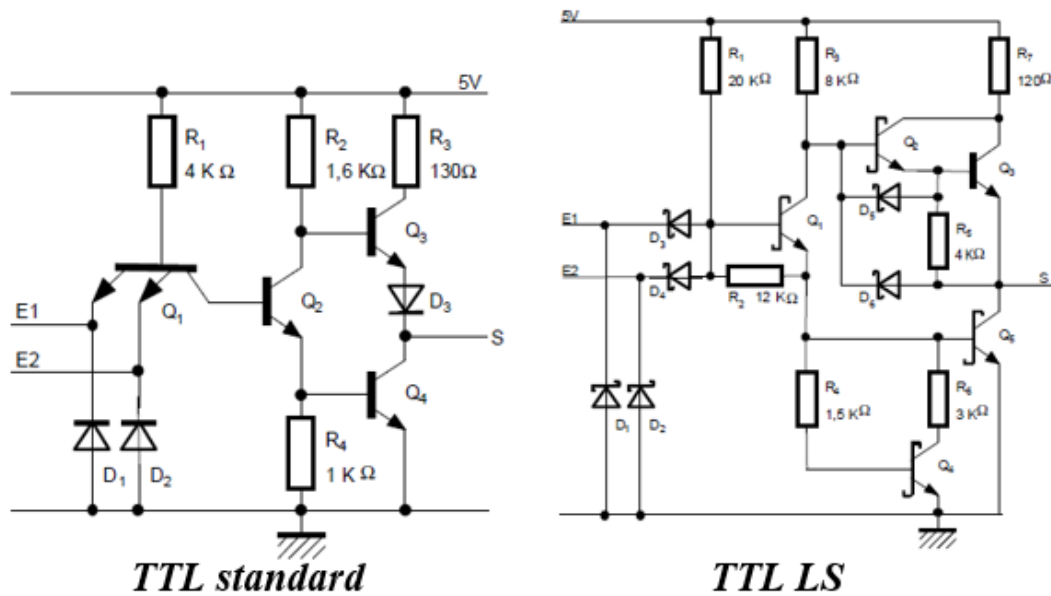


Figure 76. Circuit TTL (transistor transistor logique) d'une porte NAND en technologie TTL standard et TTL LS.

Dans la **technologie TTL-LS** on utilise des diodes Schottky et des transistors Schottky ce qui permis de réaliser des circuits rapides à basse consommation.

10 Différence entre CMOS et TTL

Dans ce paragraphe nous résumons les principales différences entre la technologie CMOS et la technologie TTL.

- Les circuits TTL utilisent des transistors à jonction bipolaire (BJT) tandis que les circuits CMOS utilisent les transistors à effet de champ FET.
- Les circuits TTL sont plus rapides que les circuits CMOS.
- CMOS permet une densité de fonctions logiques beaucoup plus élevée dans une seule puce par rapport à TTL.
- Les circuits TTL consomment plus d'énergie que les circuits CMOS au repos.
- Les puces CMOS sont beaucoup plus sensibles aux décharges électrostatiques que les puces TTL.
- Il existe des puces CMOS dotées d'une logique TTL et destinées à remplacer les puces TTL.

Chapitre 7 : Les circuits intégrés analogiques

1 Définition d'un circuit intégré

Un circuit intégré contient un grand nombre de composants placés sur la même pastille (*puce*) de silicium. En général l'utilisateur n'a pas besoin de connaître le schéma interne du circuit, mais doit seulement tenir compte de quelques caractéristiques externes.

La conception d'un montage à circuits intégrés est souvent beaucoup plus facile que celle d'un montage à composants discrets.

De plus, la mise aux points est nettement plus réduite et le dépannage est simplifié car, dans de nombreux cas, seules les valeurs de quelques composants passifs (résistances et condensateurs) fixent les caractéristiques du montage.

Dans les circuits analogiques, les informations sont portées par les valeurs instantanées des tensions et des courants. Parmi les circuits analogiques on trouve: *les régulateurs de tensions intégrés et les amplificateurs opérationnels*.

Les circuits intégrés peuvent être présentés dans différents types de boîtiers. Pour les applications professionnelles, on rencontre des boîtiers céramiques ou parfois métalliques ronds qui ressemblent à ceux qui sont utilisés pour les transistors. Cependant, de nombreux circuits intégrés courants sont présentés dans des boîtiers en plastiques. Les connexions externes sont disposées en deux rangées de chaque côté du boîtier. C'est pour cela que l'on désigne souvent ces modèles par DIL (dual in line). Les types les plus répandus ont 8, 14 ou 16 broches (que l'on appelle "pattes").

Les représentations des circuits intégrés sont toujours en vue de dessus, le sens dans lequel il faut placer le composant est indiqué par un point en relief ou une encoche.

2 Caractéristiques technologiques des circuits intégrés

2.1 Code de désignation

Une référence est en général composée d'un groupe de lettres qui indique le genre de circuit chez un fabricant donné, d'un numéro qui désigne le composant et d'une ou plusieurs lettres qui indiquent la gamme de température et le boîtier.

Par exemple, un circuit numéroté **LM741CN**: Le préfixe (LM) indique qu'il s'agit d'un circuit analogique du constructeur National Semiconductor, 741 est le numéro qui correspond à un amplificateur opérationnel, C précise la gamme de température est 0-70°C et N indique le composant est en boîtier DIL. Le préfixe n'est pas une indication formelle du constructeur car certains conservent celui qui correspond au concepteur à l'origine du composant. Les principaux fabricants des circuits intégrés sont : Analog Devices, Linear

Technology, National Semiconductor, STMicroelectronics et Texas instruments comme l'indique le tableau 25.

Tableau 25. Préfixes utilisés par différents constructeurs

Préfixe	Constructeur	Préfixe	Constructeur
AD, OP	AnalogDevice	CA, HA, ICL	Intersil
KA, KF, RC	Fairchild	L, TDA	STMicroelectronics
LF, LM	National Semiconductor	LT, LTC	Linear Technology
MAX	MAXIM	MC	Motorola
NE	Philips Semiconductor	TL, TLC	Texas Instruments

Les gammes de températures possibles sont :

- **La gamme commerciale** : la température varie de 0°C à 70°C.
- **La gamme industrielle** : la température varie de -25°C à 85°C
- **La gamme militaire** : la température varie de -55°C à 125°C

Tous les composants ne sont pas disponibles dans toutes les gammes de température.

L'indication de la nature du boîtier par la dernière lettre du suffixe dépend également du constructeur. Dans la pratique, on désigne les circuits courants par leur simple numéro. Un 741 peut être choisi chez n'importe quel fabricant, ces performances seront identiques bien que la référence exacte puisse être différente : KA741, MC1741 ou LM741 correspondent au même circuit intégré. Sans précision supplémentaire, la gamme de température est commerciale et le boîtier est DIL en plastique.

2.2 Quelques supports de circuits intégrés

Dans un circuit électronique, les circuits intégrés sont montés sur des supports (Figure 77). Le rôle du support c'est de protéger le circuit intégré de l'échauffement lors de la soudure car les circuits intégrés sont des composants à base de semiconducteurs, donc ils sont sensibles aux variations de température.

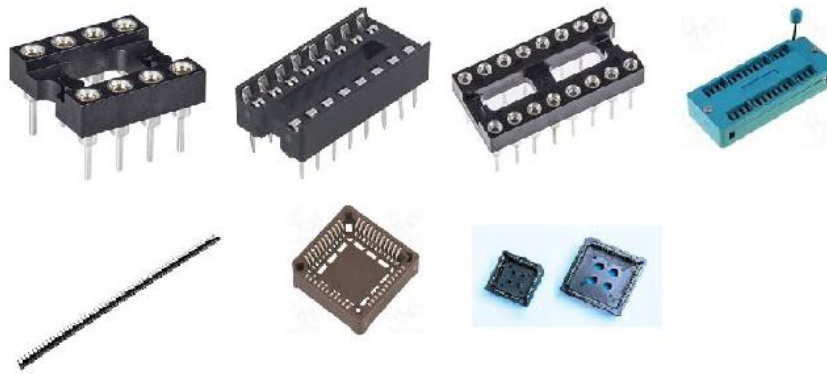


Figure 77. Support de quelques circuits intégrés.

3 Différents circuits intégrés analogiques

3.1 L'amplificateur opérationnel LM741

L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré à plusieurs bornes, très employé pour effectuer des opérations arithmétiques telles que l'addition, la multiplication, la dérivation, l'intégration et d'autres applications. Son emploi est particulièrement simple et son coût est minimal. C'est un circuit pratiquement universel que l'on peut utiliser dans de nombreuses applications en remplacement de montages à plusieurs transistors. On distingue plusieurs types d'AOP, en particulier le μA 741 très répandu et qui se présente comme suit (figure 78) :

e⁻: entrée inverseuse
e⁺: entrée non inverseuse
 $\pm V_{cc}$: tension continue pour la polarisation
N.C.: Non connecté

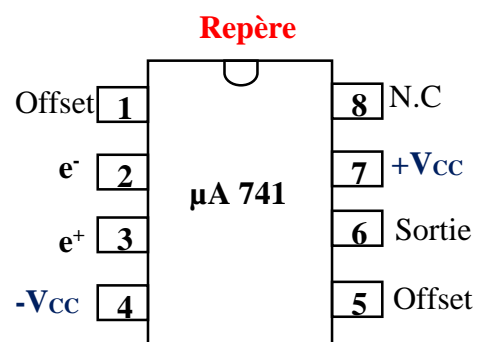


Figure 78. Brochage d'un amplificateur opérationnel.

Les bornes 1 et 5 nommées "Offset" sont conçues pour qu'on puisse appliquer une petite tension dite "tension de décalage d'entrée" qui permet d'obtenir une tension de sortie nulle en l'absence d'un signal d'entrée.

Le circuit intégré de l'amplificateur opérationnel est toujours monté sur un support de circuits intégrés comme le montre la figure 79.

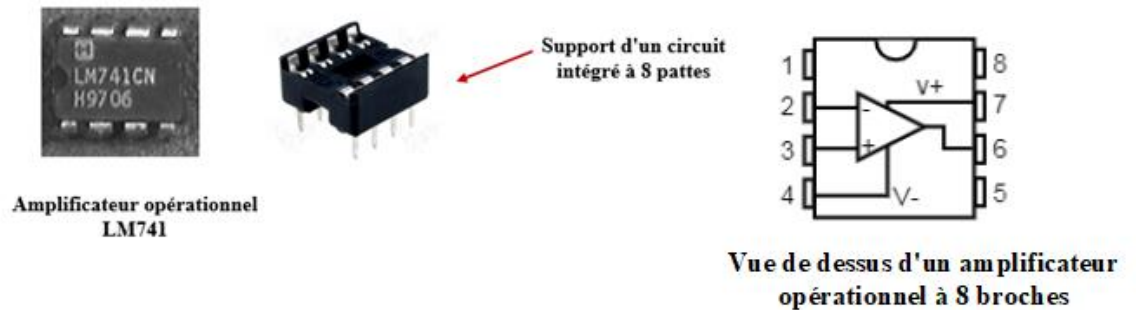


Figure 79. Circuit intégré d'un amplificateur opérationnel à 8 broches et son support.

- **Symbole électrique d'un amplificateur opérationnel**

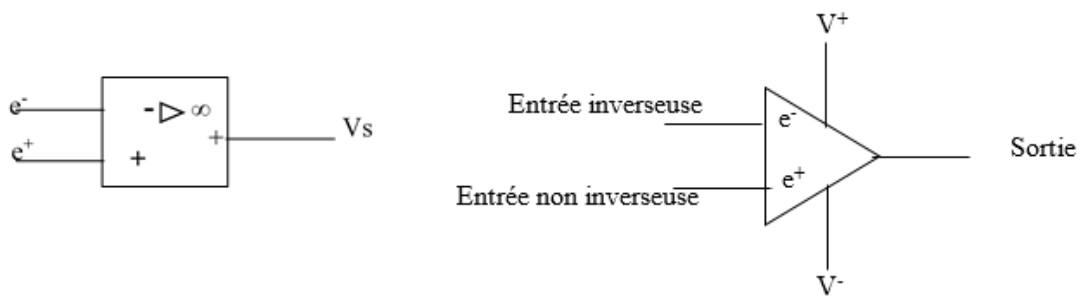


Figure 80. Symboles d'un amplificateur opérationnel.

3.2 Exemple d'application en amplification

3.2.1 Amplificateur inverseur

Le gain est négatif (avec un signe-).

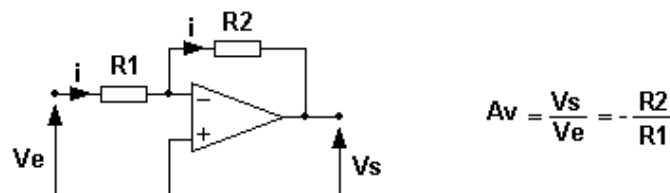


Figure 81. Montage d'un amplificateur inverseur

3.2.2 Amplificateur non inverseur

Le gain d'un amplificateur non inverseur est positif.

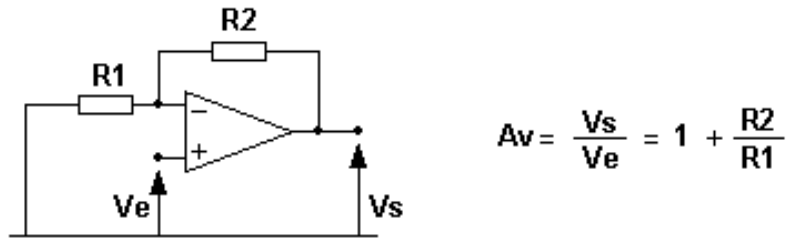


Figure 82. Montage d'un amplificateur non inverseur.

3.2.3 Réalisation de filtres actifs

Les filtres actifs sont basés sur les amplificateurs opérationnels, diodes ou transistors. La figure 83 présente le schéma électrique d'un filtre actif passe bas et un filtre passe haut.

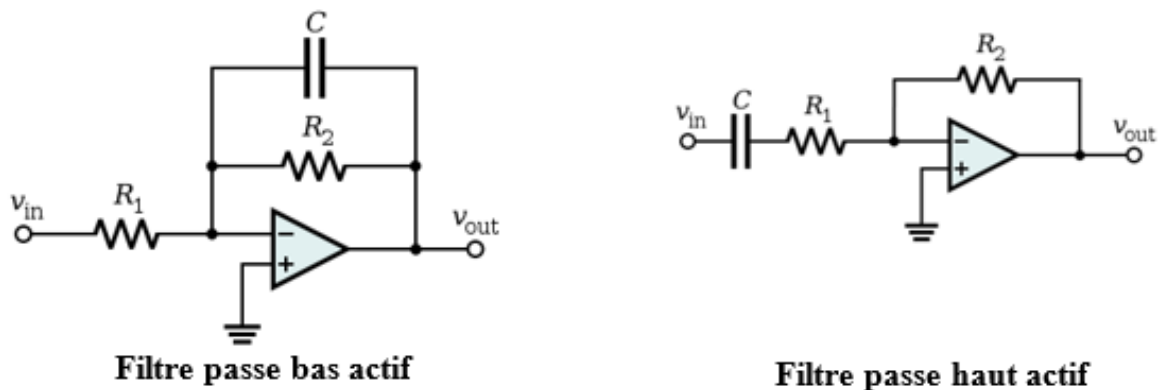


Figure 83. Réalisation de filtres actifs à base d'AOP.

3.3 Paramètres électriques d'un amplificateur opérationnel LM741

Les paramètres électriques du composant sont donnés par le constructeur comme le montre le tableau 26.

Tableau 26. Caractéristiques électriques d'un AOP données par le constructeur

6.5 Electrical Characteristics, LM741⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Input offset voltage	$R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	1	5	mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		6	mV
Input offset voltage adjustment range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$		± 15		mV
Input offset current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		20	200	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$		85	500	
Input bias current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		80	500	nA
	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$			1.5	μA
Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20 \text{ V}$	0.3	2		M Ω
Input voltage range	$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	± 12	± 13		V
Large signal voltage gain	$V_S = \pm 15 \text{ V}, V_O = \pm 10 \text{ V}, R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	200	V/mV
		$T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	25		
Output voltage swing	$V_S = \pm 15 \text{ V}$	$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$	± 12	± 14	V
		$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	± 10	± 13	
Output short circuit current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		25		mA
Common-mode rejection ratio	$R_S \leq 10 \Omega, V_{\text{CM}} = \pm 12 \text{ V}, T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	80	95		dB
Supply voltage rejection ratio	$V_S = \pm 20 \text{ V}$ to $V_S = \pm 5 \text{ V}, R_S \leq 10 \Omega, T_{\text{AMIN}} \leq T_A \leq T_{\text{AMAX}}$	86	96		dB
Transient response	Rise time	$T_A = 25^\circ\text{C}, \text{unity gain}$	0.3		μs
	Overshoot		5%		
Slew rate	$T_A = 25^\circ\text{C}, \text{unity gain}$		0.5		V/ μs
Supply current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.7	2.8	mA
Power consumption	$V_S = \pm 15 \text{ V}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	50	85	mW
		$T_A = T_{\text{AMIN}}$	60	100	
		$T_A = T_{\text{AMAX}}$	45	75	

(1) Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15 \text{ V}, -55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$.

3.4 Circuit interne d'un ampli-op

Le circuit interne d'un amplificateur opérationnel est constitué de plusieurs composants électroniques comme les résistances et les transistors. Ce circuit est représenté sur la figure 84.

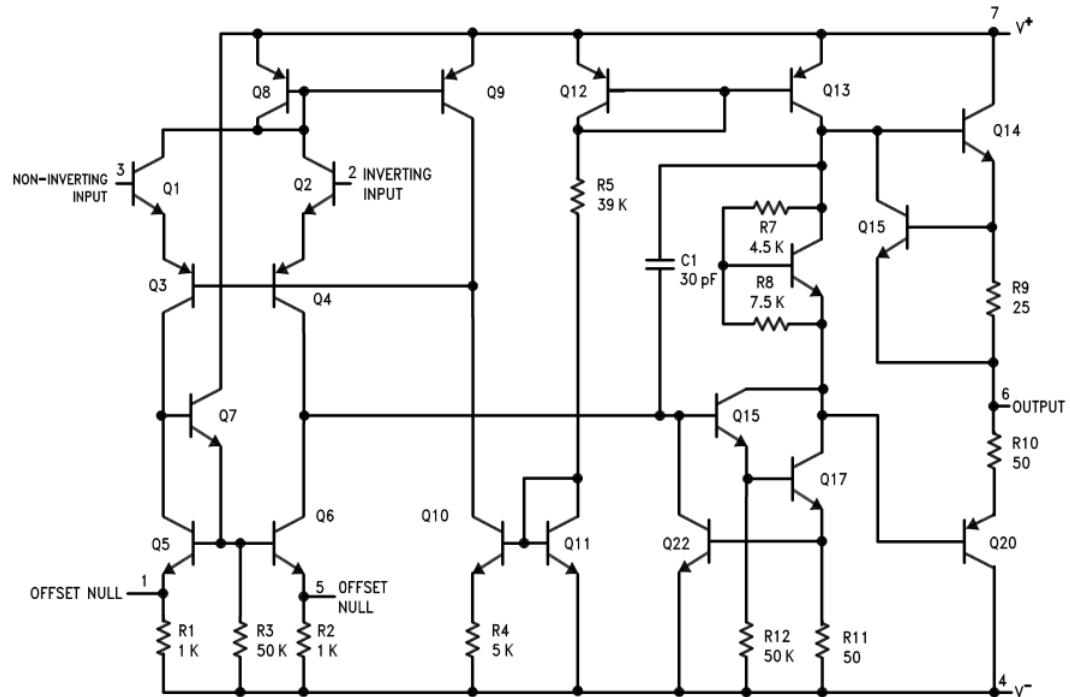


Figure 84. Circuit interne d'un amplificateur opérationnel LM741.

4 Les régulateurs de tension intégrés

Ce circuit intégré est utilisé dans les alimentations électroniques. Son emploi est très simple et son coût est minime.

Une alimentation continue stabilisée est constituée de: transformateur d'isolement et d'abaissement de la tension, redresseur à base de diode, filtrage par condensateur et stabilisation par diodes Zener. La stabilisation avec la diode Zener ne peut fournir qu'un faible courant.

Les régulateurs intégrés sont utilisés dans le cas où le courant dépasse une dizaine de milliampères. On obtient ainsi une tension continue bien stable pour une large plage de courant de sortie. Les régulateurs de tension les plus connus forment la série 78XX (XX indique la valeur de la tension de sortie). Le circuit contient 3 bornes, et on trouve des régulateurs de tension fixe et les régulateurs de tension variable.

4.1 Les régulateurs de tension fixe

4.1.1 Les régulateurs 78XX

Ce sont des régulateurs de tension positive fixe, contient trois bornes comme le montre la figure 85. Exemple : 7805 : régulateur +5V ; 7808 : régulateur de +8V ; 7812 : régulateur

de +12V. Ils sont référencés par un numéro commençant par 78 (MC7805, μ A7805, MC7812, μ A7812,...) les deux derniers chiffres donnant la tension de sortie régulée.

4.1.2 Les régulateurs 79XX

Correspond à un régulateur de tension négative. Exemple : 7905 : régulateur -5V ; 7915 : régulateur -15V...).

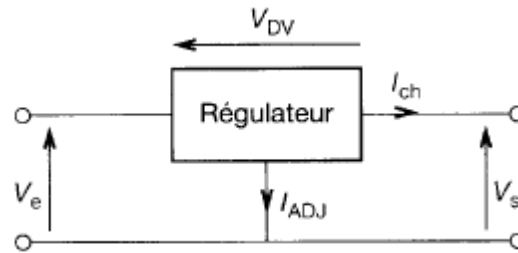


Figure 85. Régulateur de tension intégré.

V_e : tension d'entrée du régulateur.

V_s : tension de sortie du régulateur.

V_{DV} : $V_e - V_s$, est la différence de tension entre l'entrée et la sortie.

$V_{DV} = 2$ à $3V$, donnée par le constructeur.

Pour le bon fonctionnement du régulateur il faut que $(V_e - V_s) \geq 3V$ donc

$$V_{emin} = V_s + 3V$$

Avec V_s est la tension du régulateur, par exemple pour le 7808, $V_s = 8V$.

I_{CH} : courant débitée dans la charge (courant de sortie du régulateur).

I_{ADJ} : courant de réglage du régulateur (ADJ pour Adjust).

4.2 La puissance dissipée dans le régulateur

La puissance dissipée par le régulateur est donnée par l'expression suivante :

$$Pd = V_{DV} * I_{ch} \quad (\text{watt}).$$

4.3 Brochage du régulateur de tension fixe 78XX

Il est recommandé de placer un condensateur en entrée et un autre en sortie du régulateur, pour éliminer l'ondulation haute fréquence, améliorer le taux de rejection de

l'ondulation et stabiliser le montage. Le circuit d'un régulateur 78XX connecté aux condensateurs est représenté sur la figure 86.

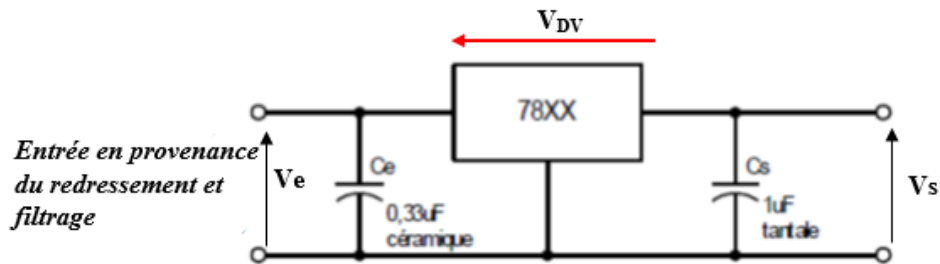


Figure 86. Montage d'un régulateur fixe connecté aux condensateurs.

Les condensateurs d'entrée et de sortie se placent au plus près des broches du régulateur.

Cs : condensateur de sortie supérieur à 10 nF permet de limiter le bruit à haute fréquence et améliorer la rejection secteur ; il permet aussi d'améliorer le temps de réponse ($0,1\ \mu\text{F}$ préconisé).

Ce : condensateur d'entrée nécessaire si le régulateur est éloigné du condensateur de filtrage C_f , il évite les oscillations du régulateur ($0,33\ \mu\text{F}$ préconisé).

Les diodes de protections : il est parfois nécessaire d'ajouter des diodes de protection au montage, afin de protéger le régulateur contre les pointes de courant induites par les condensateurs, on utilise des diodes de type **1N4001**.

4.4 Caractéristiques technologiques du régulateur fixe

Il existe de nombreux types de régulateurs de tensions intégrés qui se distinguent (entre autre) par leurs :

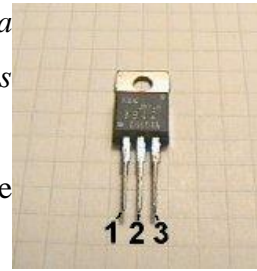
- Polarité (négative ou positive)
- Tension de sortie
- Intensité maximum
- Connexion et boîtier

Brochage

Le boîtier le plus courant est le TO220 il permet la fixation du régulateur sur un refroidisseur ou radiateur.

Lorsque la température débite une intensité importante, la température de son boîtier s'élève et il est nécessaire d'évacuer les calories à l'aide d'un refroidisseur.

Pour améliorer le contact thermique entre le régulateur et le refroidisseur on peut ajouter une pate conductrice de la chaleur.



4.5 Application d'un régulateur fixe dans la réalisation d'une alimentation régulée à 1A

La figure 87 montre le schéma de principe d'une alimentation régulée. Cette alimentation secteur utilise un régulateur intégré de la série 78xx fournissant une tension positive stable ; la tension d'entrée ne doit pas descendre en dessous de la tension nominale de sortie plus de 2 ou 3 volts.

On peut utiliser un régulateur 79xx prévu pour réguler des tensions négatives en inversant simplement les polarités de la tension d'entrée mais aussi des condensateurs et autres éléments polarisés. Si le régulateur se chauffe, il est indispensable de le fixer sur un refroidisseur.

Le transformateur et le pont de diodes (redresseur) doivent être capables de fournir en régime continu une tension supérieure de 2volts à la tension de sortie et sous une intensité de 1A sans chauffer. A vide la tension crête du courant redressé ne devrait pas dépasser la tension continue de sortie du régulateur +13V. Par exemple, pour un régulateur **7812**, la tension d'entrée doit être comprise entre 14V en charge et 25 V à vide.

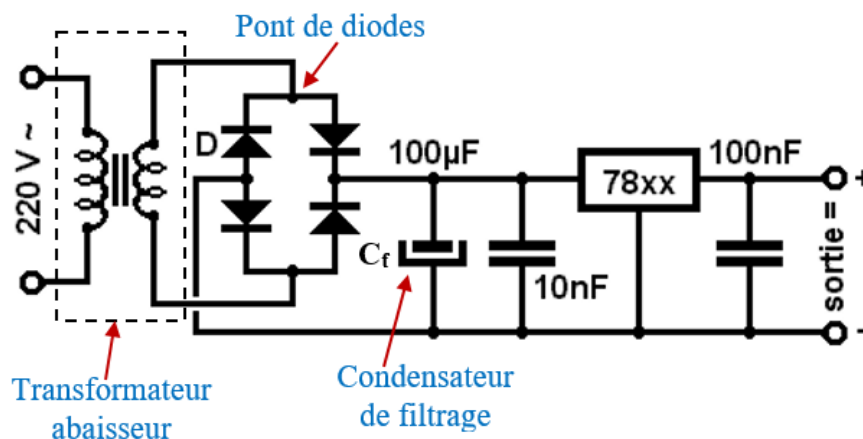


Figure 87. Alimentation régulée avec régulateur fixe positif 78XX.

4.6 Modification de la tension de sortie

Avec un régulateur à tension fixe comme le 78XX, il est possible de modifier la tension de sortie, comme il est montré sur le schéma de la figure 88, et ceci en utilisant un pont de résistances.

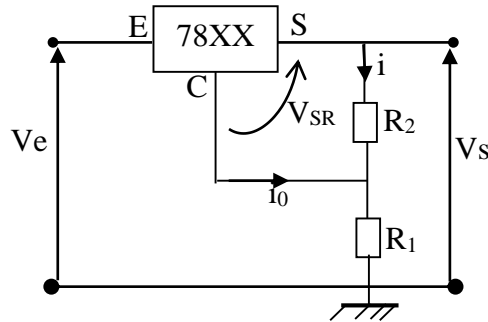


Figure 88. Modification de la tension de sortie d'un régulateur de tension fixe.

$$V_S = V_{SR} + R_1 (i + i_0) \text{ et } i = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{V_{SR}}{R_2}$$

V_{SR} tension du régulateur

On choisit $i \gg i_0$

Dans ces conditions :

$$V_S = V_{SR} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

- Calcul des composants

C_1 et C_2 sont donnés par le constructeur du régulateur on les trouve sur le datasheet.

Le choix de V_e se fait en fonction de V_s et de $V_{drop} = V_{DV}$, cette dernière est donnée par le constructeur, en général V_{drop} minimum 3V.

$$V_{e \min} = V_S + V_{drop} \approx V_S + 3V \quad \text{Et} \quad V_{drop \min} = V_{e \min} - V_S .$$

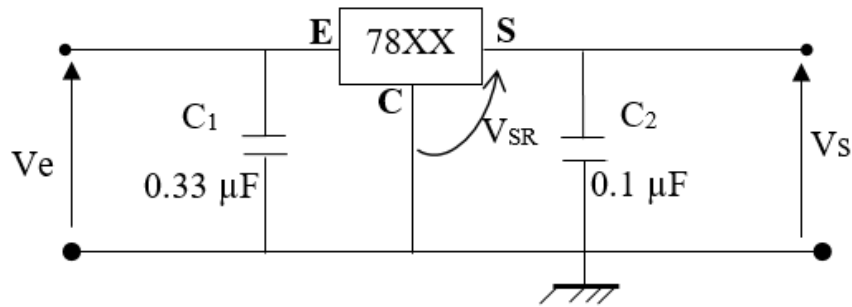


Figure 89. Calcul des composantes d'un régulateur fixe.

- Protection des régulateurs

Le circuit de protection du régulateur avec les diodes est donné sur la figure 90.

D_1 : protège le régulateur contre les surtensions en sortie

D_2 : protège le régulateur contre les inversions de polarité

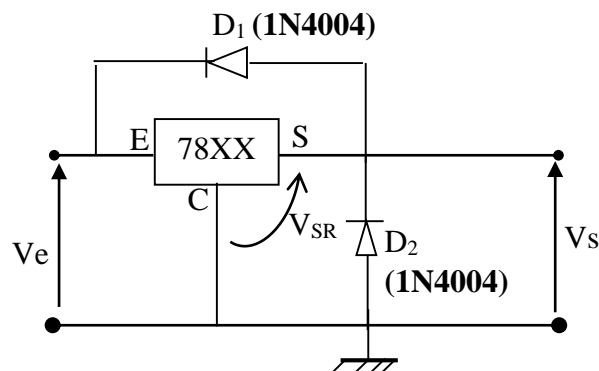


Figure 90. Protection du régulateur par des diodes.

4.7 Régulateurs de tension variable

Les régulateurs de tension variable peuvent être :

- Régulateur variable *positif* : LM317 ou LM117.
- Régulateur variable *négatif* : LM337 ou LM137.

4.7.1 Régulateurs de tension positive variable LM117 ou LM317

Tension de sortie : $1.25V \leq V_s \leq 37V$

Courant de sortie maximal $I_{smax} = 1.5A$

La figure 91 montre des régulateurs avec boîtier TO3 ou T0220. Ces boîtiers présentent l'avantage de monter facilement les régulateurs sur un dissipateur thermique.

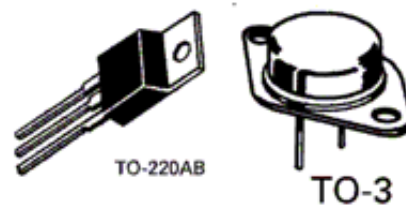


Figure 91. Boitiers pour régulateurs intégrés.

Le LM317 et le LM337 sont capables d'un courant de sortie de l'ordre de 1,5A et d'une gamme de tensions s'étendant de 1,25V à 37V.

Il faudra simplement respecter la tension différentielle entre l'entrée et la sortie (V_{DV}) qui devra être comprise entre 3V min et 40V max.

4.7.2 Régulateurs pour tension variable négative

Pour des tensions négatives, le LM137 ou le LM337 conviennent.

4.8 Régulateurs à courant fort

Pour de forts courants, le **LM150** avec un courant de 3A et le **LM138** avec un courant de 5A.

- Brochage du régulateur ajustable LM117

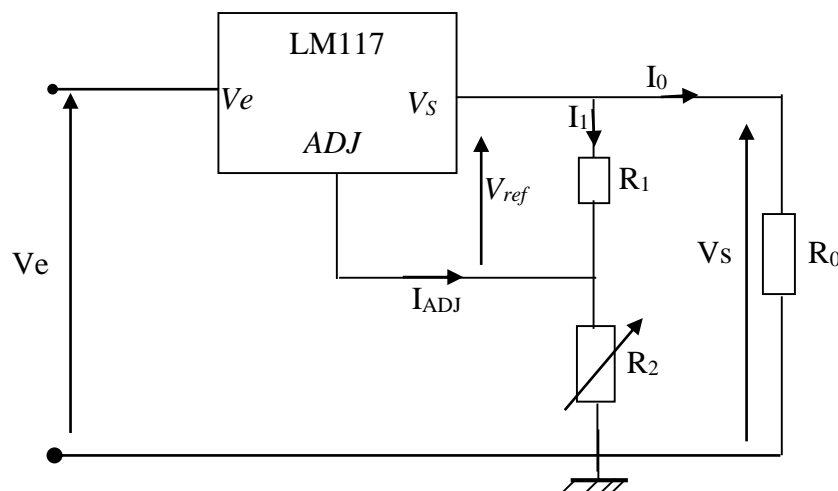


Figure 92. Connexion du régulateur LM117.

$$V_{\text{ref}} = 1.25 \text{ V.}$$

$$I_{\text{ADJ}} \ll I_1 \text{ donc } V_S \approx V_{\text{ref}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \text{ avec } V_{\text{ref}} = 1.25 \text{ V.}$$

$$V_S = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

4.9 Description du régulateur LM317 de National Semiconductor

Le LM317 est un régulateur série à 3 pattes, capable de fournir 1.5A sur une tension de sortie qui va de 1.25V à 37V. Le LM317 est d'une facilité d'utilisation exceptionnelle et nécessite seulement deux résistances externes pour fixer sa tension de sortie. De plus, la réjection de l'alimentation ainsi que l'insensibilité aux impacts de charge en font un régulateur avantageux. Le LM317, en boîtier standard, se manipule aisément.

Le LM317 est protégé contre les courts-circuits, la surchauffe, même si la patte d'ajustement se trouve accidentellement déconnectée.

Normalement, aucun condensateur n'est nécessaire, à moins que le LM317 soit à plus de 15cm de condensateurs déjà en place. Un condensateur supplémentaire permet d'augmenter encore la réjection de l'alimentation. Etant donné que le LM317 est "flottant" (pas de connexion directe à la masse), il ne voit que la tension entre son entrée et sa sortie, il peut réguler des alimentations de 100V et plus, dans la mesure où la tension maximale entrée - sortie n'est pas dépassée, c'est-à-dire que la sortie n'est pas court-circuitée.

Le LM317 est ainsi un régulateur ajustable simple, mais aussi programmable ou peut encore être utilisé en source de courant constant. Une coupure électronique peut être réalisée en reliant la patte d'ajustement à la masse, ce qui réduit la tension de sortie à 1.25V. La plupart des charges consomment alors peu de courant.

- Connexions du LM317

En boîtier TO220, le LM317 doit se connecter ainsi :

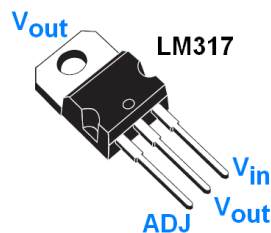


Figure 93. Broches du LM317 à boîtier TO220.

V_{out} : sortie (reliée au boîtier), V_{in} : entrée et ADJ : patte d'ajustement

- Montages du régulateur de tension LM317

Le montage de la figure 94 est utilisé pour avoir une alimentation stabilisée qui varie de 1.25V à 25V.

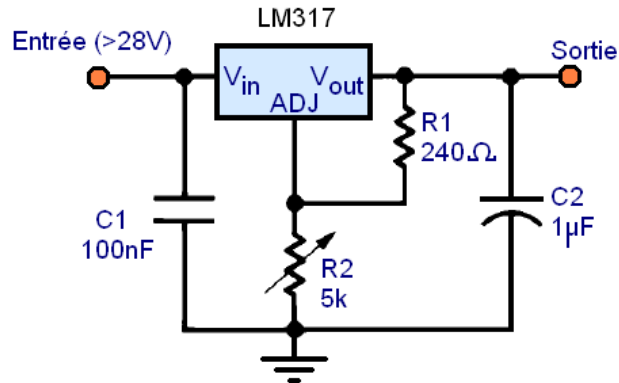


Figure 94. Montage de base d'une alimentation stabilisée à l'aide du régulateur LM317

La tension de sortie vaut : $V_S = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$

Pour un fonctionnement correct, la tension d'entrée doit être supérieure de 3V à la tension de sortie maximale. Si la sortie du LM317 doit pouvoir aller jusqu'à 25V.

$$V_{emin} = V_S + 3V = 25 + 3 = 28V$$

R_1 ne doit pas dépasser 240 Ohms pour garantir au moins 5mA de courant de sortie. Si cela n'est pas respecté, la tension de sortie devient plus élevée et n'est plus régulée.

5 Les boîtiers utilisés dans les régulateurs

Ces composants sont intégrés dans de nombreux types de boîtiers : TO220 (traversant), SO8 (cms), TO-92 (traversant), DPAK (cms) SOT23 (cms).

cms : composants montés en surface, différents des composants traversant le circuit imprimé.

Le tableau 27 montre quelques boîtiers utilisés dans les circuits intégrés tels que les régulateurs.

Tableau 27. Principaux boîtiers et brochages de quelques circuits intégrés

Boîtier TO-3		Boîtier TO-39 (métal)	
78XX 78TXX LM323	79XX	78LXX 78MXX	79LXX
Vue de dessous Boîtier = M	Vue de dessous Boîtier = E	Vue de dessous Boîtier = M	Vue de dessous Boîtier = E
Boîtier TO-220		Boîtier TO-92 (plastique)	
78XX 78MXX 78TXX	79XX 79MXX	78LXX	79LXX
Vue de face 	Vue de face 	Vue de dessous 	Vue de dessous

Conclusion

Dans ce manuscrit, nous avons présenté les différents composants électroniques de base, nécessaire à la réalisation des montages et des circuits électroniques. Nous avons abordé leurs caractéristiques électriques, les paramètres technologiques donnée par le constructeur, à fin de comprendre et savoir le domaine et les limites de leurs utilisations à savoir la tension maximale à ne pas dépasser, la température de fonctionnement et la température et les conditions de stockage.

Concernant les composants passifs, premièrement nous avons présentés les résistances avec ces différents types, le marquage de la valeur d'une résistance et ces applications. Deuxièmement, nous avons abordé les condensateurs qui servent à emmagasiner l'énergie électrique, nous avons présenté les différents types à savoir les condensateurs électrolytiques en aluminium et en tantale et les condensateurs non polarisés en plastique et céramique. Les applications et les méthodes de lecture de la valeur d'un condensateur aussi sont présentées. Troisièmement, les caractéristiques technologiques des bobines dont le rôle est de lisser le courant ainsi d'emmagasiner l'énergie électromagnétique sont abordées.

Concernant les composants actifs, premièrement nous avons expliqué le fonctionnement d'une diode en passant par la jonction PN. Les différents types de diodes ainsi les différents codes de lecture de la valeur d'une diode sont présentés. Quelques montages à diodes sont expliqués à savoir le redressement simple alternance, montages limiteurs et écrêteurs de tension, ainsi la diode Zener qui sert à stabiliser une alimentation.

Nous avons aussi abordé le transistor bipolaire, nous avons expliqué ces deux fonctions principales à savoir l'amplification et la commutation.

Les caractéristiques technologiques des circuits intégrés logiques et analogiques sont présentées dans les deux derniers chapitres. Les différences entre la technologie TTL et CMOS à savoir la tension d'alimentation, la rapidité et la consommation sont présentées. Les caractéristiques technologiques des régulateurs de tension fixes (78xx, 79xx) ou ajustables (LM317, LM337) ainsi leurs applications dans la réalisation des circuits d'alimentation sont expliquées. En fin, le fonctionnement et quelques utilisations de l'amplificateur opérationnel LM741 sont cités.

Bibliographies

- [1]. Jean-François Machut, 2000, « Guide de choix des composants, Editions Techniques et Scientifiques Françaises », Dunod, Paris.
- [2]. René Besson, 1998, « Composants Electroniques Technologie et Utilisation », Dunod, Paris.
- [3]. Thomas L. Floyd, 1998, « Electronique Composants et systèmes d'applications », 5^{ème} édition, Les Editions Reynald Goulet inc.
- [4]. Pierre Mayé, 2005, « Aide-mémoire, Composants électroniques », 3^{ème} édition, Dunod.
- [5]. David Folio, 2017-2018, « Support de cours de composants électroniques », Campus de Bourges.
- [6]. La technologie des résistances, www.gecif.net.
- [7]. Les condensateurs, www.gecif.net.
- [8]. [http://www.composelec.com/bobine_\(electricite\).php](http://www.composelec.com/bobine_(electricite).php).
- [9]. Noyaux Ferrite, www.del.fr.
- [10]. <https://www.astuces-pratiques.fr/electronique/regulateur-de-tension-lm317-montages>.
- [11]. www.datasheetcatalog.net.