

Les principaux composants électroniques



Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

<http://f6kgl.f5kff.free.fr>

Malgré le soin apporté à la rédaction de ce document, l'auteur n'est pas responsable des conséquences entraînées par les erreurs, inexactitudes ou maladroites rencontrées dans ce document. Merci de remonter vos remarques constructives et mises à jour.

Version du document

Version	Date	Commentaires
1.0	05/01/2008	1 ^{ère} Version finalisée = la résistance et la résistivité
----	-----	-----
5.0	02/02/2009	5 ^{ème} Version finalisée =version 4 + le quartz
6.0	16/01/2019	6 ^{ème} Version finalisée = version 5 + quelques mises à jour / corrections et ajouts sur les chapitres existants + l'amplificateur opérationnel + le condensateur + le fusible + le radiateur (dissipateur thermique) + MMIC + le régulateur de tension + bonus en fin de document : la philatélie et la radio. Certains des chapitres ajoutés ne sont pas totalement rédigés.

Cette annexe du support de cours, apporte quelques précisions sur certaines parties du support de cours (les principaux composants électroniques) mais elles ne sont pas à connaître pour passer la licence de radioamateur. Cette annexe sera enrichie au fur et à mesure. Toute contribution ou remarque constructive sera la bienvenue. Les composants sont décrits dans l'ordre alphabétique sauf pour la résistance qui est placée en tête de document pour un aspect pédagogique (puisque c'est le composant le plus simple !?). Ce document n'a pas la prétention d'être exhaustif mais de présenter un aperçu de ce qui a été fabriqué ou l'est actuellement. Il est rédigé par l'auteur pour regrouper au sein d'un document les méthodes de repérage des composants et leurs principaux brochages / caractéristiques pour son usage personnel et diffusé à ceux qui le souhaitent.

Remarques :

- dans les formules le signe de la multiplication est le caractère *, celui de la division /.
- les fabricants cités dans ce document ont existé à une époque et peuvent avoir disparu ou avoir changé de nom lors de rachat/fusion. Les noms sont en général des marques déposées,
- les lampes radio ne sont pas abordées dans ce document : vaste domaine, etc..

Autres chapitres : à venir

Version 7.0 : transistor, thyristor, triac, tore, ...

Pour la prochaine version, ce document sera « éclaté » en plusieurs documents, un par composant ou thème.

Remerciements pour leurs remarques constructives à :Alain (al1...), ..

Sommaire

I	La résistance, la résistivité et composants apparentés.....	I-1
I.1	La résistance - généralités.....	I-1
I.2	La résistance réelle	I-2
I.3	La résistivité	I-2
I.4	Le groupement de résistances	I-4
I.4.1	Le groupement de résistances en série	I-4
I.4.2	Le groupement de résistances en parallèle	I-4
I.5	Le diviseur de tension	I-5
I.1	Choisir son type de résistance	I-5
I.2	Les différents types de résistances.....	I-5
I.2.1	La résistance agglomérée	I-5
I.2.2	La résistance à couche de carbone	I-6
I.2.3	La résistance à couche métallique	I-6
I.2.4	La résistance bobinée de puissance	I-6
I.2.5	La résistance de précision	I-8
I.3	La résistance montée en surface - CMS	I-8
I.4	La résistance ajustable – potentiomètre ajustable.....	I-10
I.5	Le rhéostat	I-11
I.6	Le réseau de résistances.....	I-12
I.6.1	Le réseau de résistances SIL ou DIL.....	I-12
I.6.2	Le réseau diviseur de tension et l'atténuateur 50Ω	I-12
I.7	La charge non rayonnante.....	I-15
I.8	Le shunt	I-15
I.9	Le strap - résistance 0Ω	I-16
I.10	La thermistance – CTN – CTP	I-16
I.11	La photo résistance –LDR - CDS	I-17
I.12	La Varistance –VDR (Voltage Dependent Resistor).....	I-18
I.13	L'ohmmètre	I-18
I.14	Le code des couleurs (norme EIA RS-279).....	I-19
I.15	Le code de marquage normalisé	I-21
I.16	Le code EIA – 96.....	I-22
I.17	Les valeurs normalisées.....	I-23
I.18	L'évolution du conditionnement des résistances	I-25
I.19	Ne pas confondre les composants.....	I-25
II	L'amplificateur opérationnel (AOP)	II-1
II.1	L'amplificateur opérationnel - généralités	II-1
II.2	Les principaux montages d'un amplificateur op.	II-2
II.2.1	L'amplificateur inverseur	II-2
II.2.2	L'amplificateur non inverseur	II-3
II.2.3	L'amplificateur additionneur – soustracteur	II-4
II.2.4	L'amplificateur additionneur inverseur.....	II-4
II.2.5	L'amplificateur différentiateur	II-4
II.2.6	L'amplificateur intégrateur.....	II-5
II.2.7	Un amplificateur spécial : l'amplificateur d'isolation.....	II-5
II.2.8	Le circuit intégré - désintégré.....	II-6
II.3	La tension de décalage (offset) – la compensation.....	II-7

II.4	Quelques recommandations de montage des AOP	II-7
II.5	Structure simplifié d'un amplificateur opérationnel.....	II-8
II.6	Les principaux types d'amplificateurs opérationnels	II-8
II.6.1	L'amplificateur opérationnel à transistors bipolaires.....	II-8
II.6.2	L'amplificateur opérationnel à transistors JFet.....	II-9
II.6.3	L'amplificateur opérationnel faible bruit	II-9
II.6.4	L'amplificateur opérationnel large bande passante.....	II-9
II.6.5	L'amplificateur opérationnel rail to rail	II-9
II.7	Les différents boîtiers des amplificateurs opérationnels	II-10
II.8	Les différents brochages des amplificateurs op.....	II-10
II.8.1	Le boîtier mono amplificateur opérationnel.....	II-10
II.8.2	Le boîtier 2 amplificateurs opérationnels.....	II-11
II.8.3	Le boîtier 4 amplificateurs opérationnels.....	II-11
II.9	L'évolution du conditionnement des amplificateurs Op.	II-11
III	La bobine - l'inductance – la self-induction	III-1
III.1	La bobine – l'inductance - la self-induction - généralités.....	III-1
III.2	Les domaines d'application	III-3
III.3	L'effet de peau	III-4
III.4	La bobine réelle.....	III-4
III.5	Le groupement des bobines.....	III-5
III.5.1	Le groupement de bobines en série	III-5
III.5.2	Le groupement de bobines en parallèle	III-6
III.6	Les différents types de bobine	III-6
III.6.1	La bobine à air.....	III-6
III.6.2	Formule de calcul de l'inductance d'une bobine à air à spires jointives.....	III-7
III.6.3	La bobine en « nid d'abeille ».....	III-10
III.6.4	La bobine moulée et la bobine de choc	III-11
III.6.5	Le code des couleurs pour les bobines	III-12
III.6.6	Le code de marquage des inductances	III-13
III.6.7	La bobine CMS	III-13
III.6.8	La bobine imprimée	III-15
III.6.9	La bobine ajustable / variable.....	III-15
III.7	L'inductance mètre - le pont RLC	III-15
III.8	Ne pas confondre les composants	III-16
IV	Le condensateur.....	IV-17
IV.1	Généralités	IV-17
IV.2	La charge et la décharge du condensateur	IV-20
IV.3	Le condensateur réel	IV-21
IV.4	Le condensateur et son utilisation.....	IV-22
IV.5	Groupement de condensateurs	IV-23
IV.5.1	Le groupement de condensateurs en série.....	IV-23
IV.5.2	Le groupement de condensateurs en parallèle.....	IV-24
IV.6	Les différents types de condensateur	IV-24
IV.7	Le condensateur non polarisé.....	IV-24
IV.7.1	Le condensateur céramique (terme générique)	IV-24
IV.7.2	Variation de la capacité d'un condensateur en fonction de la tension continue – un phénomène méconnu.....	IV-30
IV.7.3	Le condensateur de traversée céramique.....	IV-31
IV.7.4	Le condensateur à film plastique (terme générique)	IV-31
IV.7.5	Le condensateur Mica argenté.....	IV-33

IV.7.6	Le condensateur non polarisé réalisé avec 2 polarisés.....	IV-33
IV.7.7	Le condensateur X1, X2, Y1, Y2 pour filtre secteur.....	IV-33
IV.8	Le condensateur variable ou ajustable	IV-36
IV.8.1	Le condensateur variable.....	IV-36
IV.8.2	Le condensateur ajustable	IV-37
IV.9	Le condensateur polarisé.....	IV-39
IV.9.1	Le condensateur électrochimique / électrolytique.....	IV-39
IV.9.2	Le condensateur au tantale	IV-40
IV.10	Le (super) condensateur de sauvegarde	IV-42
IV.11	Le code des couleurs	IV-44
IV.12	Le code de marquage	IV-45
IV.12.1	Le code de marquage des condensateurs	IV-45
IV.13	La mesure des condensateurs	IV-46
IV.14	L'évolution du conditionnement du condensateur.....	IV-48
IV.15	Ne pas confondre les composants	IV-48
V	La diode (semi-conducteur)	V-1
V.1	La diode – Généralités	V-1
V.2	Courbe et équation d'une diode « classique »	V-1
V.3	Les différents matériaux semi-conducteurs utilisés.....	V-2
V.4	Le circuit équivalent d'une diode	V-3
V.5	Le groupement de diodes.....	V-3
V.6	Le marquage de la diode.....	V-7
V.6.1	Le code des couleurs	V-7
V.6.2	Le marquage des diodes CMS avec un seul anneau de couleur.....	V-8
V.6.3	Le marquage en clair	V-8
V.7	Les différents boîtiers	V-12
V.8	La diode de redressement	V-17
V.8.1	Diode de redressement secteur.....	V-17
V.8.2	Diode de redressement haute tension	V-20
V.8.3	Diode de redressement d'alimentation à découpage	V-20
V.8.4	Diode de redressement de signaux hautes fréquences.....	V-20
V.8.5	Diode de redressement Hyperfréquence	V-20
V.9	La diode de commutation	V-20
V.10	La diode électroluminescente DEL (LED)	V-21
V.11	La diode GUNN	V-22
V.12	La diode Laser.....	V-23
V.13	La photodiode	V-23
V.14	La diode Pin	V-24
V.15	La diode régulatrice de courant.....	V-25
V.16	La diode Schottky	V-26
V.17	La diode Tunnel	V-27
V.18	La diode Varicap.....	V-28
V.19	La diode Zener ou avalanche	V-29
V.20	Le DIAC.....	V-31
V.21	Le pont de diodes	V-32
V.22	La mesure d'une diode – vérification	V-33
VI	Le fusible.....	VI-1
VI.1	Généralités	VI-1
VI.2	Le fusible courant	VI-1
VI.3	Le fusible réarmable - Polyswitch	VI-4

VI.4	Le fusible thermique	VI-5
VI.5	Le marquage du fusible.....	VI-5
VI.6	Le porte fusible	VI-8
VI.7	Le conditionnement des fusibles.....	VI-9
VI.8	Vérification d'un fusible / porte fusible.....	VI-9
VII	Le MMIC : Amplificateur HF intégré.....	VII-10
VII.1	Généralités	VII-10
VII.2	La présentation physique : le boîtier.....	VII-10
VII.3	La structure interne	VII-11
VII.4	La mise en œuvre du MMIC.....	VII-12
VII.5	Tableau des caractéristiques de quelques MMIC	VII-13
VII.6	Utilisation du SBB5089Z dans une réalisation	VII-14
VIII	Le quartz.....	VIII-1
VIII.1	Généralités	VIII-1
VIII.2	Schéma équivalent	VIII-4
VIII.2.1	Les résonances série et parallèle.....	VIII-5
VIII.2.2	Schémas de la variation de la réactance (impédance) d'un quartz.....	VIII-6
VIII.3	Dérive dans le temps, vieillissement.....	VIII-8
VIII.4	Les différents boîtiers	VIII-8
VIII.5	L'oscillateur à quartz	VIII-9
VIII.5.1	L'oscillateur à éléments discrets.....	VIII-9
VIII.5.2	L'oscillateur à quartz standard	VIII-9
VIII.5.3	Les oscillateurs à quartz haute stabilité	VIII-11
VIII.6	Le testeur de quartz	VIII-12
VIII.7	Le filtre à quartz.....	VIII-13
VIII.7.1	Le filtre à quartz de l'industrie	VIII-14
VIII.7.2	Le filtre à quartz à éléments discrets	VIII-16
IX	Le radiateur ou dissipateur thermique	IX-1
IX.1	Généralités	IX-1
IX.2	Inertie / temps de réactivité du transfert thermique	IX-3
IX.3	Les principaux fabricants de radiateurs	IX-3
IX.4	L'Isolation électrique : le but et son montage.....	IX-4
IX.4.1	Le but de l'isolation électrique.....	IX-4
IX.4.2	Le montage de l'Isolation électrique et de la conduction thermique	IX-4
IX.4.3	Résistances thermiques de boîtiers usuels et de l'isolation électrique	IX-5
IX.5	Montage de transistors sur radiateur	IX-5
IX.6	Calcul d'un radiateur – exemple concret	IX-6
IX.7	Montage de composants montés en parallèle sur le même radiateur.....	IX-6
IX.8	Différents modèles de radiateurs	IX-7
X	Le régulateur de tension intégré	X-1
X.1	Généralités	X-1
X.2	Le régulateur de tension linéaire	X-1
X.3	Le régulateur de tension linéaire shunt.....	X-1
X.4	Le régulateur de tension linéaire série	X-3
X.4.1	Généralités – Principes	X-3
X.4.2	Le régulateur intégré de tension fixe (linéaire série).....	X-5
X.4.3	Le boîtier du régulateur de tension fixe	X-5
X.4.4	Le classique – le régulateur de tension fixe tripode	X-5
X.4.5	Conseils de montage du régulateur de tension tripode.....	X-5
X.4.6	Le brochage du régulateur tripode positif	X-7

X.4.7	Le brochage du régulateur tripode négatif	X-7
X.4.8	Caractéristiques de régulateurs intégrés tripode de tension fixe	X-8
X.4.9	Le Régulateur de tension fixe – les cas particuliers	X-9
X.4.10	Le régulateur de tension intégré ajustable	X-11
X.5	Le régulateur de tension à découpage (A venir)	X-15
XI	Le tore magnétique	XI-1
XI.1	Généralités (A compléter)	XI-1
XI.2	Les diverses utilisations	XI-1
XII	Le thyristor – Le triac (à venir)	XII-1
XIII	Le transistor (à venir)	XIII-1
XIV	Le transformateur	XIV-1
XIV.1	Le transformateur – l’induction mutuelle –généralités	XIV-1
XIV.2	Caractéristiques techniques d’un transformateur	XIV-4
XIV.3	Combinaison des enroulements	XIV-5
XIV.4	Les différents transformateurs	XIV-6
XIV.5	Le transformateur à alimentation secteur	XIV-6
XIV.5.1	Le transformateur sur carcasse et étrier	XIV-6
XIV.5.2	Calcul de la section du noyau et du nombre de spires par volt	XIV-7
XIV.5.3	Le transformateur moulé	XIV-8
XIV.5.4	Le transformateur torique	XIV-10
XIV.6	Le transformateur R	XIV-11
XIV.7	L’autotransformateur	XIV-12
XIV.8	Le transformateur de mesure du courant	XIV-12
XIV.9	Le transformateur pour alimentation à découpage	XIV-13
XIV.9.1	Exemples de transformateurs d’alimentation à découpage	XIV-14
XIV.9.2	Cas particulier : le transformateur de Très haute tension (THT)	XIV-14
XIV.1	Le transformateur basse fréquence	XIV-14
XIV.2	Le transformateur Haute fréquence	XIV-15
XIV.2.1	Le transformateur de fréquence intermédiaire	XIV-15
XIV.2.2	Le transformateur haute fréquence :	XIV-17
XIV.2.3	Le transformateur monté en surface	XIV-19
XV	Le transistor	XV-20
XVI	La philatélie en rapport avec l’électricité, la radio,	XVI-21
XVI.1	Quelques personnages célèbres	XVI-21
XVI.2	La radio au service des humains et handicaps	XVI-22
XVI.3	Les salons / expositions	XVI-22
XVI.4	Les taxes et redevances sur la radio,	XVI-23
XVI.5	L’organisation des télécommunications UIT	XVI-23
XVI.6	Les satellites de télécommunications, météo,	XVI-24
XVI.7	Les composants	XVI-25
XVI.8	La philatélie et le radio amateurisme	XVI-26
XVII	Glossaire	XVII-1

I La résistance, la résistivité et composants apparentés

I.1 La résistance - généralités

La résistance est la caractéristique d'un composant à s'opposer au passage du courant (flux d'électrons) et s'accompagne d'une dissipation d'énergie dans le composant par effet joule. Cette dissipation est à prendre en compte dans le choix du composant.

L'unité de la résistance est l'Ohm dont le symbole est la lettre Oméga (Ω).

Le composant dont la caractéristique principale est la résistance s'appelle résistance (en anglais « resistor » qui utilise 2 mots différents pour désigner le phénomène physique et le composant).

La résistance est un composant passif non polarisé (indépendant du sens du courant qui la traverse, ce qui n'est pas le cas des diodes et de certains condensateurs).

La gamme des résistances produites par l'industrie s'étend de quelques dizaines de milli ohms ($m\Omega = 1 * 10^{-3}\Omega$) à quelques dizaines de Mégohms ($M\Omega = 1 * 10^{+6}\Omega$) et ont des valeurs normalisées sauf commande spéciale (en grande quantité).

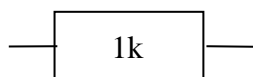
La valeur est indiquée à 25° avec une tolérance (précision de 10%, 5%, 2%, 1%, 0,5%, 0,1%) soit par un marquage direct soit par un code de couleurs et avec parfois un coefficient de température indiqué en parties par million par degré (ppm/°) (variation de la valeur de la résistance en fonction de la température).

Les caractéristiques d'une résistance spécifiées par le constructeur sont :

- La valeur de sa résistance nominale : indiquée en général sur la résistance,
- La tolérance (précision) : écart maximum de la valeur nominale par rapport à la valeur réelle de la résistance,
- La puissance nominale : puissance thermique maximale que peut dissiper la résistance,
- La tension maximale : supportée par la résistance, elle est fonction de la résistance et de la puissance maximale ($U = \sqrt{P * R}$) et de la rigidité du diélectrique (avant claquage), à prendre en considération lors que la tension d'alimentation est une haute tension (ex : 1000V dans un amplificateur à tubes),
- Le coefficient de température : variation relative de la valeur de la résistance en parties par million en fonction du changement de la température,
- La tension de bruit : due à l'agitation moléculaire, etc.

La représentation de la résistance dans un schéma peut prendre 2 formes :

- un rectangle avec la valeur à l'intérieur et sa référence à l'extérieur (norme Européenne)



R21

- une dent de scie (norme US et ancienne représentation)

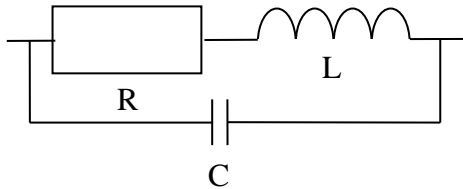


R21

1.2 La résistance réelle

La résistance (composant) dont le comportement n'est décrit que par la résistance (phénomène) n'existe pas (c'est une résistance idéale (théorique)). De part la technologie utilisée pour sa fabrication (fils de connexions, etc...) elle comporte des éléments « parasites » : en série une bobine (inductance = fils de connexions, etc..) et en parallèle une capacité qui changent son comportement en haute et très haute fréquences.

Le schéma réel d'une résistance :



1.3 La résistivité

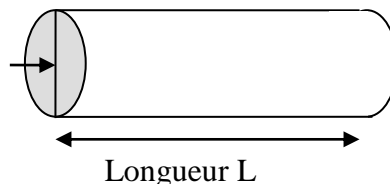
La résistivité d'un matériau est sa capacité à s'opposer au passage du courant électrique. Elle est faible pour les conducteurs, très grande pour les isolants et moyenne pour les semi-conducteurs (germanium, silicium). Elle varie plus ou moins en fonction de l'augmentation de la température :

- augmente pour les conducteurs,
- diminue pour les isolants,
- diminue fortement pour les semi-conducteurs.

La résistivité, dont le symbole est la lettre rho (ρ), s'exprime en ohms mètre (Ωm). Elle correspond à la résistance d'un matériau de 1 m de longueur et d'une section de 1 m^2 .

La formule donnant la résistance d'un fil de résistivité ρ , de longueur L, de diamètre D (rayon : r) et de section S est :

$$\text{Section } S = \pi * r^2 = \frac{\pi * D^2}{4}$$



$$R = \rho * L / S$$

R = résistance en Ohms, L = longueur du matériau en mètre, S = la section en m^2 .

Exemple : quelle est la résistance d'un fil de cuivre d'une longueur de 100 m et d'un diamètre de 2mm ?

La résistivité du cuivre écroui est $\rho = 1,8 * 10^{-8} \Omega\text{m}$ (voir le tableau ci-après).

Calcul de la section en m^2 :

$$S = \pi * r^2 = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{3,14 * (2 * 10^{-3})^2}{4} = \frac{3,14 * 4 * 10^{-6}}{4} = 3,14 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

Calcul de la valeur de la résistance du fil de cuivre en Ohms :

$$R = \frac{\rho * L}{S} = \frac{1,8 * 10^{-8} * 100}{3,14 * 10^{-6}} = \frac{1,8 * 10^{-6}}{3,14 * 10^{-6}} = \frac{1,8}{3,14} = 0,573 \text{ ohms (le cuivre est un bon conducteur !)}$$

La résistivité varie en fonction de la température. Le tableau ci-après donne quelques valeurs du coefficient de température α . En première approximation la formule donnant la résistance R_t à la température t (R_0 est la valeur de la résistance à la température ambiante) est :

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

La résistivité de quelques matériaux :

Matériau	Symbole chimique	ρ en $\Omega.m$	Coef. thermique α ($^{\circ}C$) ⁻¹
Aluminium	Al	$2,78 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Air sec		$1,12 \cdot 10^{+9}$	
Argent	Ag	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Bakélite		10^{+16}	
Bronze		$5 \cdot 10^{-8}$	
Cadmium	Cd	$7,6 \cdot 10^{-8}$	
Carbone	C	$3500 \cdot 10^{-8}$	$-0,5 \cdot 10^{-3}$
Constantan		$5 \cdot 10^{-7}$	
Cuivre	Cu	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Cuivre écroui	Cu	$1,8 \cdot 10^{-8}$	
Etain	Sn	$1,2 \cdot 10^{-8}$	
Fer	Fe	$1 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Germanium	Ge	0,46	$-48 \cdot 10^{-3}$
Laiton	60% Cu 40% Zn	$5 \cdot 10^{-8}$	
Magnésium	Mg	$4,6 \cdot 10^{-8}$	
Mercure	Hg	$96 \cdot 10^{-8}$	
Nickel	Ni	$7 \cdot 10^{-8}$	
Nichrome	NiCr	$150 \cdot 10^{-8}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$
Or	Au	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Platine	Pt	$9,4 \cdot 10^{-8}$	$3,92 \cdot 10^{-3}$
Plexiglas		10^{+17}	
Polystyrène		10^{+20}	
Porcelaine		10^{+11}	
Silicium	Si	640	$-75 \cdot 10^{-3}$
Tungstène	W	$5,9 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Zinc	Zn	$6,1 \cdot 10^{-8}$	

I.4 Le groupement de résistances

Il peut être utile de recourir à un groupement de résistances pour disposer d'une valeur de résistance qui n'existe pas dans les valeurs normalisées produites par l'industrie ou pour des raisons de place ou de dissipation de la chaleur produite par la résistance.

Il existe 2 types de groupement : série et parallèle.

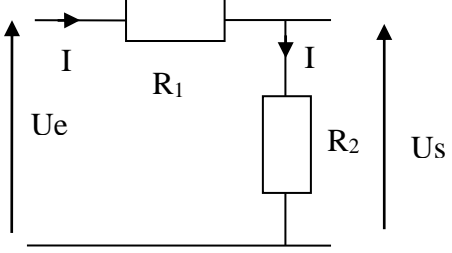
I.4.1 Le groupement de résistances en série

	<p>Formules</p> $U = R * I$ $U = U_1 + U_2$ <p>I est le même dans les 2 schémas, donc</p> $R = R_1 + R_2$ <p>Dans un groupement en série, la résistance équivalente est la somme des résistances et donc plus grande que la plus grande des résistances du groupement.</p> <p>Exemple : $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 1000\Omega$ $\rightarrow R = 100 + 1000 = 1100\Omega$</p>
--	---

I.4.2 Le groupement de résistances en parallèle

	<p>Formules</p> $U = R * I$ $I = I_1 + I_2$ <p>U est le même dans les 2 schémas, donc</p> $R = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$ <p>Dans un groupement en parallèle, la résistance équivalente est plus petite que la plus petite des résistances du groupement.</p> <p>Exemple : $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 1000\Omega$ $\rightarrow R = \frac{100 * 1000}{100 + 1000} = \frac{100000}{1100} = 90,90\Omega$</p>
--	--

I.5 Le diviseur de tension

 <p>$U_e =$ tension d'entrée, $U_s =$ tension de sortie</p>	<p>Formules</p> $U = R * I$ <p>I est le même dans les 2 résistances donc</p> $U_e = (R_1 + R_2) * I \rightarrow I = U_e / (R_1 + R_2)$ $U_s = R_2 * I = \frac{R_2 * U_e}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_e$ <p>Pour un diviseur par 10 soit $U_s = U_e / 10$ $\rightarrow R_1 = 9 * R_2$</p> <p>Exemple : $R_2 = 1k\Omega$ alors $R_1 = 9k\Omega$.</p> <p>Pour un diviseur par 100 soit $U_s = U_e / 100$ $\rightarrow R_1 = 99 * R_2$</p> <p>Exemple : $R_2 = 1k\Omega$ et $R_1 = 99k\Omega$.</p> <p>A condition que la charge branchée à la sortie soit négligeable par rapport à R_2.</p>
--	--

I.1 Choisir son type de résistance

Dans la majorité des cas, il est important de bien choisir le type de résistance correspondant aux critères requis par le circuit. Parmi les critères à prendre en compte, on trouve :

- **nature du courant** : continu, alternatif (gamme de fréquences),
- **paramètres électriques** : valeur, précision, puissance maximale à dissiper (en régime permanent ou transitoire, avec ou sans ventilation forcée), tension maximale supportable, stabilité par rapport à la température,
- **paramètres physiques** : dimensions et la tenue par rapport aux contraintes mécaniques (vibrations ou autres)
- **Coût** : en général très faible mais à prendre en compte lorsqu'une précision et/ou une puissance importante(s) à dissiper est requis.

I.2 Les différents types de résistances

Il existe quatre grands types de résistances :

1. agglomérées (ancienne technologie),
2. à couche de carbone,
3. à couche métallique,
4. bobinée.

I.2.1 La résistance agglomérée



La résistance agglomérée est la plus ancienne. Elle est fabriquée à partir de poudre de carbone mélangée à un isolant et à un liant et entourée d'un enrobage. (voir la résistance coupée en 2).

Sa tolérance est de 20% (sans anneau de tolérance) ou de 10% (anneau argent).

Elle est non inductive mais assez bruyante. Elle existe en différentes puissances

I.2.2 La 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 (voir ci-contre). Elle existe soit avec deux bagues de connexion fixées aux extrémités soit sans 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.

Autres résistances à couche de carbone de puissance

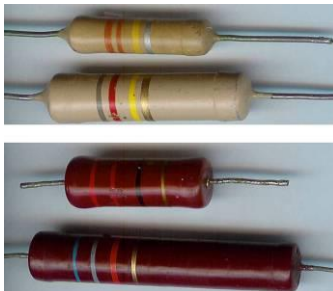
Dimensions :

1/4W = 2,5mm x 7mm,

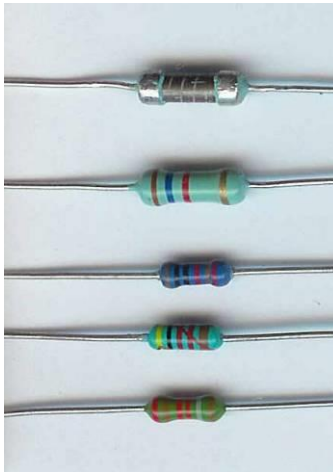
1/2W = 8mm x 10,3mm,

1W = 5mm x 10,5mm

2W = 5mm x 15 mm



I.2.3 La résistance à couche métallique



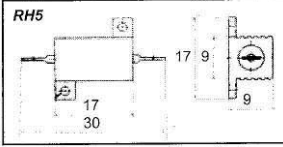
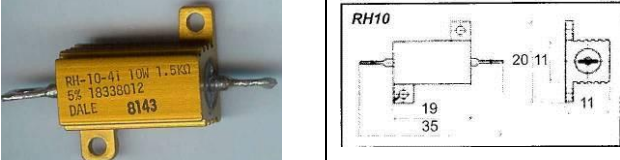
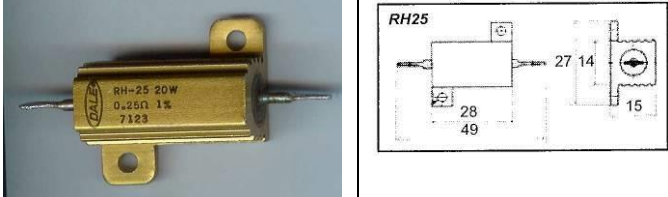
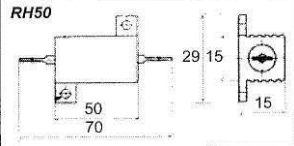
La résistance à couche métallique est constituée, en général, d'un film métallique déposé sous vide sur un barreau isolant en céramique. La valeur est ajustée en creusant la couche de métal en forme hélicoïdale (voir ci-contre). Elle existe soit avec deux bagues de connexion fixées aux extrémités (voir la 1^{ère} résistance) soit sans bagues de connexion, les connexions étant soudées directement aux extrémités (plus fiable mais plus fragile) (voir la 4^{ème} résistance).

De par sa conception, elle possède en plus une certaine 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.

I.2.4 La 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 part sa construction, ce type de résistance est dotée d'une caractéristique inductive importante ce qui ne la prédestine qu'à une utilisation aux basses fréquences.

Bobinées en boîtier dissipateur de type RH (Marque Dale, Vishay, Sfernice,)

Type	Dimensions	Caractéristiques	Remarques
RH5		Dissipation à 25° 10W sur radiateur 5W sans radiateur Tension limite 160V	Série E6
RH10		Dissipation à 25° 10W sur radiateur 6W sans radiateur Tension limite 250V	Série E6
RH25		Dissipation à 25° 25W sur radiateur 9W sans radiateur Tension limite 550V	Série E6
RH50		Dissipation à 25° 50W sur radiateur 10W sans radiateur Tension limite 1250V	Série E6

Bobinées vitrifiées de type RB (Fabricants : Vishay, Sfernice, Welwyn,....)

Le fil métallique en Nickel-Chrome (en général) est bobiné sur un support cylindrique en céramique, le tout est recouvert d'une couche de verre (= vitrifiée).

Type	Dimensions	Caractéristiques	Remarques
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 300V Tolérance 5%	Série E12

La résistance bobinée cémentée



Puissance 5W, 7W, 11W Série E12
← Cémentée

La résistance bobinée de puissance



Résistance bobinée de puissance ajustable avec une bague de réglage (point de contact en dessous) pour l'obtention d'une valeur intermédiaire
Ici une résistance de 10Ω

I.2.5 La résistance de précision

L'utilisation de ce type de résistance est nécessaire pour effectuer des mesures ou une polarisation de précision. Il est important aussi d'évaluer son environnement pour ne pas noyer cette caractéristique. On trouve des résistances avec une précision de 1%, 0,1% et 0,01% ; en général la stabilité en température va de paire (par exemple ± 5 ppm / °). Le coût est proportionnel à la précision ; pour faire simple une résistance d'une précision de : 1% coûte 0,10€, 0,1% → 1€ et 0,01% → 10€.



Résistance 1%

0,01 Ω 1%


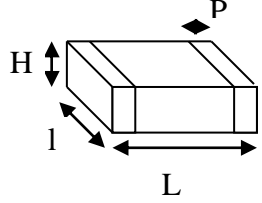

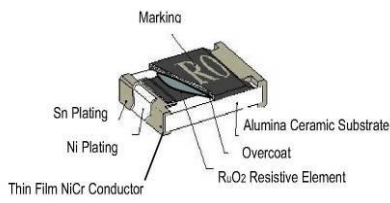
0,1%

0,01% 0,01% (100 Ω)

I.3 La résistance montée en surface - 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.

		<p>Modèle ancien, valeur indiquée par le code des couleurs Boîtier MiniMelf</p>	
 <p>Ex : code 0603 L=0.06 inch et l=0.03 inch</p>		<p>← Marquée 4751 = 4,750 kΩ ← Marquée 120 = 12Ω ← Marquée en clair = 0,25 Ω</p> <p>← Marquée 01E = 1 M Ω 1% (voir code EIA - 96 pages suivantes)</p>	 <p>Extrait de la documentation Viking</p>

Boîtier Code	Puissance	L inch	l inch	L mm	l mm	H mm	P mm	Tension
0201	1/20 W	0.02	0.01	0,6	0,3	0,12		15 V
0402	1/16 W	0.04	0.02	1,0	0,5	0,35		25 V
0603	1/10 W	0.06	0.03	1,6	0,8	0,5 à 1,2	0,25 à 0,65	75 V
0805	1/8 W	0.08	0.05	2	1,25	0,5 à 1,4	0,25 à 0,75	100 V
1206	1/4 W	0.12	0.06	3,2	1,6	0,55 à 1,6	0,25 à 0,85	150 V
1210	1/3 W	0.12	0.10	3,2	2,5	0,56		200 V
2010	1/2 W	0.20	0.10	5,0	2,5	0,56		
2512	1 W	0.25	0.12	6,3	3,2	0,56		

D'autres formats existent et en particulier pour les condensateurs (céramiques).

I.4 La résistance ajustable – potentiomètre ajustable

La résistance ajustable ou le potentiomètre ajustable (Trimmer en Anglais) est un composant dont on peut faire 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 2 connexions extérieures (voir 1^{ère} photo), elle a été très peu fabriquée.

Le potentiomètre ajustable possède 3 connexions externes. Il peut être considéré comme un diviseur de tension (voir le chapitre). En réunissant le curseur à une des 2 autres connexions externes on réalise une résistance ajustable.

Le potentiomètre ajustable existe sous diverses formes :

2 grands types de pistes : piste de carbone sur un support en résine (modèle économique) et à piste cermet (substrat céramique) plus stable,

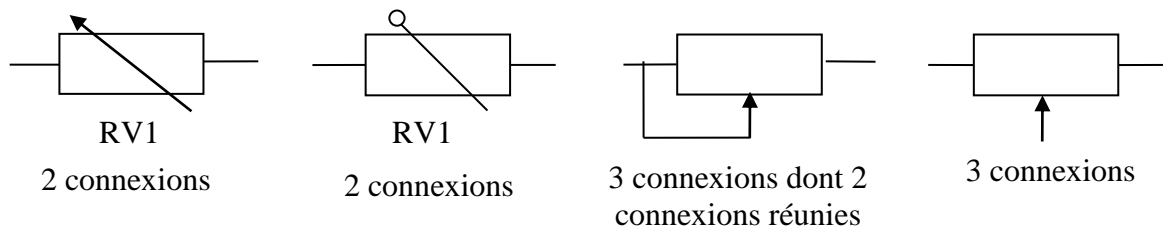
Sans capot ou capoté (plus fiable et stable, à l'abri de l'humidité et éléments externes),

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.

Symboles de la résistance et du potentiomètre ajustable (norme Européenne):








Représentation d'une résistance ajustable




d'un potentiomètre





Représentation d'une résistance et d'un potentiomètre ajustable (norme US) Wiper

Différents types de résistances et potentiomètres ajustables :

				
Résistance variable à piste de carbone 2 connexions	Potentiomètre à piste de carbone implantation verticale	Potentiomètre à piste de carbone implantation verticale 0,1W	Potentiomètre cermet à piste de carbone implantation verticale	Potentiomètre cermet à piste de carbone implantation horizontale et verticale

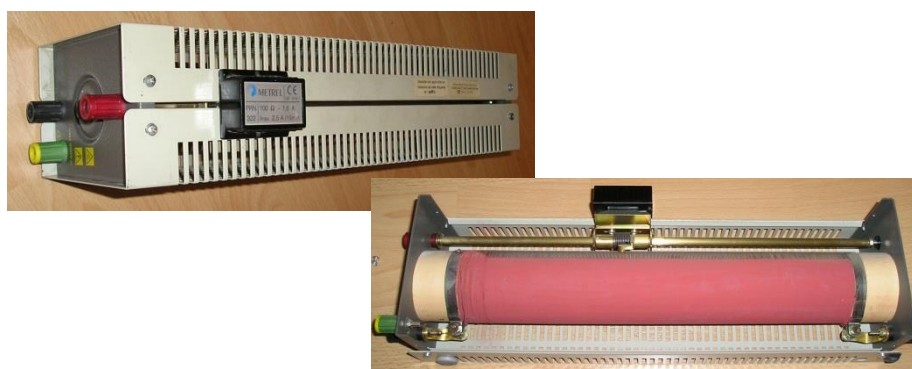
				
Potentiomètre capoté à piste de carbone implantation	Potentiomètre capoté à piste de carbone implantation horizontale et verticale	Potentiomètre capoté cermet type TX implantation verticale		

Potentiomètre ajustable 10 tours

	<ul style="list-style-type: none"> ← Vis sans fin ← Contactmobile déplacé sur la vis ← Piste sur substrat céramique 	
Potentiomètre ajustable cermet 10 tours type T93YB 0,5W		Potentiomètre ajustable cermet 25 tours type T93YB 0,5W

1.5 Le rhéostat

Le rhéostat est une résistance réglable qui permet de modifier l'intensité du courant dans un circuit en l'intercalant en série. Dans le cas général, il est constitué d'une résistance de puissance variable. L'intensité maximale du courant qui peut la traverser est indiquée, une surcharge momentanée est souvent mentionnée. Le réglage s'effectue à l'aide d'un curseur linéaire comme ci-dessous ou d'une manivelle.

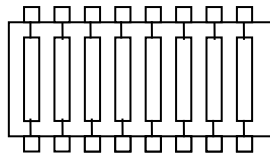


Exemple de rhéostat : 100Ω intensité maximale 1,8 A et 2,5A (maxi 15 mn)

I.6 Le réseau de résistances

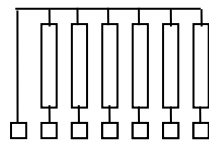
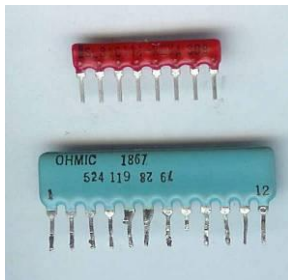
I.6.1 Le réseau de résistances SIL ou DIL

Réseau de résistances de 1/8W indépendantes ou ayant un point commun au format DIL (Dual In Line = 2 rangées de connexions en ligne) ou SIL (Single in line = une rangée de connexions en ligne) ou réseau de résistances fabriqué à la demande.



DIL16

Résistance indépendantes ou un ayant un point commun



SIL 8 ou 12

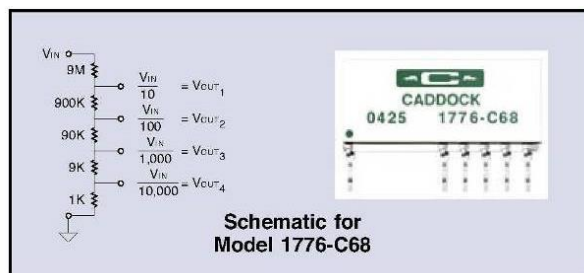
Réseau spécifique de résistances

I.6.2 Le réseau diviseur de tension et l'atténuateur 50Ω

Le (réseau) diviseur de tension est utilisé en général dans les appareils de mesure pour diviser (atténuer) la tension à mesurer et la rendre compatible avec la capacité de mesure de la partie mesure de l'appareil. Par exemple, dans les multimètres 2000 points (classique) la capacité de la partie mesure est de 200 mV pour un affichage de 2000 points (3 ¼ digits) avec une résistance d'entrée normalisée à 10MΩ, ainsi pour mesurer une tension de 20V, il faut diviser (atténuer) la tension à mesurer par un facteur de 100 (voir le chapitre diviseur de tension).

Dans un multimètre numérique de grande précision et de faible coefficient de température l'atténuateur d'entrée est un réseau de résistances de précision monté sur un substrat céramique (avec dépôt d'une couche métallique). La précision absolue est inférieure à 0,25% et la relative à 0,1% pour un multimètre classique de 2000 points et elle est bien supérieure pour des multimètres 4 000 points, 20 000 points, 200 000 points, etc.

Exemple : diviseur de tension d'un multimètre Extrait de la documentation Caddock Electronics Inc :



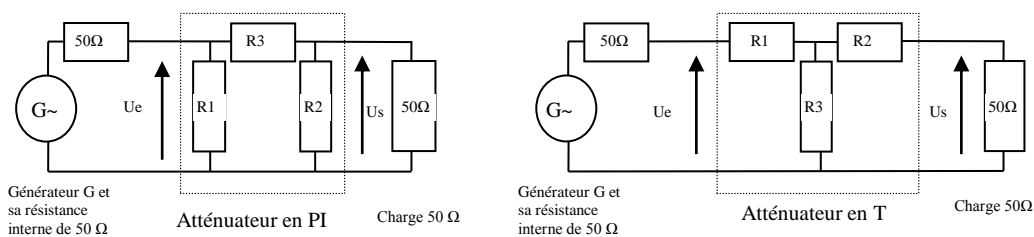
L'atténuateur 50Ω est un cas particulier du diviseur de tension utilisé dans le monde de la radio et du radio amateurisme pour effectuer des adaptations de niveau dans la chaîne de liaison ou des mesures compatibles avec les possibilités des appareils de mesure.

L'impédance de 50Ω est une valeur normalisée en radio.

Les principales caractéristiques de l'atténuateur sont l'atténuation exprimée en général en dB, la puissance maximale dissipée et sa gamme d'utilisation en fréquence (= sans changement notable des caractéristiques, en effet au fur et à mesure de la montée en fréquence les inductances et capacités parasites du câblage se font de plus en plus sentir).

La valeur mentionnée de l'atténuation n'est respectée que si la résistance de charge et la résistance interne du générateur est de 50Ω.

L'atténuateur 50Ω est constitué dans le cas le plus simple de 3 résistances montées dans une configuration en π (PI) ou en T et capable de dissiper la puissance mentionnée dans les caractéristiques. Les résistances sont non inductives (résistances bobinées exclues) !



L'atténuation est donnée par la formule : $a = \frac{U_e}{U_s}$ et en dB $\rightarrow A = 20 * \log_{10}(a)$

En général pour simplifier le calcul des résistances on fait $R_1 = R_2$.

Calcul des résistances R_1 , R_2 et R_3 pour le montage avec $Z_0 = 50\Omega$ (notre cas pour un atténuateur de 50Ω).

En π (le plus utilisé) :

$$R_1 = R_2 = Z_0 * \frac{(a + 1)}{(a - 1)} \text{ et } R_3 = \frac{1}{2} Z_0 * \frac{(a^2 - 1)}{a}$$

$$R_1 = R_2 = Z_0 * \frac{(10^{A/20} + 1)}{(10^{A/20} - 1)} \text{ et } R_3 = \frac{1}{2} Z_0 * \frac{(10^{A/10} - 1)}{10^{A/20}}$$

En T :

$$R_1 = R_2 = Z_0 * \frac{(a - 1)}{(a + 1)} \text{ et } R_3 = 2 Z_0 * \frac{a}{(a^2 - 1)}$$

$$R_1 = R_2 = Z_0 * \frac{(10^{A/20} - 1)}{(10^{A/20} + 1)} \text{ et } R_3 = 2 Z_0 * \frac{(10^{A/20})}{(10^{A/10} - 1)}$$

Exemple : pour une atténuation de $a = 10$ soit $A = 20 * \log_{10}(10) = 20\text{dB}$

Montage en π :

$$R_1 = R_2 = \frac{50 * (10 + 1)}{(10 - 1)} = \frac{50 * 11}{9} = 61,11\Omega$$

$$R_3 = \frac{1}{2} Z_0 * \frac{(a^2 - 1)}{a} = \frac{1}{2} 50 * \frac{(10^2 - 1)}{10} = \frac{25 * 99}{10} = 247,5\Omega$$

$$R_1 = R_2 = Z_0 * \frac{(10^{A/20} + 1)}{(10^{A/20} - 1)} = 50 * \frac{(10^{20/20} + 1)}{(10^{20/20} - 1)} = \frac{50 * 11}{9} = 61,11\Omega$$

$$R_3 = \frac{1}{2} Z_0 * \frac{(10^{A/10} - 1)}{10^{A/20}} = \frac{1}{2} 50 * \frac{(10^{20/10} - 1)}{10} = 25 * \frac{(100 - 1)}{10} = 247,5\Omega$$

Montage en T :

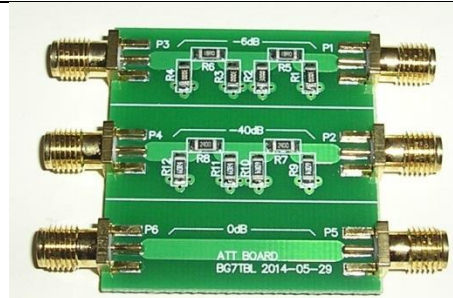
$$R_1 = R_2 = 40,90$$

$$R_3 = 10,10\Omega$$

Remarque : en général pour obtenir des atténuations supérieures à - 20dB, il est conseillé de monter en série les atténuateurs (par exemple pour obtenir -40dB, monter en série 2 atténuateurs de -20dB) car les résistances R_1 à R_3 deviennent soit trop faibles soit trop fortes et cela engendre des « fuites » en HF et dégrade le comportement de l'atténuateur au fur et à mesure de l'augmentation de la fréquence.

Ci-dessous un exemple d'atténuateur commercial peu onéreux réalisé avec des composants discrets : résistances CMS.

Un atténuateur 50Ω acheté sur la toile pour environ 15 € et présentant 2 atténuations -6dB et -40 dB réalisés par la mise en série de 2 atténuateurs de respectivement -3dB et -20 dB. Le montage est de type en π . Les valeurs des résistances de l'atténuateur de -40dB (2 * 20 dB) sont proches de celles calculées ci-dessus R_1 , R_2 (ici R_{12} , R_{11}) = 60,4 Ω et R_3 (ici R_8) = 240 Ω.



Certains fabricants, comme par exemple Florida RF labs, fournissent des atténuateurs de 1dB à 30dB capables de dissiper une puissance de 2W à 400 Watts jusqu'à des fréquences de 10 GHz sous la forme de composants à souder/fixer sur un radiateur (dissipateur thermique). La partie résistive est réalisée en Nichrome.

Extrait du catalogue Florida RF Labs :

Ci-dessous des atténuateurs « Flange Mount »



Specifications

Impedance	50 Ohms
Frequency Range	DC to 4 GHz
VSWR (Typical)	1.30
Power Rating	10 to 400 Watts
Operating Temperature	-55°C to 150°C
Substrate	BeO or AlN
Resistive Material	Nichrome
Tab Contact	Different Finishes Available
Cover	Alumina
Flange	Copper, Nickel Plated

Ci-dessous des atténuateurs « Chip » de la série TS03 d'une puissance de 2 Watts



Specifications	
Size	3.10mm x 3.05mm (0.122in x 0.140in)
Impedance	50 Ohms
Frequency Range	Planar Series: DC to 12.4 GHz W Series: DC to 8 GHz
VSWR (Typical)	1.30
Power Rating	2.0 Watts
Operating Temperature	-55°C to 150°C
Substrate	Alumina
Resistive Material	Thick Film
Terminal Material	Thick Film, Nickel Barrier with Solder Plated or RoHS, Gold and Wire Bondable Options Available

Ci-dessous des atténuateurs « Tab & Cover »



Specifications	
Impedance	50 Ohms
Frequency Range	DC to 4 GHz
Attenuation Accuracy	±0.5 dB
VSWR (Typical)	1.30 @ 1 GHz
Power Rating	10 - 250 Watts
Operating Temperature	-55°C to 150°C
Substrate	Alumina, BeO or AlN
Resistive Material	Thin Film
Tab Contact	Different Finishes Available

1.7 La charge non rayonnante

La charge non rayonnante est une résistance de puissance non inductive qui sert de charge lors du réglage de la partie émission d'une station émettrice (à la place de l'antenne) pour ne pas perturber les communications radio environnantes. Elle fait partie des équipements obligatoires d'une station émettrice Radioamateur (voir la réglementation). Elle se présente sous la forme d'une résistance (ou plusieurs) montée(s) sur un radiateur ou baignant dans un bain d'huile contenu dans un bidon (cas des charges de forte puissance (1kW et plus)).



Charge 50Ω de 50W sur radiateur avec connecteur BNC pour les mesures

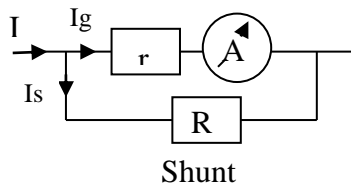


Résistance de puissance 50Ω à monter sur un dissipateur thermique

1.8 Le shunt

Le shunt est une résistance de faible valeur placée en général en dérivation pour drainer la majorité du courant. Elle est utilisée dans le cas de l'ampèremètre pour mesurer l'intensité

d'un courant plus important que celui supporté par la partie mesure de l'appareil (par exemple un galvanomètre).



r = résistance interne du galvanomètre
 R = résistance du shunt

Schéma d'un ampèremètre

Formules :

I = intensité du courant à mesurer
 $I = I_g + I_s \rightarrow I_s = I - I_g$
 La tension est la même aux bornes du shunt et de l'ampèremètre d'où

$$U = I_g * r = I_s * R$$

$$R = \frac{I_g * r}{I_s} = \frac{I_g * r}{I - I_g}$$

Exemple :

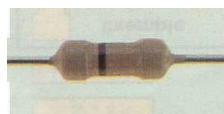
Courant maxi du galvanomètre
 $I_g = 1 \text{ ma} = 10^{-3} \text{ A}$
 Résistance interne du galvanomètre
 $r = 1000 \Omega$
 Pour mesurer $I = 10 \text{ A}$
 $R = \frac{10^{-3} * 1000}{10 - 10^{-3}} = \frac{1}{9,999} = 0,1 \Omega$

Exemple d'un shunt de très faible résistance extrait d'un ampèremètre Metrix et ajusté en usine par une fente :



I.9 Le strap - résistance 0Ω

Le Strap a une valeur de résistance de 0Ω, il est utilisé dans la conception de circuits imprimés pour simplifier le dessin du circuit en évitant le chevauchement des pistes.



Exemple : résistance 0Ω à fils

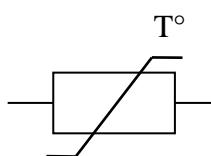
et au format CMS



I.10 La thermistance – CTN – CTP

La thermistance est une résistance particulière dont la valeur de la résistance varie en fonction de la température. Elle est classée en deux catégories : les coefficients de température négatifs (CTN (NTC en Anglais) dont la valeur diminue quand la température augmente) et les coefficients de température positifs (CTP (PTC en Anglais) dont la valeur augmente quand la température augmente).

Elle peut être utilisée pour mesurer la température à l'intérieur d'un appareil ou d'un radiateur d'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 (en particulier des composants actifs à semi-conducteurs).



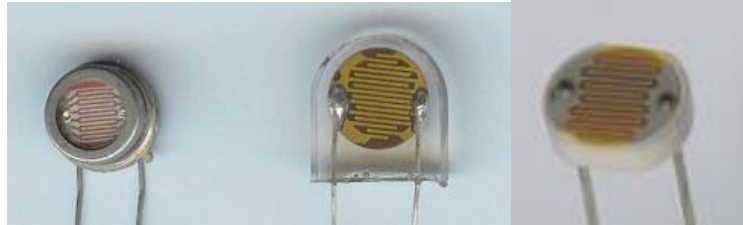
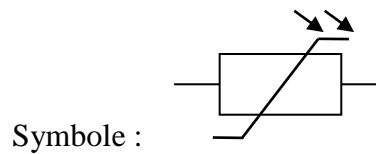
Symbole :

Exemples :



I.11 La photo résistance–LDR - CDS

La photo résistance 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 Mégohms dans l'obscurité à quelques centaines d'ohms en pleine luminosité. Le temps de réponse est moyen. Actuellement, elle est remplacée par des éléments plus rapides et disponibles telle la photo diode ou le phototransistor.

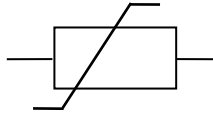


Anciennes photo résistances

I.12 La Varistance –VDR (Voltage Dependent Resistor)

La varistance (Varistor en Anglais) est une résistance particulière, à base d'oxyde métallique, dont la valeur de la résistance varie en fonction de la tension appliquée à ses bornes. 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 des courants très importants (100A à 1000A) pendant une courte durée (8 à 20µS).

Symbole :



V

Exemples

Varistances Siemens



Varistances de Siemens

Exemple : varistance à droite (Siemens)

Numéro de nomenclature

S = type S = format disque

14 = diamètre brut du disque en mm

K = tolérance de la tension (Volt)
standard ± 10% à 1 mA

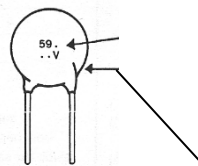
60 = tension de service maximale d'utilisation

Varistances Siemens

Ø en mm	05	07	10	14	20
U nominal	Dissipation maximale en Watts				
11 à 40 V	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
50 à 420 V	0,1	0,25	0,4	0,6	1,0

Varistances Philips

En oxyde de zinc



Varistances de Philips

Dissipation maximale en continu

592 → 0,1 W

593 → 0,25 W

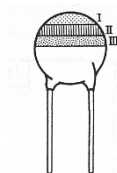
594 → 0,4 W

595 → 0,6 W

Tension maximale efficace en volts

Varistances Philips

En carbure de silicium



Varistances de Philips

I nom (mA)	U nominale (volts continus à I nominal)					
	Bande I	Bande III				
	Couleur	Noir	Rouge	Jaune	Bleu	Gris
100	Marron				8	10
10	Rouge	12	15	18	22	27
1	Orange	33	39	47	56	68
	Jaune	82	100	120	150	180
	Vert	220	270	330		

I.13 L'ohmmètre

L'ohmmètre est un appareil qui mesure la résistance d'un composant. Il peut être analogique avec un galvanomètre à aiguille ou numérique avec un afficheur à LED ou LCD et faire partie d'un contrôleur universel, d'un pont de mesure RLC ou dédié à ce type de mesure.

La mesure est basée sur la loi d'Ohm $U=R \cdot I$ d'où $R=U/I$.

Dans un ohmmètre numérique simple, un courant constant et connu avec précision est injecté dans le composant en test et la tension engendrée aux bornes du composant est mesurée par

le circuit interne de l'ohmmètre. La valeur du courant est fonction du calibre de l'ohmmètre, par exemple : pour mesurer une résistance inconnue sur le calibre $1\text{k}\Omega$, l'ohmmètre génère un courant constant de 1mA ($1\text{ milli Ampère} = 1 * 10^{-3}\text{ A}$), ce qui produit une tension de 1V par $1\text{k}\Omega$ et un affichage de $1,000$. Une résistance de $1,8\text{k}\Omega$, parcourue par ce courant, produit une tension de $1,8\text{V}$ qui s'affiche $1,800$ et ainsi de suite. Sur un autre calibre, l'ohmmètre génère un courant différent adapté au calibre, par exemple pour le calibre 100Ω le courant pourra être de 10mA , ce qui génère une tension de 1V pour 100Ω et un affichage de $100,0$ (on a déplacé le point de séparation pour être cohérent avec le calibre). Pour les calibres extrêmes $0,1\Omega$ et $1\text{M}\Omega$, un soin particulier est apporté au courant injecté qui ne doit pas être trop fort ou trop faible (risque d'échauffement de la résistance, vidage de la pile d'alimentation de l'appareil, ..) et à la longueur des câbles de mesure (résistance des câbles de mesure à soustraire de la valeur affichée sur le calibre $0,1\Omega$ ou servant d'antenne (rayonnement 50Hz ou autres) sur le calibre $1\text{M}\Omega$).

Dans un appareil analogique simple (1 galvanomètre et des résistances), l'ohmmètre mesure le courant injecté dans le composant en test. L'utilisateur choisit son calibre puis calibre l'ohmmètre en court-circuitant les 2 câbles de mesure et en amenant l'aiguille du galvanomètre sur le 0 (à l'extrême droite de l'échelle des résistances) par le potentiomètre de réglage prévu à cet effet sur l'ohmmètre. A noter que l'échelle graduée n'est pas linéaire sur ce type d'appareil.

Conseils pratiques pour la mesure de la valeur de la résistance:

- 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 ($\approx 100\text{k}\Omega$) 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 la retranchant de la valeur affichée. Pour ceux qui possèdent un (milli) ohmmètre faire une « mesure 4 fils ».

1.14 Le code des couleurs (norme EIA RS-279)

La valeur d'un composant n'est pas toujours indiquée en clair. L'industrie a utilisé le code des couleurs pour identifier la valeur de la plupart des résistances, de certains condensateurs, inductances, thermistances et la référence de quelques diodes et le gain de certains transistors.

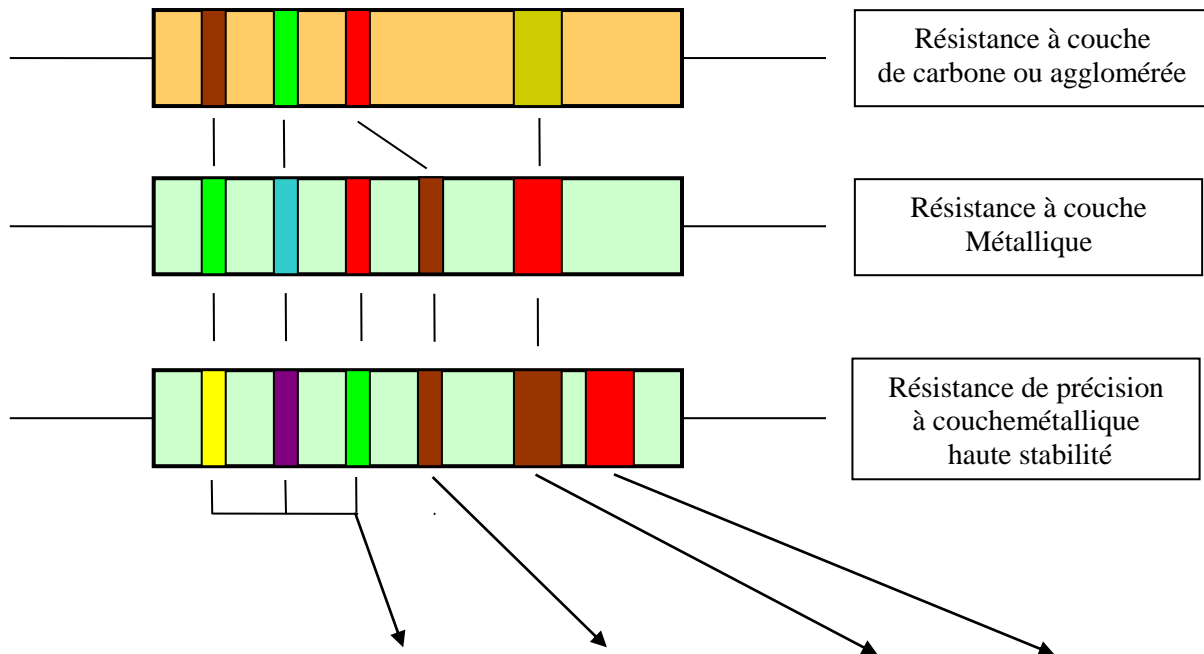
Pour déterminer la valeur d'une résistance :

1. compter le nombre d'anneaux de couleurs,
 - 3 anneaux : 2 anneaux de chiffres significatifs, 1 anneau multiplicateur, pas d'anneau de tolérance = $\pm 20\%$
 - 4 anneaux (dont 1 anneau plus large) : 2 anneaux de chiffres significatifs, 1 anneau multiplicateur, 1 anneau de tolérance
 - 5 anneaux (dont 1 anneau plus large) : 3 anneaux de chiffres significatifs, 1 anneau multiplicateur, 1 anneau de tolérance
 - 6 anneaux (dont 2 anneaux plus larges) : 3 anneaux de chiffres significatifs, 1 anneau multiplicateur, 1 anneau de tolérance, 1 anneau de coefficient de température
2. Le 1^{er} anneau est celui le plus proche du bord. Les 2 ou 3 premiers anneaux sont les chiffres significatifs. L'anneau suivant est le multiplicateur, puis l'anneau le plus large indique la tolérance (marron, 1% pour la série E96). Parfois un 2^{ème} anneau plus large donne le coefficient de stabilité en température (cas des résistances de précision).

Conseils pratiques : lors de la réalisation d'un montage, il est préférable de vérifier, à l'ohmmètre, la valeur de 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).

Tableau du code des couleurs



Mnémotechnique Initiale du mot = Initiale Couleur	Chiffres significatifs	Multiplicateur	Tolérance Et lettre correspondante	Coefficient. de température
Ne	Noir : 0	x 1 Ω		± 200 (U)
Mangez	Marron : 1	x 10 Ω	± 1 % (F)	± 100 (S)
Rien	Rouge : 2	x 100Ω	± 2 % (G)	± 50 (R)
Ou	Orange : 3	1 kΩ		± 15 (P)
Je	Jaune : 4	10 kΩ		± 25(Q)
Vous	Vert : 5	100 kΩ	± 0,5 % (D)	± 20 (Z)
Battrai	Bleu : 6	1 MΩ	± 0,25 % (C)	± 10 (Z)
VIOlement	Violet : 7	10 MΩ	± 0,1 % (B)	± 5 (M)
Grand	Gris : 8		± 0,05 % (A)	± 1 (K)
BOA ←	Blanc : 9			
		Or : x 0,1Ω	± 5 % (J)	
		Argent : x 0,01Ω	± 10 % (K)	
			Sans ± 20 % (M)	

Exemples :

- la première résistance (4 anneaux → 2 chiffres significatifs (marron = 1, vert = 5 → 15), 1 multiplicateur (rouge = 2 → x 100), 1 tolérance (or = 5%) soit **1500 = 1.5kΩ** valeur donnée à ±5%

2. la deuxième résistance (5 anneaux → 3 chiffres significatifs (vert = 5, bleu = 6, rouge = 2 → 562), 1 multiplicateur (marron = 1 → x 10), 1 tolérance (rouge = 2%) soit **5620 = 5,62kΩ** valeur donnée à ±2%
3. la troisième résistance (6 anneaux → 3 chiffres significatifs (jaune = 4, violet = 7, vert = 5 → 475), 1 multiplicateur (marron = 1 → x 10), 1 tolérance (marron = 1%) soit **4750 = 4.75kΩ** valeur donnée à ±1%, 1 coefficient de température = ±50ppm par °

I.15 Le code de marquage normalisé

L'industrie utilise un code de marquage normalisé sous deux formats :

Code A :

2 chiffres significatifs et un multiplicateur (analogue au code des couleurs).

Par exemple :

472 → 2 chiffres significatifs = 47 = et 1 multiplicateur = 2 → 100 = 10² soit une valeur de 4700 = 4.7kΩ.

471 = 470 Ω,

Code B :

La lettre R indique la position de la partie fraction, la lettre k le kilo (10⁺³), la lettre M le Mega (10⁺⁶).

Valeur de résistance	Code A	Code B IEC code
0,10		R10
0,22		R22
1,0	109	1R0
1,22		1R22
10,2		10R2
100	101	100R
1k	102	1K0
4,7k	472	4K7
10k	103	10K
100k	104	100K
1,0M	105	1M0
10M	106	10M0

I.16 Le code EIA – 96

La précision des résistances augmentant et leur taille diminuant, les fabricants ont été obligés de trouver un nouveau mode de marquage (plus ou moins) normalisé(et respecté !). Il est basé sur la série E96 (voir page suivante) pour des résistances d'une tolérance/précision de 1%. Dans ce mode, le marquage comporte 3 digits : les 2 premiers nombres indiquent la valeur de la résistance (en réalité un code correspondant à une valeur voir le tableau ci-dessous) et une lettre correspondant au multiplicateur (voir le tableau ci-dessous).

Par exemple, le code 04 correspond à 107 Ω et 60 à 412 Ω . Cette valeur est à multiplier par le multiplicateur correspondant à la lettre.

- 01A = 100 $\Omega \pm 1\%$
- 38C = 24300 $\Omega \pm 1\%$
- 92Z = 0.887 $\Omega \pm 1\%$

Code	Multiplicateur
Z	0,001
Y/R	0,01
X/S	0,1
A	1
B/H	10
C	100
D	1000
E	10000
F	100000

Code	Valeur	Code	Valeur	Code	Valeur	Code	Valeur	Code	Valeur	Code	Valeur
01	100	17	147	33	215	49	316	65	464	81	681
02	102	18	150	34	221	50	324	66	475	82	698
03	105	19	154	35	226	51	332	67	487	83	715
04	107	20	158	36	232	52	340	68	499	84	732
05	110	21	162	37	237	53	348	69	511	85	750
06	113	22	165	38	243	54	357	70	523	86	768
07	115	23	169	39	249	55	365	71	536	87	787
08	118	24	174	40	255	56	374	72	549	88	806
09	121	25	178	41	261	57	383	73	562	89	825
10	124	26	182	42	267	58	392	74	576	90	845
11	127	27	187	43	274	59	402	75	590	91	866
12	130	28	191	44	280	60	412	76	604	92	887
13	133	29	196	45	287	61	422	77	619	93	909
14	137	30	200	46	294	62	432	78	634	94	931
15	140	31	205	47	301	63	442	79	649	95	953
16	143	32	210	48	309	64	453	80	665	96	976

I.17 Les valeurs normalisées

L'industrie fabrique des valeurs normalisées de résistances, condensateurs, inductances, etc.. Il existe plusieurs Séries de valeurs : pour les résistances E3, E6, E12, E24, E48, E96 et E192. Le chiffre suivant la lettre indique le nombre de valeurs disponibles par décade par exemple pour la série E12 il existe 12 valeurs par décade (voir le tableau page suivante)(rappel une décade :1 à10, 10 à 100, 100 à 1000, etc..). L'espacement des valeurs a été choisi de telle manière que les valeurs soient espacées régulièrement sur une échelle logarithmique.

Série E3	Série E6	Série E12	Série E24	Série E48	Série E96
20%	10%	10%	5%	2%	1%
100	100	100	100	100	100
				102	105
				105	107
				107	110
				110	113
				113	115
				115	118
				120	121
				121	124
				124	127
150	150	150	150	121	121
				127	127
				130	130
				133	133
				137	140
				140	143
				143	147
				147	150
				154	154
				158	158
220	220	220	220	160	162
				162	165
				165	169
				169	174
				174	178
				178	182
				182	187
				187	191
				191	196
				196	200
270	270	270	270	205	205
				210	215
				215	221
				221	226
				226	232
				232	237
				237	243
				243	249
				249	255
				255	261
300	300	300	300	261	261
				267	274
				274	280
				280	287
				287	294
				294	301
				301	309
				309	316
				316	324
				324	

Série E3	Série E6	Série E12	Série E24	Série E48	Série E96
20%	10%	10%	5%	2%	1%
330	330	330	330	332	332
				348	348
				357	357
				365	365
				374	374
				383	383
				390	390
				402	402
				412	412
				422	422
470	470	470	470	422	422
				432	432
				442	442
				453	453
				464	464
				475	475
				487	487
				499	499
				511	511
				523	523
560	560	560	560	536	536
				549	549
				562	562
				576	576
				590	590
				604	604
				619	619
				634	634
				649	649
				665	665
680	680	680	680	681	681
				698	698
				715	715
				732	732
				750	750
				768	768
				787	787
				806	806
				825	825
				845	845
820	820	820	820	866	866
				887	887
				909	909
				931	931
				953	953
				976	976

La série E192 a une tolérance de 0,5%. D'un fabricant à un autre la précision des séries peut varier et plus ou moins respectée.

I.18 L'évolution du conditionnement des résistances

Au fur et à mesure des avancées technologiques et du montage des composants passant du mode manuel au mode à insertion automatique par des robots, le conditionnement des résistances a évolué dans le temps. Au début de l'électronique, les composants étaient chers (résistances comprises) et câblés à la main. Elles étaient livrées dans des conditionnements « presque » individuels voir quelques photos ci-dessous.



Résistances de précision de Sfernice
(Société Française de L'Electro – Résistance)



Autre exemple

Puis l'insertion/pose automatique des composants est arrivée obligeant les fabricants à fournir les résistances en bandes /rouleaux ou en bobine au format CMS.



I.19 Ne pas confondre les composants

Parfois, il n'est pas évident visuellement de faire la différence entre les éléments physiques suivants résistance, condensateur, bobine et diode. D'où l'intérêt de faire des tests sommaires à l'aide d'un multimètre ou d'un testeur de composants avant insertion des composants dans un montage en cours d'élaboration ou d'identification sur un circuit commercial.

Au format classique		Au format CMS et en général : la résistance est marquée, le condensateur n'est pas marqué et de couleur marron et la bobine est de couleur noire.	
Bobines (selfs)			
Condensateurs			
Résistances			

II L'amplificateur opérationnel (AOP)

II.1 L'amplificateur opérationnel - généralités

Il y a quelques décennies, le terme amplificateur opérationnel désignait un amplificateur à grand gain dont on pouvait régler de manière précise le gain pour réaliser des opérations mathématiques telles qu'additionner, soustraire, multiplier, intégrer et différencier. C'était le composant de base utilisé dans les calculateurs analogiques de l'industrie et des universités. En effet, les ordinateurs de l'époque ne disposaient pas, à un coût raisonnable, de la puissance de calcul et de simulation nécessaires.

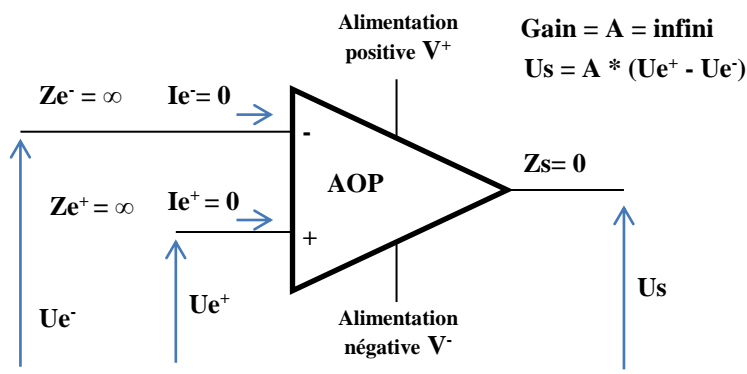
Rappels du cours : l'Amplificateur Opérationnel, ou "Ampli Op" ou "AOP", est un amplificateur linéaire et se représente schématiquement sous forme d'un triangle dont la pointe est la sortie. C'est un circuit intégré qui peut contenir un, ou parfois, deux ou plusieurs amplificateurs opérationnels. Un amplificateur opérationnel possède deux entrées : une normale (notée + dite non-inverseuse) et une inverseuse (notée -) et une sortie différentielle.

L'amplificateur opérationnel idéal a :

- une impédance d'entrée infinie en mode commun et en mode différentiel (Z_{e+} , Z_{e-} , Z_{c+} , Z_{c-}) ainsi aucun courant ne circule dans les entrées $\rightarrow I_{e^+} = I_{e^-} = 0$,
- une impédance de sortie Z_s nulle $\rightarrow Z_s = 0$,
- un gain en tension (noté A) infini : la moindre différence de potentiel entre les deux entrées fait basculer la tension de sortie vers la valeur + ou - de l'alimentation (ou les tensions d'offset). Si la tension présente sur l'entrée - est inférieure à celle présente sur l'entrée +, la sortie sera au reliée à $Alim +$ (ou Offset +). Dans le cas contraire, la sortie sera reliée à $Alim -$,
- la bande passante est infinie avec un gain en tension constant et un déphasage entrée / sortie constant,
- une tension de décalage nulle \rightarrow si la tension en entrée est nulle la tension en sortie est nulle

Dans la réalité les constructeurs s'approchent de ces caractéristiques : certains AOP ont :

- une impédance d'entrée de l'ordre Giga Ohms ($10^{+9} \Omega$) et même plus,
- une impédance de sortie de quelques ohms,
- un gain en tension « A » pouvant atteindre 1000 000 (10^{+6}),



La tension de sortie est donnée par la formule :

$$U_s = \text{Gain} * (\text{tension différentielle en entrée}) = A * (U_{e^+} - U_{e^-}).$$

Le gain en tension (noté A) étant infini : la moindre différence de potentiel entre les deux entrées (quelques microvolts) fait basculer la tension de sortie vers la valeur V^+ ou V^- de l'alimentation (à la tension de déchet près). Si la tension présente sur l'entrée e^- est inférieure à celle présente sur l'entrée e^+ , la sortie sera au reliée à Alim^+ (ou Offset^+). Dans le cas contraire, la sortie sera reliée à Alim^- .

La tension entrée sur la borne non-inverseuse e^+ est en phase avec la tension de sortie U_s .

La tension entrée sur la borne inverseuse e^- est en opposition de phase avec la tension de sortie U_s .

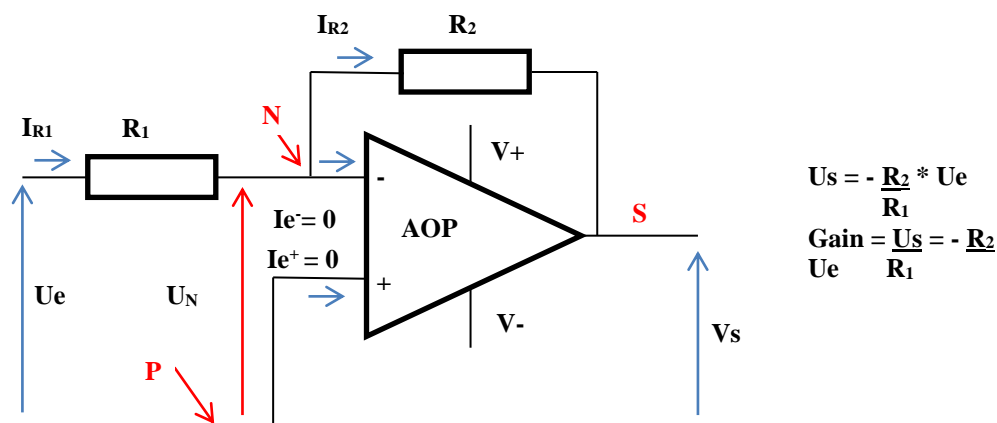
Dans ce type de montage simplifié l'amplificateur opérationnel ne peut être utilisé pour réaliser une amplification linéaire, il faut « calmer la bête » en rajoutant une contre réaction importante (on ramène une fraction de la tension de sortie en opposition de phase à l'entrée) qui va diminuer, de manière conséquente, le gain et rendre l'amplification plus linéaire et augmenter la bande passante.

L'alimentation des AOP classiques peut être symétrique (maximum $V^+ < +18V$ et $V^- < -18V$) ou asymétrique (maximum $V^+ < +36V$ et $V^- = 0V$). Actuellement on trouve des AOP avec des tensions maximales bien inférieures.

II.2 Les principaux montages d'un amplificateur op.

II.2.1 L'amplificateur inverseur

Le montage fondamental de l'amplificateur opérationnel est représenté ci-dessous.



Principe de fonctionnement :

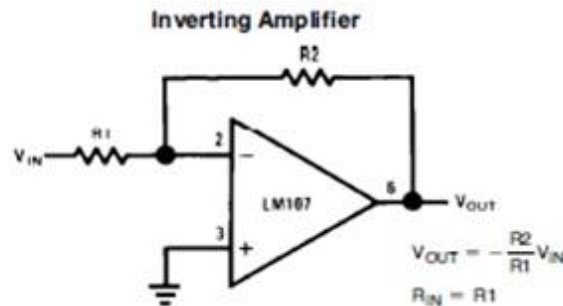
le signal U_e est appliqué à l'entrée inverseuse. Le montage fait appel à une contre-réaction grâce à la résistance R_2 . La tension au point N est stabilisée par rapport à la tension au point P. Lorsque la tension du signal d'entrée U_e est positive, la tension U_N est aussi positive et est supérieure à $U_P (= 0 V)$. U_N étant appliqué à l'entrée négative de l'amplificateur opérationnel, la sortie sera reliée au $-$ de l'alimentation. Cette tension négative en S va, par la contre-réaction de R_2 , diminué la tension en U_N et lorsque U_N atteindra une valeur inférieure à U_P , la sortie basculera vers le $+$ de l'alimentation du circuit, ce qui, par la contre-réaction de R_2 , fera augmenter U_N . Le système se stabilisera autour de la tension U_P avec $U_P = U_N = 0 V$ (masse ou tension de référence). Ce montage ne fonctionne que si l'amplificateur opérationnel est alimenté en $+$ et en $-$ (par exemple en $+5 V$ et en $-5 V$). En alimentant l'amplificateur

opérationnel « classiquement » entre une tension de 12 volts et la masse, la tension de référence (au point P) ne sera plus 0 V mais une tension intermédiaire (5 V par exemple) générée par un pont de résistances.

Dans la résistance d'entrée R_1 , on a un courant d'intensité $IR_1 = U_e / R_1$ puisque $U_N = 0$. L'impédance d'entrée de l'amplificateur opérationnel est infinie (car $I_{e-} = 0$), donc $IR_1 = IR_2$. La sortie S du montage sera à la tension $UR_2 = U_e * (-R_2 / R_1) = U_s$. Le gain en tension est donc négatif et est égal à : $G = -(R_2 / R_1)$. Il n'y a pas de gain en intensité ($I_e = IR_1 = IR_2 = I_s$).

Le gain est ici un coefficient multiplicateur avec inversion de phase et ne doit pas être exprimé en dB.

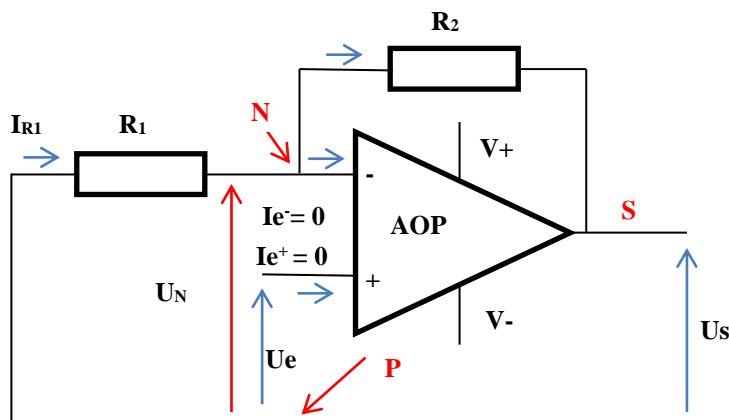
Le même montage dans la littérature Anglaise. Souvent dans les schémas l'alimentation du circuit n'est pas représentée. V_{in} = tension d'entrée et V_{out} = tension de sortie.



extrait d'une note d'application de National Semiconductor

II.2.2 L'amplificateur non inverseur

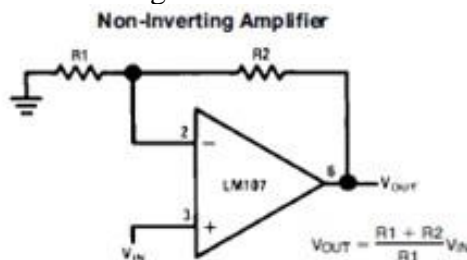
Dans ce type de montage le signal est entré sur l'entrée non inverseuse ainsi les tensions d'entrée U_e et de sortie U_s sont en phase.



$$U_s = \frac{R_1 + R_2}{R_1} * U_e$$

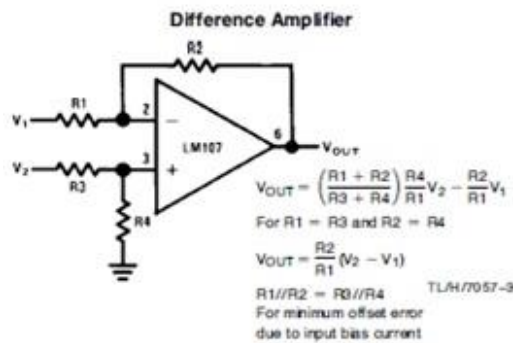
$$\text{Gain} = \frac{U_s}{U_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Le même montage dans la littérature Anglaise



II.2.3 L'amplificateur additionneur – soustracteur

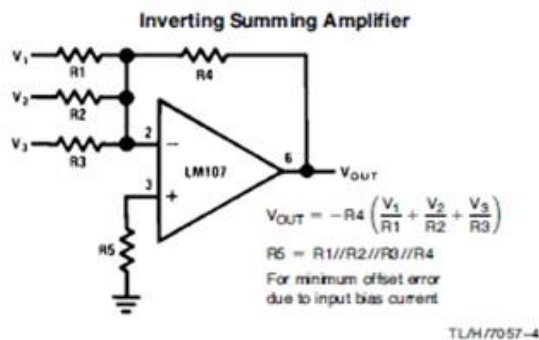
Ce type de montage permet d'amplifier la différence entre les 2 signaux en entrée.



extrait d'une note d'application de National Semiconductor

II.2.4 L'amplificateur additionneur inverseur

Ce type de montage permet d'amplifier la somme de plusieurs signaux en entrée et d'inverser la sortie.

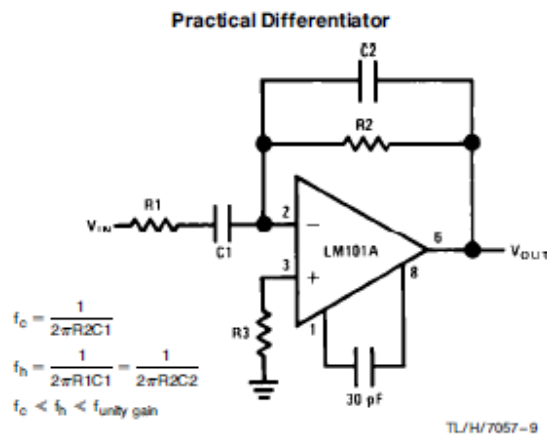


Inverting Amplifier with High Input Impedance

extrait d'une note d'application de National Semiconductor

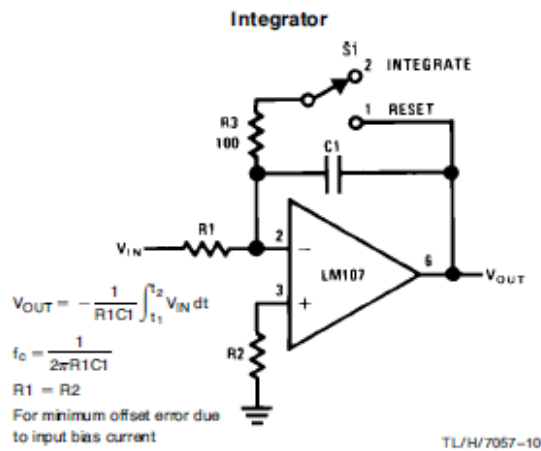
II.2.5 L'amplificateur différentiateur

Ce type de montage permet d'effectuer une opération correspondant à une différentielle.



II.2.6 L'amplificateur intégrateur

Ce type de montage permet d'effectuer une opération correspondant à une intégration.

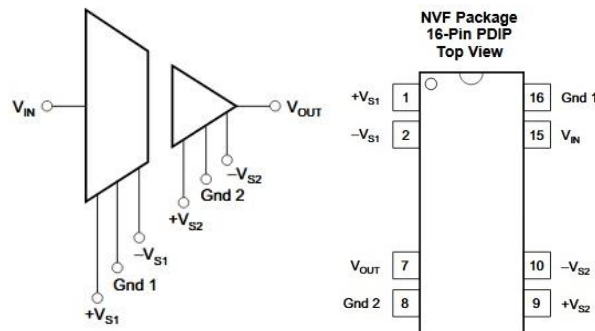


extrait d'une note d'application de National Semiconductor

II.2.7 Un amplificateur spécial : l'amplificateur d'isolation

Parfois, pour des raisons de sécurité ou de mesure, il est nécessaire d'isoler 2 parties d'un circuit. L'amplificateur d'isolation répond à cette problématique et isole « la sortie de l'entrée ». Mais cela nécessite l'utilisation de 2 alimentations stabilisées (V_{S1} et V_{S2}) isolées l'une de l'autre. Cet inconvénient est solutionné dans certains amplificateurs en incorporant en interne la génération de la deuxième alimentation à partir de celle fournie extérieurement.

Schéma simplifié d'un amplificateur d'isolation de 1500 Vrms (ISO124 de Bourns / Texas Instrument).



II.2.8 Le circuit intégré - désintégré

Parfois les AOP ou autres circuits intégrés ont du mal à survivre (problème existentiel ?).
Ci-dessous une photo d'un circuit intégré qui s'est désintégré. Un cratère dans le CI permet de voir la puce électronique (au moins visuellement on peut voir que le composant est plus que suspect, par contre la cause ?).



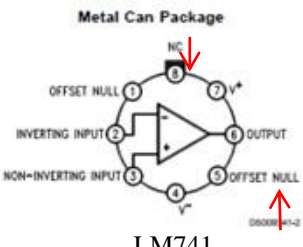
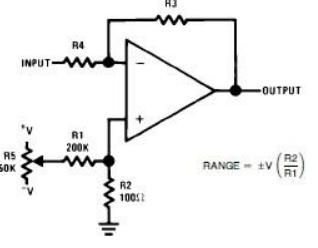
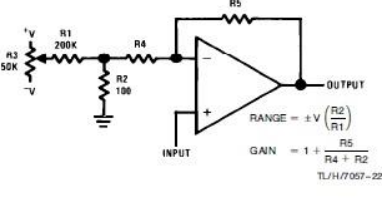
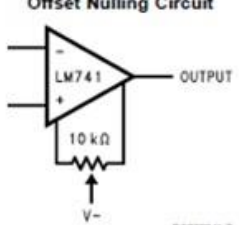
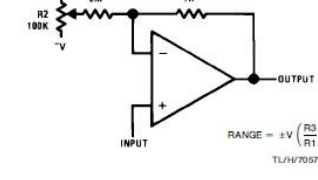
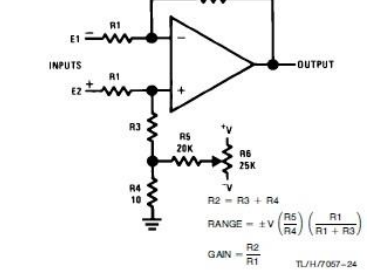
II.3 La tension de décalage (offset) – la compensation

Lorsqu'on relie ensemble les entrées (inverseuse et non-inverseuse) au commun (0V) la tension de sortie, qui devrait être nulle dans le cas d'un AOP idéal, ne l'est pas dans le cas d'un AOP réel. Ce phénomène est dû en général à l'étage différentiel d'entrée dont les transistors ne sont pas identiques. Il est possible de compenser ce décalage de tension de 2 manières différentes par :

1. une compensation interne effectuée par le fabricant lors de la phase d'ajustage individuel (réalisée en général par rayon laser sur une résistance prévue à cet effet). Cette compensation n'a quasiment aucune dérive thermique puisque tous les composants sont sur la même puce électronique et (quasiment) à la même température. Mais ce genre d'AOP a évidemment un coût de fabrication plus élevé.
2. une compensation externe avec un potentiomètre,

Pour compenser de manière externe la tension de décalage on utilise un potentiomètre et 2 cas se présentent :

Les pattes de compensation externes sont accessibles de l'extérieur (ex : LM741, TL061, ...),
 Les pattes de compensation externes ne sont pas accessibles de l'extérieur (ex : TL084, ...),

AOP avec connexions offset / balance accessibles extérieurement	AOP avec connexions offset / balance non accessibles extérieurement
 <p style="text-align: center;">LM741</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="662 1019 981 1310"> <p>Offset Voltage Adjustment for Inverting Amplifiers Using Any Type of Feedback Element</p>  <p style="text-align: center;">RANGE = $\pm V \left(\frac{R2}{R1} \right)$</p> </div> <div data-bbox="1013 1019 1396 1265"> <p>Offset Voltage Adjustment for Non-Inverting Amplifiers Using Any Type of Feedback Element</p>  <p style="text-align: center;">RANGE = $\pm V \left(\frac{R2}{R1} \right)$ GAIN = $1 + \frac{R5}{R4 + R2}$</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">TL/H/7057-22</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Extrait note appli National Semiconductor</p>
<p style="text-align: center;">Offset Nulling Circuit</p>  <p style="text-align: center;">LM741</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">DS000941-7</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="662 1377 981 1601"> <p>Offset Voltage Adjustment for Voltage Followers</p>  <p style="text-align: center;">RANGE = $\pm V \left(\frac{R3}{R1} \right)$</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">TL/H/7057-23</p> </div> <div data-bbox="1013 1377 1396 1691"> <p>Offset Voltage Adjustment for Differential Amplifiers</p>  <p style="text-align: center;">RANGE = $\pm V \left(\frac{R5}{R4} \right) \left(\frac{R1}{R1 + R3} \right)$ GAIN = $\frac{R2}{R1}$</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">TL/H/7057-24</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Extrait note appli National Semiconductor</p>

II.4 Quelques recommandations de montage des AOP

L'alimentation des AOP doit être soignée (surtout pour les AOP rapides, de puissance ...). Il est recommandé de monter un condensateur de découplage au plus près de chacune des 2 pattes d'alimentation du circuit intégré.

L'impédance d'entrée étant (très) importante il est conseillé d'éloigner le plus possible des 2 pattes d'entrée tous les câbles ou pistes de circuit imprimé qui véhiculent des tensions

importantes ou de fréquences élevées dont une fraction pourrait se retrouver sur les entrées de l'AOP par couplage capacitif et/ou inductif.

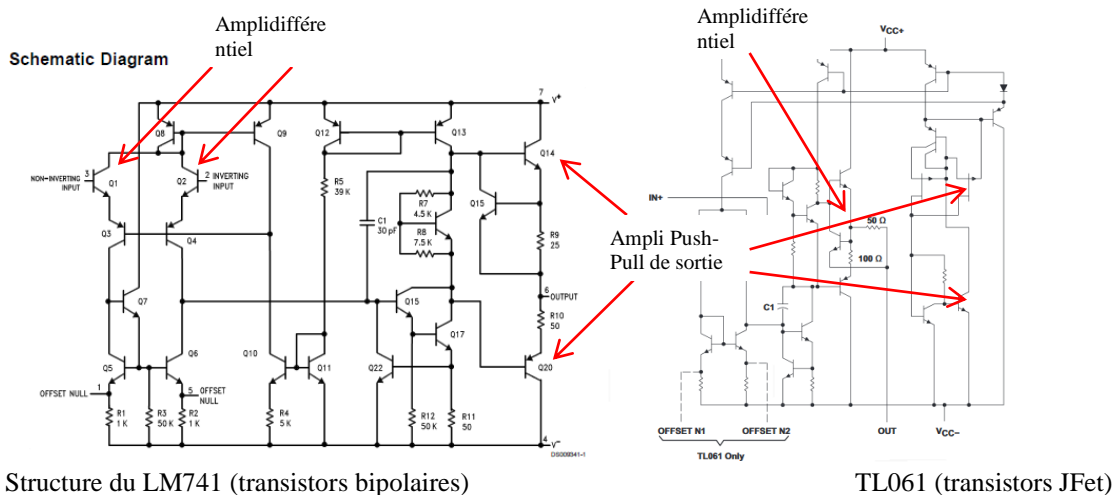
Le commun (référence 0V ou masse) doit être soigné au niveau de l'AOP et les liaisons qui y sont raccordées aussi courtes que possible.

II.5 Structure simplifié d'un amplificateur opérationnel

La structure d'un amplificateur opérationnel classique peut être subdivisée en 3 parties :

1. L'étage différentiel d'entrée composé de transistors (bipolaire, JFet, ...) dont au moins une paire de transistors est montée en amplificateur différentiel avec les 2 émetteurs (ou source) des transistors reliés entre eux et alimentés par une source de courant,
2. Les amplificateurs intermédiaires des étages suivants,
3. L'étage de sortie est souvent de type push-pull (poussé – tiré) pour augmenter la puissance de sortie. Il est calculé pour avoir le moins de distorsion de croisement possible.

Ci-dessous 2 structures d'amplificateurs opérationnels classiques :



Structure du LM741 (transistors bipolaires)

TL061 (transistors JFet)

II.6 Les principaux types d'amplificateurs opérationnels

La majorité des amplificateurs opérationnels peuvent être classés en 5 catégories :

1. transistors bipolaires (NPN, PNP),
2. transistors JFet (pour l'étage d'entrée),
3. faible bruit,
4. large bande passante,
5. rail to rail

Il serait possible d'inclure dans la série des amplificateurs opérationnels les amplificateurs BF pour haut-parleur (LM386, etc.), les amplificateurs à gain contrôlé, les amplificateurs à transconductance (LM13700) et les amplificateurs de puissance.

II.6.1 L'amplificateur opérationnel à transistors bipolaires

L'amplificateur opérationnel à transistors bipolaires fait partie de la 1^{ère} génération d'AOP courant fabriquée par les constructeurs. On trouve, entre autres, dans cette catégorie les

vénérables $\mu A709$, $\mu A741$ (ou LM741 ou MC1741 selon les fabricants), puis les LM301, LM307, ...

Il peut être alimenté de manière symétrique avec un maximum de $\pm 18V$ ou de manière asymétrique $0V +36V$. Quelques cas particuliers peuvent être alimentés avec des tensions supérieures par exemple le LM101 $\pm 22V$, etc.

L'impédance d'entrée n'est pas très importante de l'ordre de $500K\Omega$, une tension de décalage de $5mV$, un courant d'entrée de $200nA$ et une tension de sortie d'environ $\pm 13V$ (soit une tension de déchet de $1V$ à $2V$ pour une tension alimentation de $\pm 15V$). La bande passante est de quelques MHz ($1,5 - 4$ MHz) ; souvent les constructeurs indique le produit gain x bande passante). Le bruit (Equivalent Input Noise Voltage) est d'environ $x \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$.

On le trouve encore au format CMS.

II.6.2 L'amplificateur opérationnel à transistors JFet

L'amplificateur opérationnel à transistors JFet a été créé pour disposer d'une impédance d'entrée très importante avec un courant d'entrée très faible. Ainsi les transistors de l'amplificateur différentiel d'entrée ont été remplacés par des transistors JFet. On trouve, entre autres, dans cette catégorie les vénérables LF351, LF353, LF356 puis les TL061, 62, 64, TL81, 82, 84.

Il peut être alimenté de manière symétrique avec un maximum de $\pm 18V$ ou de manière asymétrique $0V +36V$.

L'impédance d'entrée est très importante de l'ordre de $10^{+12}\Omega$, une tension de décalage de $5mV$, un courant d'entrée très faible $200pA$ et une tension de sortie d'environ $\pm 13V$ (soit une tension de déchet de $1V$ à $2V$ pour une tension alimentation de $\pm 15V$). La bande passante est de quelques MHz ($1,5 - 4$ MHz). Le bruit (Equivalent Input Noise Voltage) est d'environ $24 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$.

On le trouve encore au format CMS.

II.6.3 L'amplificateur opérationnel faible bruit

L'amplificateur opérationnel à faible bruit a été créé pour disposer d'une version d'AOP utile dans les instruments de mesure et les amplificateurs haute-fidélité. On trouve, entre autres, dans cette catégorie les vénérables NE5531, NE5532, NE5534 pour un coût modique. Le bruit (Equivalent Input Noise Voltage) est d'environ $5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ soit 4 à 5 fois mieux que les AOP classiques.

Il existe d'autres modèles bien moins bruyants pour l'instrumentation mais beaucoup plus onéreux.

II.6.4 L'amplificateur opérationnel large bande passante

L'amplificateur opérationnel à large bande passante a été créé pour disposer d'une bande passante bien plus grande que les AOP classiques (de 4 à 100 fois plus ...). On trouve, entre autres, dans cette catégorie les vénérables LM733 (NE592) de 120 MHz de bande passante pour un coût modique, puis les AD811 (140 MHz),

Par contre, ce type d'AOP a une impédance d'entrée faible pouvant descendre à quelques $k\Omega$. Il fonctionne souvent en mode courant d'entrée.


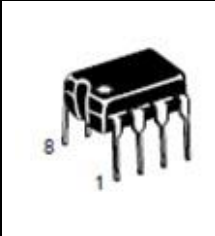
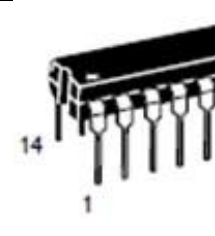
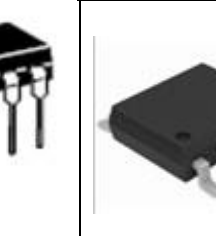
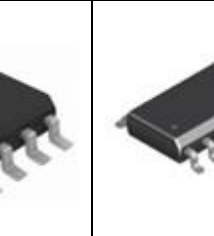
II.6.5 L'amplificateur opérationnel rail to rail

L'amplificateur opérationnel rail to rail a été créé pour disposer d'une tension de déchet en entrée comme en sortie quasiment nulle. Ainsi la tension de sortie dispose d'une excursion quasiment complète pouvant aller de l'alimentation positive V^+ à l'alimentation négative V^- . Il en est de même pour la tension d'entrée. On trouve, entre autres, dans cette catégorie les TLV271, 272, etc et dans une moindre mesure le LM324.

II.7 Les différents boîtiers des amplificateurs opérationnels

On peut classer les boîtiers (en Anglais package) des AOP en 2 grandes catégories : ceux à pattes (pin) traversantes et ceux montés en surface. Le tableau ci-dessous montre les boîtiers les plus classiques. Pour identifier le brochage et le numéro des pattes du composant :

- le boîtier TO99 est muni d'un ergot correspondant à la patte n° 8 ; les autres pattes sont numérotées en séquence dans le sens contraire des aiguilles d'une montre vu du dessus,
- les autres boîtiers sont munis d'une encoche et/ou d'un point peint ou gravé en creux pour identifier la patte n°1. Les autres pattes sont numérotées en séquence dans le sens contraire des aiguilles d'une montre vu du dessus.

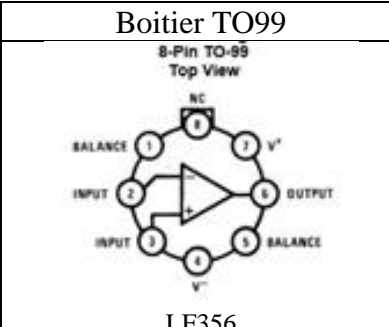
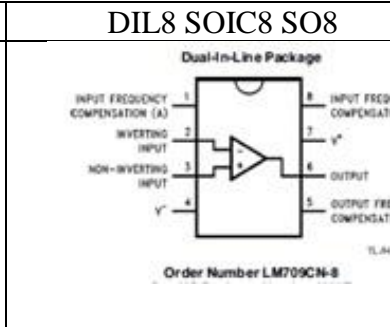
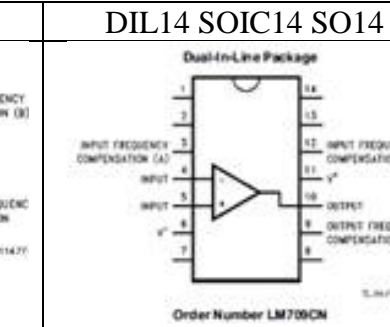
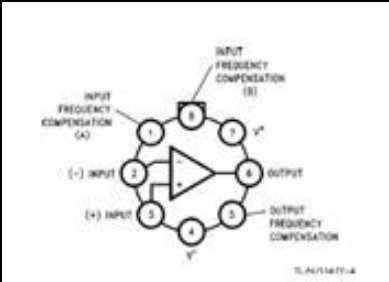
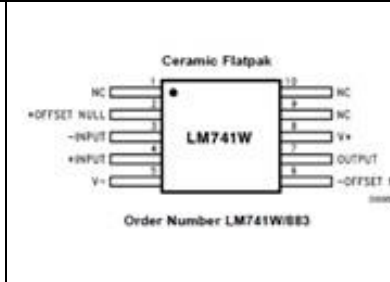
				
Boîtier : TO99	DIL8	DIL14	SOIC8 (SO8)	SOIC14(SO14)

II.8 Les différents brochages des amplificateurs op.

Les chapitres suivants montrent un tableau des brochages des boîtiers / amplificateurs opérationnels les plus classiques (employés). La liste n'est pas exhaustive.

II.8.1 Le boîtier mono amplificateur opérationnel

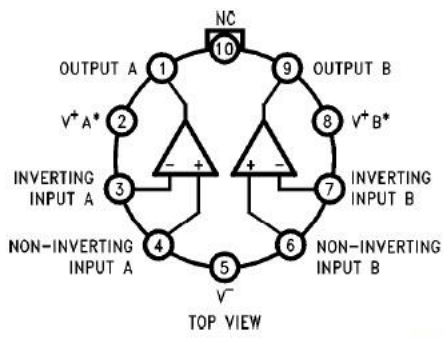
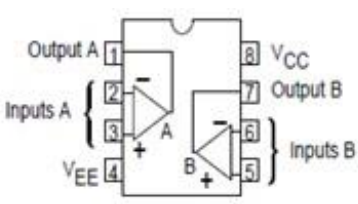
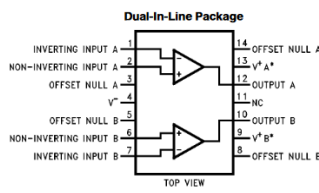
Ce boîtier ne contient qu'un seul amplificateur opérationnel et permet en général d'avoir accès à (aux) patte(s) de la tension de décalage (offset ou balance) et/ou de compensation en fréquence.

Boîtier TO99	DIL8 SOIC8 SO8	DIL14 SOIC14 SO14
 <p>8-Pin TO-99 Top View</p> <p>LF356</p>	 <p>Dual-In-Line Package</p> <p>Order Number LM709CN-8</p>	 <p>Dual-In-Line Package</p> <p>Order Number LM709CN</p>
 <p>Order Number LM709AH, LM709H or LM709CH</p>	 <p>Ceramic Flatpak</p> <p>Order Number LM741W883</p>	

--	--	--

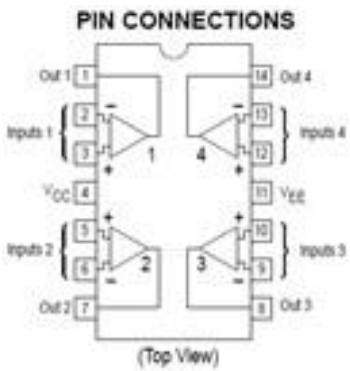
II.8.2 Le boîtier 2 amplificateurs opérationnels

Ce boîtier contient 2 amplificateurs opérationnels identiques et permet un gain de place si nécessaire.

Boîtier TO99	DIL8 SOIC8	DIL14 SOIC14
 <p>Order Number LM747H</p>		 <p>Order Number LM747CN or LM747EN LM747CN</p>

II.8.3 Le boîtier 4 amplificateurs opérationnels

Ce boîtier contient 4 amplificateurs opérationnels identiques et permet un gain de place si nécessaire.

Boîtier	DIL14 SOIC14	
		

II.9 L'évolution du conditionnement des amplificateurs Op.

Au fur et à mesure des avancées technologiques et du montage des composants passant du mode manuel au mode à insertion automatique par des robots, le conditionnement des amplificateurs opérationnels a évolué dans le temps. Au début de l'électronique, les composants étaient chers dans des conditionnements « presque » individuels. Puis l'insertion/pose automatique des composants est arrivée obligeant les fabricants à fournir les amplificateurs opérationnels en bandes / rouleaux ou en bobine au format CMS.



Livrés en tube antistatique



en bande



montée sur une bobine

III La bobine - l'inductance – la self-induction

III.1 La bobine – l'inductance - la self-induction - généralités

Rappel du cours :

La bobine est un composant passif non polarisé (indépendant du sens du courant qui la traverse, ce qui n'est pas le cas des diodes et de certains condensateurs).

Une bobine est constituée d'un enroulement d'un fil conducteur (ou de plusieurs) à spires jointives ou non, en une ou plusieurs couches sur un support ou non. Comme indiqué dans le cours, il faut éviter d'utiliser le terme « self » pour désigner un enroulement électrique. En effet, c'est un anglicisme mal utilisé : il y a confusion entre le phénomène physique (self-induction) et l'élément matériel qui le produit (bobine).

La bobine fonctionne grâce à ses propriétés électromagnétiques. En effet, le courant qui parcourt la bobine génère un champ électromagnétique autour et à l'intérieur des spires. Ce champ constitue la réserve d'énergie de la bobine (loi de Laplace)

L'inductance d'un composant est sa caractéristique à produire un champ magnétique à travers la section entourée par ce composant lorsqu'il est traversé par un courant.

L'unité de l'inductance est le Henry dont le symbole est la lettre H. Le Henry est l'inductance d'une bobine constituée d'une seule spire, parcourue par un courant de 1 ampère et générant un flux Φ de 1 weber qui, lui-même, peut libérer une énergie égale à 1 joule.

Remarque : l'unité de l'inductance d'une bobine le « Henry » est importante c'est pourquoi on utilise des sous multiples du Henry :

- le milli Henry = 1 mH = 1 millième = 10^{-3} H,
- le micro Henry = 1 μ H = 1 millionième = 10^{-6} H,
- le nano Henry = 1 nH = 1 milliardième = 10^{-9} H,
- le pico Henry = 1 pH = 1 millionième de millionième = 10^{-12} H (très utilisé en haute fréquence et THF).

La quantité d'énergie emmagasinée dans une bobine est donnée par la formule $E = \frac{1}{2} L * I^2$

Dans une bobine idéale il n'y a pas de dissipation d'énergie comme dans le cas de la résistance par effet joule (chaleur). Elle emmagasine de l'énergie électromagnétique et la restitue un laps de temps plus tard.

La gamme des inductances produites par l'industrie s'étend de quelques dizaines de nanohenrys (nH = $1 * 10^{-9}$ H) à quelques henrys et ont des valeurs normalisées sauf commande spéciale (en grande quantité).

L'**inductance** d'une bobine dépend de la forme de la bobine, de sa section (donc du carré de son diamètre) et du carré du nombre de ses spires.

Si la capacité des condensateurs est assez facile à déterminer grâce à ses dimensions, il n'existe aucune formule fiable pour le calcul de l'inductance des bobines : chacune a ses limites, toutes utilisent un coefficient issu du rapport diamètre/longueur de la bobine. La formule citée dans le tableau comparatif ne fonctionne qu'avec une bobine sans noyau comportant une seule couche de spires jointives et dont le rapport diamètre/longueur est compris entre 0,5 et 1. Pour un rapport différent ou des spires non jointives, le résultat sera une approximation quelquefois suffisante.

L'inductance d'un fil rectiligne en cuivre est d'environ 1 μH par mètre.

Les grandeurs électromagnétiques sont :

- H (à ne pas confondre avec le H de l'unité des bobines, le Henry) est l'excitation magnétique d'une bobine mesurée en ampère-mètres (A.m) pour les fils rectilignes et en ampère-tours (A.t) pour les bobines,
- B est l'induction magnétique du champ mesurée en Tesla (1 Tesla = 10.000 Gauss). B est la valeur de l'excitation H agissant sur une surface plane et perpendiculaire à ses lignes de force.
- μ (lettre grecque mu minuscule) est la perméabilité, c'est à dire l'aptitude d'un matériau (ou d'un milieu) à guider les champs magnétiques. μ est mesuré en H/m (Henry par mètre) et est donné par le rapport B / H.
- Φ (lettre grecque phi majuscule) est le flux d'induction magnétique mesuré en weber (Wb). F est la force électromagnétique créant aux bornes de la bobine une force électromotrice de 1 volt pendant 1 seconde.

L'inductance de la bobine augmente en introduisant un noyau magnétique à l'intérieur des spires, ce qui augmente artificiellement la section de la bobine. Le noyau est constitué de différents matériaux (feuille de tôle, ferrite, poudre ferromagnétique) ayant chacun leur perméabilité relative notée μ_r et calculée par rapport à la perméabilité du vide, μ_0 , égale à $4\pi 10^{-7} \text{H/m}$. L'air sec a la même perméabilité que le vide. Les matériaux magnétiques sont le fer, le nickel, le cobalt et leurs alliages. Les ferrites sont des mélanges à base d'oxydes de fer. Leur μ_r varie de 20 à 3000 selon le matériau employé et leur forme. Elles sont utilisables sur une plage de fréquence donnée par le fabricant. Les conducteurs dont le μ_r est proche de 1 sont appelés paramagnétiques (aluminium, manganèse) s'ils s'aimantent dans le sens du champ magnétisant ou diamagnétiques (cuivre, zinc) s'ils s'aimantent en sens inverse.

$$L(H) = N * \Phi(Wb) / I(A)$$

N= nombre de spires ; I=intensité parcourue

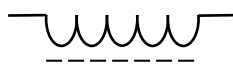
Φ = flux généré par la bobine (en Weber)

$$E(J) = \frac{1}{2} L(H) * I^2(A)$$

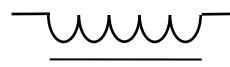
La représentation de la bobine dans un schéma peut prendre 3 formes :



Bobine

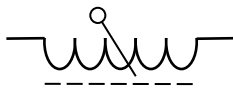


Bobine à noyau
de ferrite



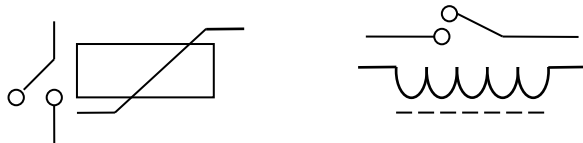
Bobine à noyau
de fer doux

La représentation de la bobine ajustable dans un schéma :



Bobine à noyau ajustable

La représentation de la bobine d'un électroaimant (relais) :



(Bobine) relais

La réactance d'une bobine dépend de la fréquence du courant qui la traverse et de son inductance :

$$\text{Réactance de la bobine} = Z = 2 * \pi * L * f = L * \omega$$

avec f = fréquence et ω pulsation du courant.

La tension aux bornes de la bobine :

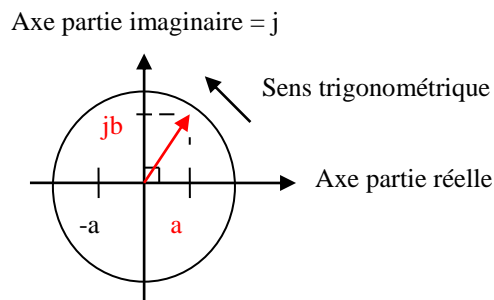
$U = j * L * \omega * I$ (le symbole j représente la partie imaginaire d'un nombre complexe et ici signifie que la tension est déphasée (décalée) de $+90^\circ$ (en avance) par rapport à l'intensité (voir ci-dessous le petit rappel sur les nombres complexes).

Si on ajoute en série avec la bobine une résistance, on a alors :

$$U = (R * I) + (j * L * \omega * I) = (R + j * L * \omega) I = Z * I \text{ (avec } Z = R + j * L * \omega)$$

Petit rappel sur les nombres complexes et leurs représentations trigonométriques, soit un nombre complexe $X = a + j * b$ (a est la partie réelle et b est la partie imaginaire du nombre complexe).

Le cercle trigonométrique ci-dessous montre que la partie imaginaire jb est déphasée de $+90^\circ$ (en avance) par rapport à a (la partie réelle).



Cercle trigonométrique

Remarque : $j * j = -1$ (en effet 2 déphasages (décalages) de $+90^\circ = 180^\circ$ et on se retrouve sur l'axe de la partie réelle mais du côté négatif)

III.2 Les domaines d'application

Les domaines d'application des bobines sont variés et nombreux :

- Les filtres : passe bas, passe bande et passe haut,
- Les circuits d'accord (association d'une bobine et d'un condensateur ou de plusieurs),
- Le découplage des circuits hautes fréquences : self de choc (en bloquant les remontées de courant hautes fréquences).

Remarque : le choix d'une bobine doit s'effectuer en tenant compte de :

- la gamme de fréquence d'utilisation (voir les caractéristiques du fabricant, par exemple la fréquence de résonance de la bobine due à l'existence de capacités parasites),
- la puissance admissible,
- son facteur de qualité.

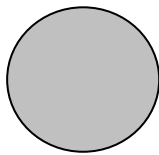
III.3 L'effet de peau

Rappels du cours :

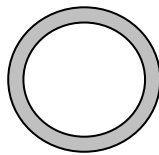
L'effet de peau, important en hautes fréquences, fait que le courant ne se déplace qu'à la surface des conducteurs. L'épaisseur de la peau d'un fil de cuivre (en μm , microns) dans laquelle passera le courant est estimée par la formule suivante : $e = 66 \sqrt{f}$ (F en Mhz).

Fréquence	Epaisseur de la peau
20 khz	0,5 mm
1 Mhz	66 μm
30 Mhz	12 μm
150 Mhz	5 μm
1 Ghz	2 μm

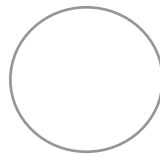
Répartition **schématique** du courant (en gris) dans un fil de 2 mm de diamètre à une fréquence de



Continu



20 Khz



> 1 Mhz

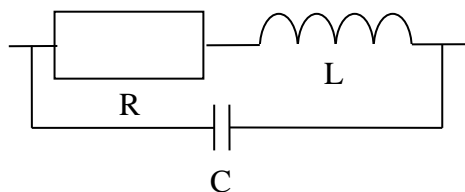
Remarque importante : la valeur de la résistance d'un fil en haute fréquence n'a rien à voir avec celle relevée en continu avec un ohmmètre, elle est beaucoup plus grande.

Pour diminuer l'effet de peau, on recouvre le fil d'un métal très conducteur (ex = argent) et traité contre l'oxydation qui est en général un isolant.

III.4 La bobine réelle

La bobine (composant) dont le comportement n'est décrit que par l'inductance (phénomène de self-induction) n'existe pas (c'est une inductance idéale (théorique)). De part la technologie utilisée pour sa fabrication (fil, spires, etc...) elle comporte des éléments « parasites » en série une résistance (celle du fil la constituant mais aussi celle due à l'effet de peau qui est prédominante dès que la fréquence augmente) et en parallèle une capacité (entre spires, etc..) qui changent son comportement en haute et très haute fréquences.

Le schéma réel d'une bobine :



Ce schéma réel montre qu'une bobine insérée, par exemple dans un montage amplificateur, peut être le siège d'oscillations non désirées à la fréquence de résonance du circuit bouchon formée par la bobine réelle.

Il faut donc choisir avec précaution la bobine pour la gamme de fréquences d'utilisation (bien en dessous de sa fréquence de résonance).

Le facteur de qualité d'une bobine réelle :

Le rapport entre l'impédance de la bobine et sa résistance pure détermine le déphasage mais aussi le coefficient de qualité appelé facteur Q : on a $Q = Z / R$ (ou $Q = 1 / \cos \alpha$).

Q exprime le rapport entre l'énergie totale emmagasinée dans le composant et l'énergie qui sera dissipée en chaleur.

Si R est petit par rapport à Z, le déphasage est faible et $Q = 2\pi FL/R$. Q dépend donc de la fréquence mais aussi de la résistance pure : plus R est petit, plus le coefficient de qualité Q est important et meilleur est la bobine.

(Voir plus loin des exemples du facteur Q donnés par les fabricants de bobine dans les tableaux).

III.5 Le groupement des bobines

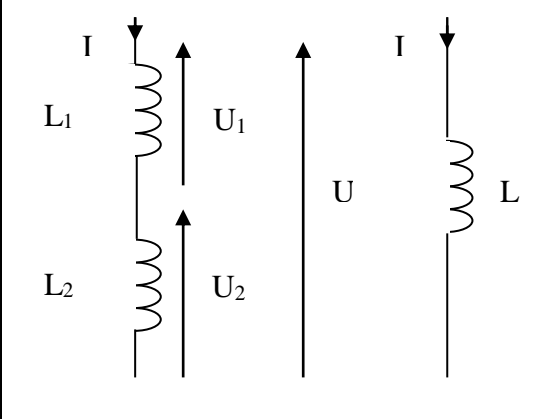
Il peut être utile de recourir à un groupement de bobines pour disposer d'une valeur de bobine qui n'existe pas dans les valeurs normalisées produites par l'industrie ou pour des raisons de place ou autres. Cependant le groupement de bobines est très peu utilisé.

Il existe 2 types de groupement : série et parallèle.

Remarques :

- le résultat du groupement des bobines est analogue à celui des résistances (voir chapitre suivant).
- il faut faire très attention à la disposition des bobines les unes par rapport aux autres, si elles sont proches et dans le même axe leur influence mutuelle est maximale (phénomène de couplage). Par contre si elles sont disposées à 90° les unes par rapport aux autres l'influence mutuelle est minimale ($\neq 0$). Pour minimiser, l'influence mutuelle on peut recourir à des blindages ou à une bobine sur un tore.

III.5.1 Le groupement de bobines en série

	<p>Formules</p> $U = j * L * \omega * I$ $U = U_1 + U_2 = jL_1\omega I + jL_2\omega I = j (L_1 + L_2) \omega I$ <p>Car I est le même dans les 2 schémas, et donc</p> $L = L_1 + L_2$ <p>Dans un groupement en série, l'inductance équivalente est la somme des inductances et donc plus grande que la plus grande des inductances du groupement.</p> <p>Exemple : $L_1 = 100 \mu\text{H}$, $L_2 = 1\text{mH}$</p> $\rightarrow L = 100 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 10^{-3}\text{H} = 1,1 \text{ mH}$
---	--

III.5.2 Le groupement de bobines en parallèle

	<p>Formules</p> $U = j * L * \omega * I$ $I = I_1 + I_2 \text{ et } U = jL_1\omega I_1 = jL_2\omega I_2$ <p>U est le même dans les 2 schémas, donc</p> $L = \frac{L_1 * L_2}{L_1 + L_2}$ <p>Dans un groupement en parallèle, l'inductance équivalente est plus petite que la plus petite des inductances du groupement.</p> <p>Exemple : $L_1 = 100 \mu\text{H}$, $R_2 = 1 \text{ mH}$ $\rightarrow L = \frac{100 \cdot 10^{-3} * 1000 \cdot 10^{-3}}{100 + 1000} = \frac{100000}{1100} = 90,90 \mu\text{H}$</p>
--	--

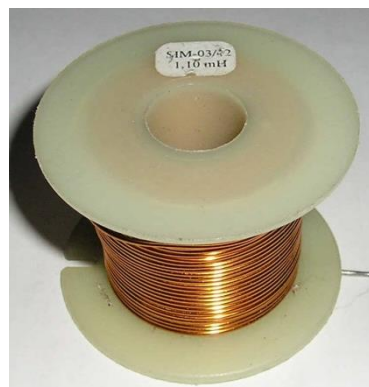
III.6 Les différents types de bobine

III.6.1 La bobine à air

Bobine à air à spires jointives à plusieurs couches



Bobine à spires jointives à plusieurs couches de fil de cuivre émaillé destinée aux basses fréquences et utilisée pour construire des filtres d'enceintes acoustiques Hi-fi
Ici une bobine de 0,85 mH




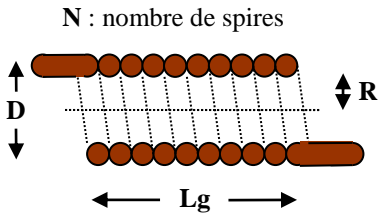
Bobine à spires jointives à plusieurs couches de fil de cuivre émaillé destinée aux basses fréquences et utilisée pour construire des filtres d'enceintes acoustiques Hi-fi
Ici une bobine de 1,10 mH



Bobine à spires jointives à une seule couche
Appelée Solénoïde (lorsque la longueur est plus grande que la hauteur).

III.6.2 Formule de calcul de l'inductance d'une bobine à air à spires jointives

Une seule couche

Formule

1^{ère} formule :

$$L = \frac{k * D * N^2}{1000}$$

k = coefficient dépendant du diamètre D et de la longueur Lg.

$$k = \frac{100 * D}{4 * D + 11 * Lg}$$

2^{ème} formule

Formule de Nagaoka simplifiée

$$L = \frac{N^2 * R^2}{22,5 R + 25 Lg}$$

L en µH, Lg en cm

3^{ème} formule

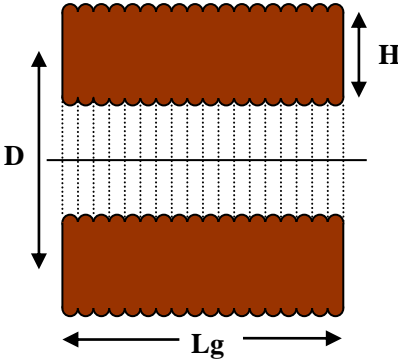
$$L_{1c} = \frac{98,75 * N^2 * D^2 * k_1}{Lg}$$

L en µH, Lg en cm, D en cm, R en cm

L_{1c} : inductance de la bobine à 1 couche
D : diamètre en cm,
R : rayon intérieur (cm),
Lg : longueur (cm),
N : nombre de spires
k₁ : facteur de correction fonction du rapport D / Lg voir tableau ci-dessous

D/Lg	k ₁
0,1	0,96
0,2	0,92
0,5	0,82
1,0	0,70
2,0	0,52
5,0	0,32
10	0,20
20	0,12
50	0,06

Plusieurs couches pour une grande bobine



Bobine de grande taille à plusieurs couches de spires jointives

Formule :

$$L_{\text{grande}} = L_{1c} - 1,08 * \frac{D * H * N^2}{Lg} * k_{\text{grande}}$$

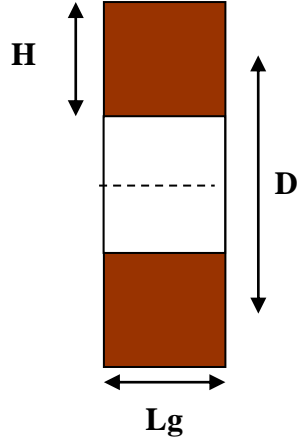
L_{1c} : inductance de la bobine courte
 D : diamètre mesuré entre les centres des 2 bobinages (cm)
 H : épaisseur du bobinage (cm)
 N : nombre de spires
 Lg : longueur de la bobine (cm)
 k_{grande} : le facteur de correction de la grande bobine dépend du rapport Lg/H

Lg/H	k_{grande}
1	0,70
2	0,82
3	0,83
4	0,90
5	0,92
7	0,95
10	0,97
20	1,00

Autre formule :

$$L = \frac{0,08 * D^2 * N^2}{3 d + 9 Lg + 10 H}$$

L : inductance en μH



Bobine courte à plusieurs couches de spires jointives

Si $D = 3 * Lg$ et $H = Lg$ on a la formule simplifiée :

$$L = \frac{D * N^2}{100}$$

Bobine à air à spires non jointives



Bobine à spires non jointives de fil de cuivre émaillé destinée aux hautes fréquences,



Bobine à spires non jointives de fil de cuivre argenté (traité contre l'oxydation) destinée aux hautes fréquences,



Bobine à spires non jointives de fil de cuivre argenté (traité contre l'oxydation) destinée aux très hautes fréquences,



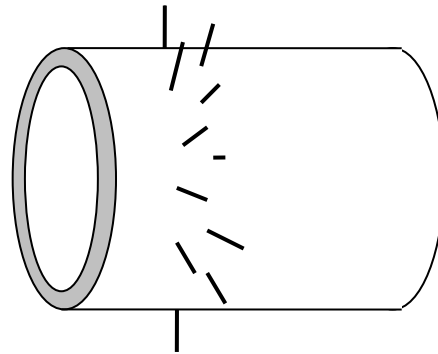
Bobine à 3/4 spire (épingle à cheveux) et une ligne de fil de cuivre argenté (traité contre l'oxydation) destinée aux très hautes fréquences,

Pour une ligne, l'inductance est d'environ de 1 μH par m

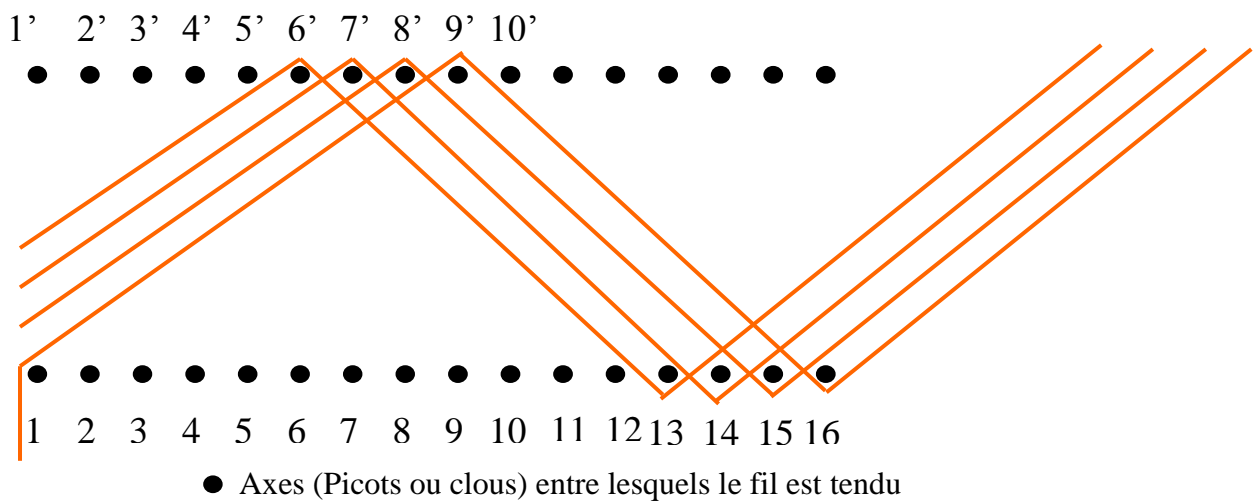
III.6.3 La bobine en « nid d'abeille »

Autrefois, certaines bobines étaient fabriquées sur un cylindre de carton ou de bakélite puis plus tard en plastique et bobinées selon un procédé dit en "nid d'abeille". Cela permettait de fabriquer des bobines à faibles capacités réparties afin de pouvoir « monter plus haut en fréquence ».

En effet, lorsque deux fils isolés sont bobinés en parallèles et en contact (mais isolés !), ils présentent une capacité « parasite » plus importante que s'ils étaient croisés (et à angle droit). Ainsi ce type de bobinage est utilisé lorsque le nombre de spires de la bobine à fabriquer est important.



Clous plantés sur un tube (mandrin) autour desquels le fil est tendu, puis les fils sont recouverts de vernis et les clous retirés


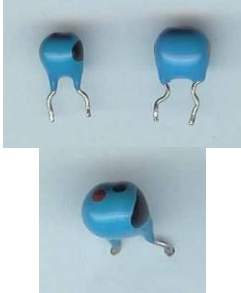

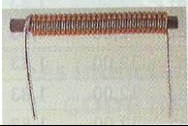
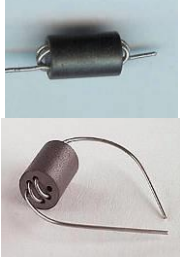
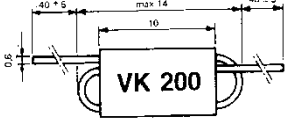


L'ordre de passage du fil autour des 2 rangées de 16 picots sera :

1, 9', 16, 8', 15, 7', 14, 6', 12', 3, 11', 2, 10', 1 ...

III.6.4 La bobine moulée et la bobine de choc

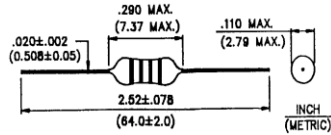
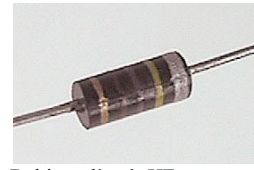
Quelques fabricants Microspire, Neosid, Schaffner, Toko,

	<p>Noyau en ferrite dans un boîtier en plastique, fils de connexion radiaux au pas de 5,08 mm. Tolérance : $\pm 5\%$. Puissance dissipée autorisée à 40°C = 240 mW</p> <p>Utilisation : découplage, correction ou antiparasitage dans la gamme hautes fréquences/basses fréquences et dans les circuits sélectifs..</p> <p>Valeur exprimée en μH ici 3,3k = 3300 μH = 3,3 mH</p> <p>←Bobine Moulée Neosid et le tableau →</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>L $\pm 5\%$ [μH]</th> <th>f [kHz]</th> <th>Q</th> <th>f [MHz]</th> <th>f_{res} [MHz]</th> <th>R [Ω]</th> <th>I_{max} [mA]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10*</td><td>100</td><td>55</td><td>1</td><td>38</td><td>0,55</td><td>660</td></tr> <tr><td>12</td><td>100</td><td>55</td><td>1</td><td>32</td><td>0,6</td><td>630</td></tr> <tr><td>15</td><td>100</td><td>60</td><td>1</td><td>27</td><td>0,7</td><td>580</td></tr> <tr><td>18</td><td>100</td><td>60</td><td>1</td><td>23</td><td>0,75</td><td>550</td></tr> <tr><td>22</td><td>100</td><td>60</td><td>1</td><td>20</td><td>0,85</td><td>530</td></tr> <tr><td>27</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>18</td><td>0,9</td><td>510</td></tr> <tr><td>33</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>16</td><td>0,95</td><td>500</td></tr> <tr><td>39</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>14</td><td>1,1</td><td>470</td></tr> <tr><td>47</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>12</td><td>1,2</td><td>450</td></tr> <tr><td>56</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>11</td><td>1,3</td><td>440</td></tr> <tr><td>68</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>10</td><td>1,4</td><td>410</td></tr> <tr><td>82</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>8</td><td>1,6</td><td>390</td></tr> <tr><td>100</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>7</td><td>1,8</td><td>360</td></tr> <tr><td>120</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>5,5</td><td>2</td><td>350</td></tr> <tr><td>150</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>4,5</td><td>2,2</td><td>330</td></tr> <tr><td>180</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>2,8</td><td>2,5</td><td>310</td></tr> <tr><td>220</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>2,5</td><td>2,8</td><td>290</td></tr> <tr><td>270</td><td>10</td><td>50</td><td>0,5</td><td>2,2</td><td>3,1</td><td>275</td></tr> <tr><td>330</td><td>10</td><td>50</td><td>0,5</td><td>2</td><td>3,4</td><td>260</td></tr> <tr><td>390</td><td>10</td><td>65</td><td>0,5</td><td>3,5</td><td>8</td><td>180</td></tr> <tr><td>470</td><td>10</td><td>70</td><td>0,5</td><td>3</td><td>9</td><td>170</td></tr> <tr><td>560</td><td>10</td><td>70</td><td>0,5</td><td>2,5</td><td>10</td><td>160</td></tr> <tr><td>680</td><td>10</td><td>70</td><td>0,5</td><td>1,5</td><td>11</td><td>140</td></tr> <tr><td>820</td><td>10</td><td>70</td><td>0,5</td><td>1,5</td><td>12</td><td>140</td></tr> </tbody> </table>	L $\pm 5\%$ [μH]	f [kHz]	Q	f [MHz]	f_{res} [MHz]	R [Ω]	I_{max} [mA]	10*	100	55	1	38	0,55	660	12	100	55	1	32	0,6	630	15	100	60	1	27	0,7	580	18	100	60	1	23	0,75	550	22	100	60	1	20	0,85	530	27	30	60	1	18	0,9	510	33	30	60	1	16	0,95	500	39	30	60	1	14	1,1	470	47	30	60	1	12	1,2	450	56	30	60	1	11	1,3	440	68	30	50	0,5	10	1,4	410	82	30	50	0,5	8	1,6	390	100	30	50	0,5	7	1,8	360	120	30	50	0,5	5,5	2	350	150	30	50	0,5	4,5	2,2	330	180	30	50	0,5	2,8	2,5	310	220	30	50	0,5	2,5	2,8	290	270	10	50	0,5	2,2	3,1	275	330	10	50	0,5	2	3,4	260	390	10	65	0,5	3,5	8	180	470	10	70	0,5	3	9	170	560	10	70	0,5	2,5	10	160	680	10	70	0,5	1,5	11	140	820	10	70	0,5	1,5	12	140
L $\pm 5\%$ [μH]	f [kHz]	Q	f [MHz]	f_{res} [MHz]	R [Ω]	I_{max} [mA]																																																																																																																																																																											
10*	100	55	1	38	0,55	660																																																																																																																																																																											
12	100	55	1	32	0,6	630																																																																																																																																																																											
15	100	60	1	27	0,7	580																																																																																																																																																																											
18	100	60	1	23	0,75	550																																																																																																																																																																											
22	100	60	1	20	0,85	530																																																																																																																																																																											
27	30	60	1	18	0,9	510																																																																																																																																																																											
33	30	60	1	16	0,95	500																																																																																																																																																																											
39	30	60	1	14	1,1	470																																																																																																																																																																											
47	30	60	1	12	1,2	450																																																																																																																																																																											
56	30	60	1	11	1,3	440																																																																																																																																																																											
68	30	50	0,5	10	1,4	410																																																																																																																																																																											
82	30	50	0,5	8	1,6	390																																																																																																																																																																											
100	30	50	0,5	7	1,8	360																																																																																																																																																																											
120	30	50	0,5	5,5	2	350																																																																																																																																																																											
150	30	50	0,5	4,5	2,2	330																																																																																																																																																																											
180	30	50	0,5	2,8	2,5	310																																																																																																																																																																											
220	30	50	0,5	2,5	2,8	290																																																																																																																																																																											
270	10	50	0,5	2,2	3,1	275																																																																																																																																																																											
330	10	50	0,5	2	3,4	260																																																																																																																																																																											
390	10	65	0,5	3,5	8	180																																																																																																																																																																											
470	10	70	0,5	3	9	170																																																																																																																																																																											
560	10	70	0,5	2,5	10	160																																																																																																																																																																											
680	10	70	0,5	1,5	11	140																																																																																																																																																																											
820	10	70	0,5	1,5	12	140																																																																																																																																																																											
	<p>Voir le code des couleurs pour la valeur de l'inductance.</p> <p>←Ici une bobine de 10 μH</p>																																																																																																																																																																																
	<p>La valeur est indiquée sur le dessus suivant le code IEC (voir le code de marquage)</p> <p>Ici : 102 = 1000 μH</p>																																																																																																																																																																																
	<p>Bobine de 5 μH : 27 spires de fil de cuivre \varnothing 0.5 mm bobinées sur un bâtonnet ferrite de \varnothing 1.6 mm de 18 mm de long.</p>																																																																																																																																																																																
	<p>Bobine de choc VK200 (self de choc) sur tube de ferrite, Dimensions : \varnothing : 6 mm, L = 10mm (14 max) 2,5 spires, 10μH 1,5 spires, 10 μH Impédance Z = 600 Ω à 50Mhz, Zmax = 850 Ω à 150 Mhz</p>	<p>Utilisation : suppression /diminution des rayonnements parasites, les couplages non désirés dans les circuits radio, etc...</p> 																																																																																																																																																																															

Le **ferrite** est une céramique ferromagnétique à base d'oxyde de fer, elle est fragile et peut se casser (ex : bâton de ferrite (#20 cm de long)) d'un cadre magnétique pour la réception des ondes longues, moyennes et courtes dans un récepteur radio classique.

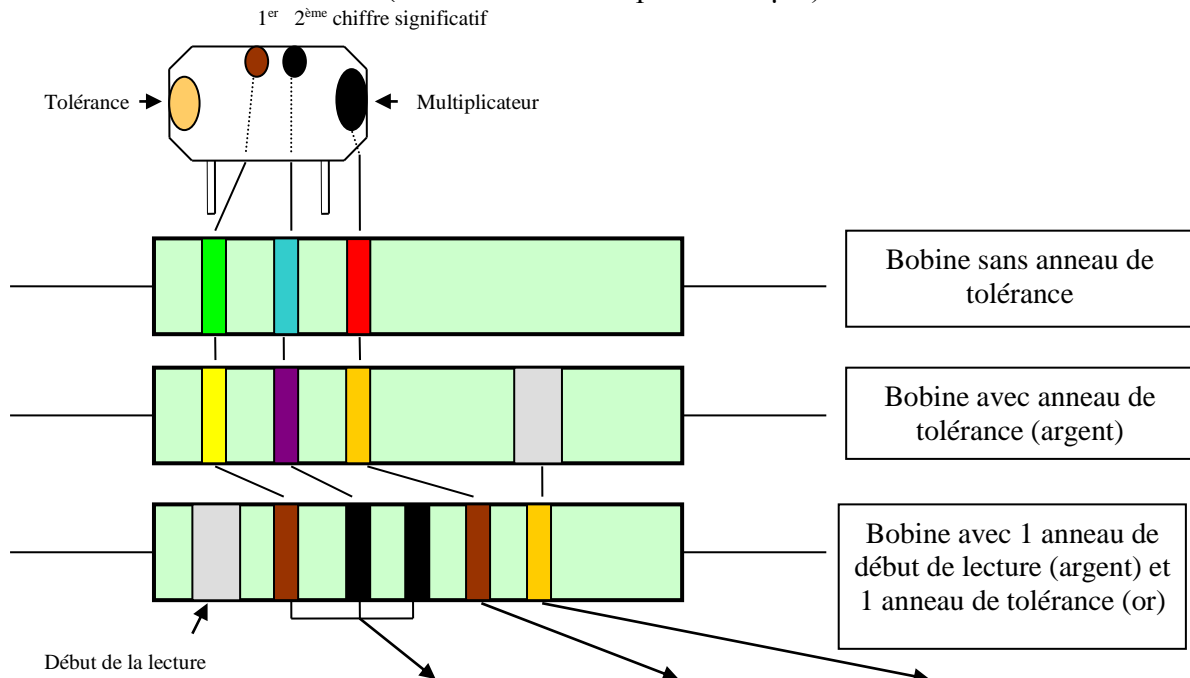
En radio et électronique, une ferrite est un composant utilisé pour supprimer/diminuer les parasites HF et les couplages non désirés.

III.6.5 Le code des couleurs pour les bobines



Bobines d'arrêt HF sur noyau ferrite
 Q mini : 30 • Tolérance : ±10%
 Dimensions : Ø4 x 10mm
 Courant maxi : 700mA (0,1µH) à 40mA (4,7mH)

Tableau du code des couleurs (l'inductance est exprimée en µH)



Mnémotechnique Initiale du mot = Initiale Couleur	Chiffres significatifs	Multiplieur	Tolérance
Ne	Noir : 0	x 1	± 20 %
Mangez	Marron : 1	x 10	± 1 %
Rien	Rouge : 2	x 100	± 2 %
Ou	Orange : 3	1 k	
Je	Jaune : 4	10 k	
Vous	Vert : 5	100 k	± 0,5 %
Battrai	Bleu : 6	1 M	
VIOlement	Violet : 7	10 M	
Grand	Gris : 8		
BOA ←	Blanc : 9		
		Or : x 0,1	± 5 %
		Argent : x 0,01	± 10 %
			Sans anneau ±20% ou ± 10%

Si la bobine est marquée par 5 anneaux, commencer le sens de la lecture par l'anneau argent, la valeur est donnée par les anneaux n° 2, 3, 4 et la tolérance par l'anneau n° 5.

Le repérage de la valeur de l'inductance de la bobine par le code des couleurs (préconisation IEC) peut s'effectuer avec 3, 4 ou 5 anneaux.

Exemples :

1. la première bobine (2 points = 2 chiffres significatifs (marron = 1, noir = 0), 1 gros point à côté : le multiplicateur (noir = 0 → x 1), le 2^{ème} gros point : la tolérance soit 10µH valeur donnée à ± 10%
2. la deuxième bobine (3 anneaux → 2 chiffres significatifs (vert = 5, bleu = 6 → 56), 1 multiplicateur (rouge = 2 → x 100), tolérance (sans anneau = 10%) soit **5600 µH = 5,6mH** valeur donnée à ± 10%

III.6.6 Le code de marquage des inductances

La valeur nominale est indiquée en µH. La lettre R indique la position de la virgule pour les valeurs inférieures à 100 µH (3 chiffres).

Les valeurs supérieures à 100 µH sont marquées par 4 chiffres : les 3 premiers chiffres donnent la valeur de l'inductance et le 4^{ème} indique le coefficient multiplicateur. Certains fabricants utilisent 3 chiffres : les 2 premiers indiquent la valeur de l'inductance et le 3^{ème} chiffre indique le coefficient multiplicateur.

Le code de marquage normalisé des bobines est donné ci-dessous :

Exemples : R10 = 0,1µH ; 1R0 = 1 µH

152 J = 1500 µH à ± 5 % (La lettre J indique la tolérance voir le tableau ci-dessous)

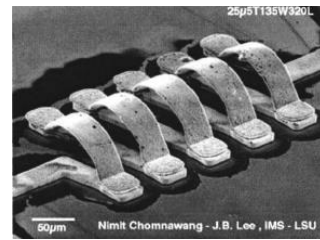
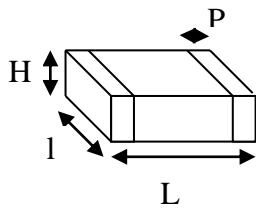
332 M = 3300 µH à ± 20 %

La tolérance est indiquée par une lettre (pas toujours mentionnée)

Lettre code	Tolérance
D	± 0,5 %
F	± 1 %
G	± 2 %
H	± 2,5 %
J	± 5 %
K	± 10 %
M	± 20 %
R	+30% -20%
S	+50% -20%
Z	+80% -20%

III.6.7 La bobine CMS

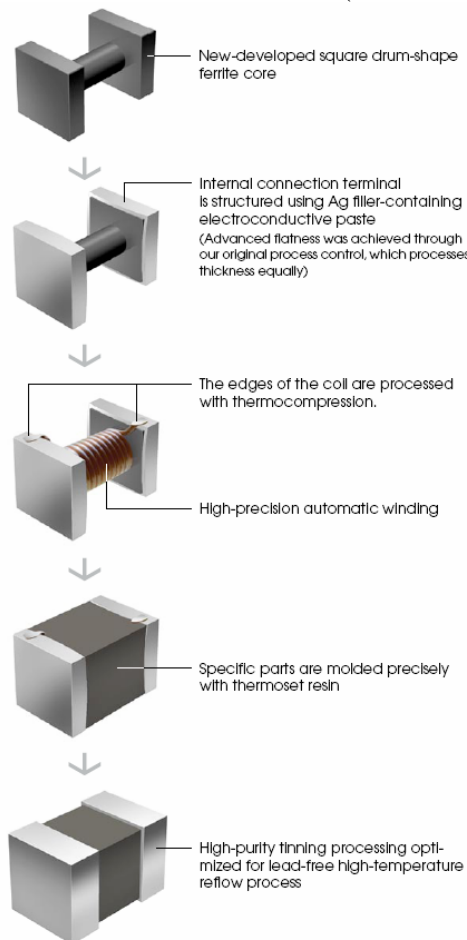
La bobine montée en surface fait partie des composants montés en surface (CMS). Ce sont des composants miniatures, sans fils de connexion, et directement soudés sur le circuit imprimé. Ces bobines permettent une intégration importante (gain de place) et sont recommandées dans le domaine des (très) hautes fréquences du fait d'une inductance 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.



Bobine ultra miniature 300 µm

Boîtier Code	L mm	l mm	H mm
0201	0,6	0,3	0,12
0402	1,0	0,5	0,35
0603	1,6	0,8	0,5 à 1,2
0805	2	1,25	0,5 à 1,4
1206	3,2	1,6	0,55 à 1,6
1210	3,2	2,5	0,56
1608	1,6	0,8	0,8
2010	5,0	2,5	0,56
2012	2,0	1,25	1,25
2512	6,3	3,2	0,56
2518	2,5	1,8	1,8

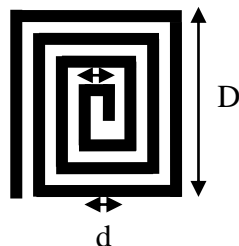
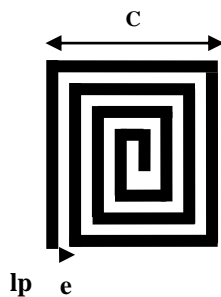
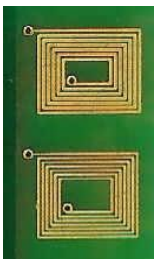
Exemple de fabrication de bobine cms (documentation TDK)



III.6.8 La bobine imprimée

La bobine imprimée est gravée directement sur le circuit imprimé soit en forme de spirales rondes ou carrées soit sous forme d'une ligne (piste de circuit imprimé). Cette méthode de réalisation présente les avantages suivants :

- la facilité de reproduction de la bobine puisqu'elle est gravée en même temps que le circuit imprimé,
- la réduction du nombre de composants à implanter,
- l'insensibilité aux vibrations.



Formule

- l_p = largeur de la piste imprimée
- e = espace entre les pistes
- C = largeur d'un côté du carré

Connaissant la valeur L de l'inductance, on peut calculer les dimensions de la bobine à graver (en mm).

$$C = (L / K)^{0,375} \quad K \text{ voir ci-dessous}$$

avec $K = 2,7 * 10^{-9} * (1 / (1 + e/l_p)^{1,67}) * 1/l_p^{1,67}$

Autre formule :

$$L = \frac{(D + d)}{72} N^{5/3} \log \frac{(4D + d)}{D - d}$$

- L : inductance en μH
- D : longueur du côté spire extérieure en mm
- d : longueur du côté spire intérieure en mm
- N : nombre de spires

III.6.9 La bobine ajustable / variable

La bobine variable est une bobine dont on peut faire varier l'inductance. Il existe divers dispositifs de réglage, en général, au moyen d'un noyau en ferrite (ou autres) inséré dans la bobine et que l'on peut visser ou dévisser et qui change la valeur de l'inductance.

Dans d'anciennes radios, le noyau en ferrite était solidaire d'un fil souple enroulé sur le bouton de réglage de la fréquence d'accord manipulé par l'opérateur (assez rare).

Il existe aussi des bobines sur roulette dont le contact est mobile le long de la bobine (assez rare).

III.7 L'inductance mètre - le pont RLC

L'inductance mètre permet de mesurer l'inductance d'une bobine. Il peut être intégré à un multimètre universel, à un pont RLC ou être un appareil dédié à ce type de mesure.

La mesure est basée soit

- sur la formule $U=Z \cdot I = jL\omega I$ d'où $L=U/j\omega I = -jU / \omega I$ ou si on tient compte de la résistance $U=Z \cdot I = (R + jL\omega) I$. La mesure de l'inductance est donc complexe car il faut mesurer des tensions et intensités alternatives à la pulsation $\omega (= 2 \pi f)$ et prendre la partie déphasée de 90° par rapport à l'intensité.
- sur la mesure de la fréquence de résonance d'un circuit bouchon formée par la bobine à mesurer et une capacité connue $L = 1/C\omega^2$. Ce type de mesure ne donne pas directement la valeur de l'inductance, il faut faire le calcul manuellement ou grâce à un micro contrôleur intégré à l'inductance mètre qui enverra la valeur directement sur un afficheur (voir sur Internet des montages radioamateur de ce type).
- sur la variation linéaire d'un courant traversant la bobine et générant une tension constante proportionnelle à l'inductance de la bobine. Ce type de mesure est réservé à la mesure des bobines en BF. Formule = $U = \frac{d\phi}{dT} = L \frac{dI}{dT}$ (avec $\frac{dI}{dT} = \text{constante}$)

Mesure de l'inductance d'une bobine à air par la fonction inductance mètre sur un
 Multimètre (L=0,85mH → L=0,795mH)
 Pont de mesure RLC basses fréquences (L=1,1mH → L=1,074mH)



III.8 Ne pas confondre les composants

Parfois, il n'est pas évident visuellement de faire la différence entre les éléments physiques suivants résistance, condensateur, bobine et diode. D'où l'intérêt de faire des tests sommaires à l'aide d'un multimètre ou d'un testeur de composants avant insertion des composants dans un montage en cours d'élaboration ou d'identification sur un circuit commercial.

Au format classique		Au format CMS et en général : la résistance est marquée, le condensateur n'est pas marqué et de couleur marron et la bobine est de couleur noire,	
Bobines (selfs)			
Condensateurs			
Résistances			

IV Le condensateur

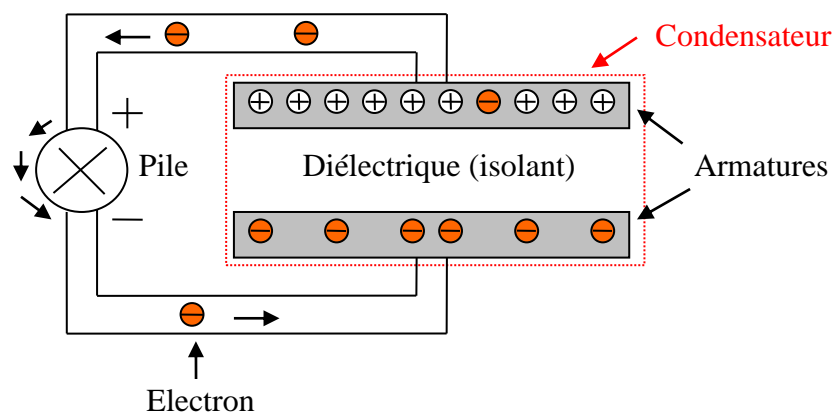
IV.1 Généralités

Le **condensateur**, dans son principe, est constitué de deux plaques métalliques (aluminium, cuivre, etc.) appelées aussi armatures et montées en vis-à-vis et isolées par un isolant appelé diélectrique. Le condensateur fonctionne grâce à l'effet **électrostatique** entre ses deux armatures (ou lames). Les électrons présents dans une des lames du condensateur constituent la réserve d'électricité et chassent les électrons qui sont en face, dans l'autre lame.

Les diélectriques les plus connus et les plus employés dans les condensateurs sont : l'air, la céramique, le mica, le papier paraffiné, le mylar et le plastique.

La structure du condensateur chimique / polarisé est légèrement différente.

Exemple d'un condensateur à air avec des armatures planes :



La capacité d'un condensateur (à être un réservoir d'électricité / électrons) est fonction, entre autres, de la surface des armatures en vis-à-vis et de l'espacement des armatures. Certains condensateurs, dont le diélectrique est chimique, sont polarisés : si la tension à leurs bornes est inversée ou supérieure à leur tension d'utilisation, ils chauffent et peuvent même exploser.

La formule de base du calcul de la capacité d'un condensateur à partir de ses dimensions est :

$$C = \frac{\epsilon * S}{E}$$

E

C = capacité du condensateur exprimée en Farad (en hommage au physicien Faraday),

ϵ = permittivité du diélectrique,

S = surface des plaques en vis à vis exprimée en m^2 ,

E = épaisseur du diélectrique exprimé en m.

Le diélectrique est choisi en général parmi les isolants et il est caractérisé par :

- sa permittivité ϵ (lettre grecque epsilon minuscule) fonction du matériau employé. Le diélectrique de référence est le vide dont la permittivité ϵ_0 est $1/(36\pi * 10^9)F/m$, soit $8,8419 \cdot 10^{-12}F/m$. La permittivité de l'air sec a une valeur très proche : $8,8542 \cdot 10^{-12}$. La permittivité relative ϵ_r est définie par rapport à celle du vide (d'où ϵ_r du vide = 1),
- sa rigidité diélectrique qui correspond à la tension pour laquelle l'isolant perd ses propriétés. La tension est suffisante pour « arracher » des électrons et les faire passer

dans la couche de conduction. La rigidité caractérise la tension de claquage du condensateur,

- sa résistance d'isolement qui est importante et peut varier en fonction de la température,
- son angle de pertes qui ramène un déphasage δ . Le déphasage entre l'intensité du courant et la tension n'est plus de 90° mais $90^\circ - \delta$. En général on utilise plutôt le terme tangente (δ) = $\text{tg } \delta$.

Quelques permittivités relatives :

Air sec	1,0014
Téflon	2,1
Polyéthylène solide (PE)	2,3
Papier	3 à 4
Fibre de verre	4,5
Mica	5 à 7
Verre	10
Céramiques	10 à 10000

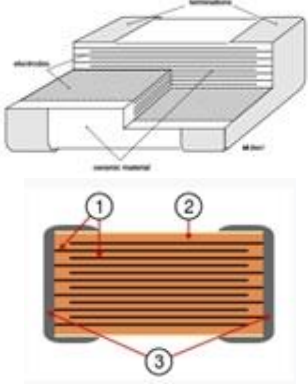


Ainsi, la permittivité du polyéthylène solide est :

$$\epsilon = 1 / (36\pi * 10^9) * 2,3 = 2,033.10^{-11}$$

Si on veut **augmenter** la «capacité» d'un condensateur, **il suffit de:**

- **augmenter la surface** des armatures en vis-à-vis,
- **diminuer l'épaisseur** du diélectrique,
- **augmenter la permittivité du diélectrique.**

Pour augmenter la surface des armatures en vis-à-vis et donc la capacité, les fabricants peuvent utiliser ces 2 techniques soit en réalisant une sorte de millefeuilles (MLCC : Multi Layer ceramic capacitor) soit en enroulant des armatures souples séparées par un isolant pour former un rouleau inséré dans boîtier rigide. Une autre possibilité utilisée dans le cas du condensateur Tantale « fritté » est de « réaliser de multiples condensateurs miniatures » (une sorte de multi cristaux).

		
<p>Structure d'un condensateur CMS multicouche céramique 1 – armatures métalliques 2 – diélectrique céramique 3 – connexions externes Extrait de Wikipédia</p>	<p>Condensateur électrolytique ouvert : le boîtier / tube en aluminium, la fermeture hermétique en caoutchouc, et le condensateur et ses 2 connexions</p>	<p>Enroulement des 2 armatures métalliques souples séparées par un isolant (papier imprégné d'un électrolyte).</p>

Un condensateur d'une capacité de 1 farad peut, par définition, contenir dans ses lames une réserve d'électricité égale à un coulomb lorsqu'on a une tension de 1 volt à ses bornes :

→ $Q = C * U$: avec Q la charge exprimée en Coulomb ; C la capacité du condensateur exprimée en Farad et U la tension aux bornes du condensateur exprimée en Volts.

Plus la tension aux bornes du condensateur est élevée, plus la quantité d'électricité emmagasinée dans le condensateur est importante.

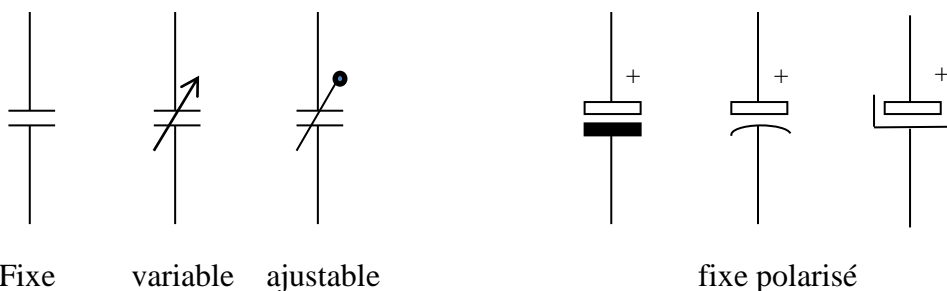
La quantité d'énergie E (exprimée en Joules) emmagasinée dans un condensateur est :

→ $E = \frac{1}{2} * Q * U$.

En remplaçant Q ou U par sa valeur tirée de $Q = C * U$, on a :

→ $E = \frac{1}{2} * C * U^2$ et encore : $E = \frac{Q^2}{2 * C}$.

La représentation du condensateur dans un schéma peut prendre plusieurs formes selon qu'il est polarisé ou non, fixe ou variable / ajustable :



L'impédance du condensateur est donnée par la formule suivante :

$Z = \frac{1}{j * C * \omega}$ avec $\omega = \text{pulsation} = 2 * \pi * f$ $f = \text{fréquence}$.

$j * C * \omega$

Ainsi l'impédance d'un condensateur « idéal/parfait » diminue avec la fréquence. Et la tension aux bornes du condensateur est en retard de 90° par rapport au courant traversant le condensateur. Mais la réalité est souvent bien éloignée de ce comportement.

Le boîtier physique du condensateur se présente sous de nombreuses formes et couleurs. Pour le condensateur chimique on distingue en général 2 types de boîtier : axial et radial.

<p>Le boîtier axial est le plus ancien des 2 boîtiers. C'était à une époque où la place occupée par le condensateur dans l'appareil ou sur le circuit imprimé n'était pas une priorité. Fonction aussi de la technologie.</p>		<p>Le boîtier radial est le plus courant actuellement. Il peut être d'un diamètre et d'une hauteur plus ou moins importante. Pour les gros condensateurs les 2 fils peuvent être remplacés par 2 vis.</p>
--	--	---

Remarque : l'unité de capacité d'un condensateur le « Farad » est importante c'est pourquoi on utilise des sous multiples du Farad :

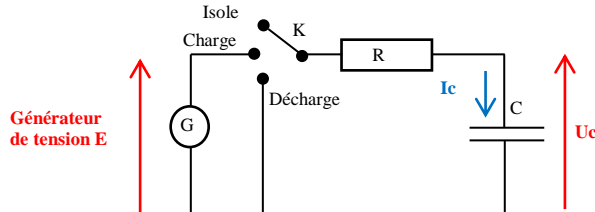
- le micro Farad = 1 μF = 1 millionième = 10^{-6} F,
- le nano Farad = 1 nF = 1 milliardième = 10^{-9} F,
- le pico Farad = 1 pF = 1 millionième de millionième = 10^{-12} F (très utilisé en haute fréquence et THF).

Quelques fabricants actuels ou ayant existés : AVX, Kemet, LCC, Murata, Panasonic, Philips, Siemens, Sic Safco, Sprague, (marques déposées).

IV.2 La charge et la décharge du condensateur

Il est intéressant de considérer les phénomènes de charge et de décharge du condensateur C au travers d'une résistance R ainsi que la notion de constante de temps.

Schéma simplifié d'un montage de charge et de décharge du condensateur :



Explication du fonctionnement : lorsque le commutateur K est sur la position :

- **Charge :** le condensateur C est chargé par le générateur G de tension E au travers de la résistance R,
- **Isole :** le condensateur C reste dans son état (isolé du reste du montage),
- **Décharge :** le condensateur C est déchargé au travers de la résistance R.

La tension U_c est mesurée aux bornes du condensateur C.

La charge du condensateur complètement déchargé à l'instant $t = 0$ est décrite par l'équation suivante (en fonction du temps t) :

$U_c(t) = E * (1 - e^{-t/RC}) = E * (1 - e^{-t/\tau})$ avec :

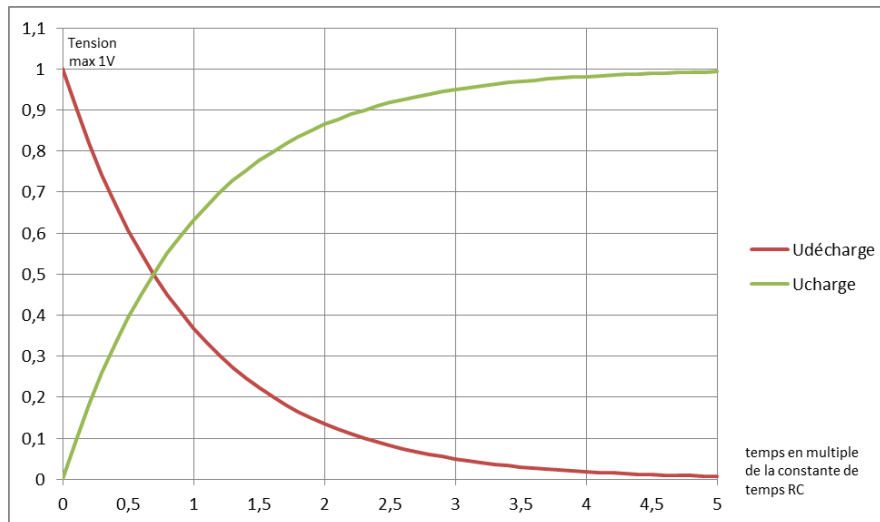
- $e = 2,718$ environ (base des logarithmes naturels ou népériens),
- $\tau = R * C = RC$ est la constante de temps ; exemple $R = 1000 \Omega$ et $C = 1000\mu F$ alors la constante de temps $\tau = 1000 * 1000 * 10^{-6} = 10^3 * 10^{-3} = 1 \text{ s}$.

La décharge du condensateur (charge initiale $U_c(t = 0) = E$)

$U_c(t) = E * e^{-t/\tau}$

Les courbes de charge et décharge ont des allures exponentielles.

Ici pour des raisons de simplification / normalisation l'axe horizontal du temps est gradué en multiple de la constante de temps $\tau = RC$ et l'axe vertical de la tension aux bornes du condensateur est d'un maximum de 1 V ($E = 1V$).



Quelques valeurs remarquables :

- pour un temps équivalent à la constante de temps $\tau = RC$ la valeur de la tension U_c :
 - de charge est d'environ 0,63 V (63 %),
 - de décharge est d'environ 0,37 V (37 %),
- pour un temps équivalent à cinq fois la constante de temps $t = 5 * \tau = 5 * RC$ la valeur de la tension U_c :
 - de charge est d'environ 0,99 V (99 %),
 - de décharge est d'environ 0,007 (0,7 %)V,

Remarques :

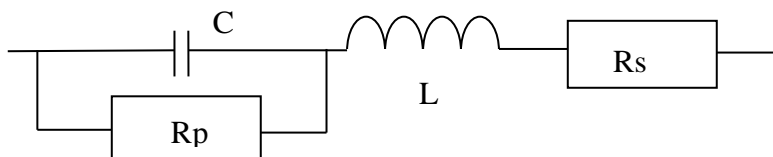
La **charge** du condensateur C ($Q = C * U_c$) **prend des valeurs continues** et donc la tension aux bornes du condensateur même si ces valeurs peuvent variées brusquement lors de la charge suivie d'une décharge.

Par contre **l'intensité du courant I_c** traversant le condensateur peut prendre des **valeurs discontinues** comme par exemple lorsque le condensateur est complètement chargé alors l'intensité du courant est nulle ($I_c = 0$) et que l'on décharge le condensateur au travers de la résistance R l'intensité est égale à $I_c = U_c / R$ ce qui correspond à une discontinuité de la valeur de l'intensité I_c .

IV.3Le condensateur réel

Le condensateur (composant) dont le comportement n'est décrit que par la capacité (phénomène électrique / électrostatique) n'existe pas (c'est un condensateur idéal (théorique)). De part la technologie utilisée pour sa fabrication (fil, spires, isolant/diélectrique imparfait,etc...) il comporte des éléments « parasites » : en série une résistance R_s (résistance de perte, celle du fil le constituant et celle des armatures, ...) et en parallèle une résistance R_p (résistance d'isolement, de fuite, pour symboliser les pertes dans le diélectrique, ...)et en série une bobine (symbolisant l'inductance des fils de connexions, ...) qui changent son comportement en haute et très haute fréquences.

Le schéma réel d'un condensateur :



Ce schéma montre qu'un condensateur réel inséré, par exemple dans un montage amplificateur, peut être le siège d'oscillations non désirées à la fréquence de résonance du circuit formée par le condensateur réel et l'inductance ou avoir un comportement non satisfaisant dans une alimentation à découpage haute fréquence du fait de la résistance équivalente série (ESR).

D'autre part, un condensateur présente une tension de service limite qui dépend de l'épaisseur de l'isolant et du matériau utilisé (\approx rigidité diélectrique). C'est la tension au-delà de laquelle la destruction du composant apparaît (surchauffe, explosion, ...).

Il faut donc choisir avec précaution le condensateur :

- sa capacité,
- sa tension de service,
- sa gamme de fréquences d'utilisation (bien en dessous de sa fréquence de résonance),
- son ESR (résistance équivalente série),
- sa dérive thermique (variation des caractéristiques en fonction de la température),
- sa tenue mécanique pour le condensateur ajustable ou variable.

IV.4 Le condensateur et son utilisation

Il est possible de regrouper l'utilisation du condensateur en 3 catégories principales :

- réservoir d'énergie (électricité) dans les (lignes) alimentations : il sert à lisser la tension de l'alimentation électrique et de découplage lorsqu'il est installé près de composants actifs effectuant des appels rapides de courant important. Il faut choisir un condensateur ayant une faible résistance équivalente série (ESR) et une inductance parasite faible. La tolérance sur la capacité et le coefficient de température ne sont pas les critères les plus importants.
- élément de liaison entre 2 étages : utiliser pour laisser passer la composante alternative du signal (partie utile) mais pas la composante continue (inutile à transmettre). La capacité du condensateur doit rester stable dans la gamme de fréquences du signal à transmettre. Le condensateur ne doit pas être trop bruyant.
- élément d'un circuit oscillant ou d'un filtre : la tolérance sur la valeur de la capacité (précision / stabilité dans une gamme de fréquences) et la stabilité en température sont des éléments importants à prendre en compte.

Tableau de sélection d'un type de condensateur pour une application donnée

Type d'application	Type de condensateur recommandé et explications
Alimentation lissage de tension	Electrolytique / électrochimique aluminium : capacité importante avec fourniture de courant d'intensité importante. Pour les alimentations à découpage privilégier les condensateurs à faible résistance série (ESR). Possibilité d'utiliser un condensateur au tantale pour sa petite taille. Actuellement on trouve aussi des condensateurs céramiques au format CMS lorsque la fréquence de découpage est élevée.
Audio liaison	Electrolytique / électrochimique aluminium : capacité importante. Tantale pour sa petite taille par rapport à sa capacité. Polyester / polycarbonate : assez onéreux avec une capacité moins

	importante que les électrolytique / électrochimique.
Radio-Fréquence (RF) liaison	Céramique COG : petit condensateur à faibles pertes. Céramique X7R : petit condensateur à faibles pertes (moins bon que le COG). Polystyrène : condensateur à très faibles pertes mais de taille plus importante et plus onéreux qu'un condensateur céramique.
Radio-Fréquence (RF) découplage	Céramique COG : petit condensateur à faibles pertes mais avec une capacité limitée vers 1000pF. Céramique X7R : petit condensateur à faibles pertes (moins bon que le COG) avec des capacités disponibles supérieures au COG.
Circuits oscillants filtres	Mica argenté : tolérance assez serrée, stable en température, à faibles pertes mais onéreux. Et maintenant assez difficile à trouver. Céramique COG : petit condensateur à faibles pertes mais avec une capacité limitée vers 1000pF. Pas aussi bon que le mica argenté.

Lorsqu'on a choisi un type de condensateur, l'utilisateur doit prendre en considération la tension de service.

IV.5 Groupement de condensateurs

Il peut être utile de recourir à un groupement de condensateurs pour disposer d'une valeur de condensateur qui n'existe pas dans les valeurs normalisées produites par l'industrie ou pour des raisons de place, d'augmentation de la tension de service (avant claquage du diélectrique) ou découplage/filtrage dans une gamme de fréquence étendue ou pour diminuer la résistance ESR.

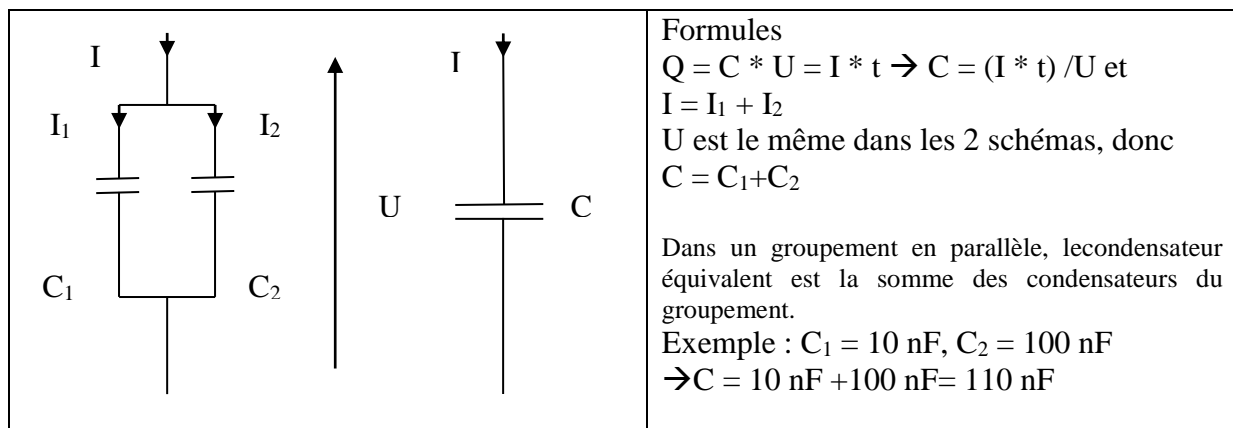
Il existe 2 types de groupement : série et parallèle.

IV.5.1 Le groupement de condensateurs en série

	<p>Formules</p> $Q = C * U$ $U = U_1 + U_2$ <p>I est le même dans les 2 condensateurs donc les charges sont identiques</p> $Q_1 = C_1 * U_1 = Q_2 = C_2 * U_2 \text{ et } U = U_1 + U_2$ <p>d'où</p> $C = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}$ <p>Dans un groupement en série, le condensateur équivalent est plus petit que le plus petit condensateur du groupement.</p> <p>Exemple : $C_1 = 10 \text{ nF}$, $C_2 = 100 \text{ nF}$</p> $\rightarrow R = \frac{10 * 100}{10 + 100} = \frac{1000}{110} = 9,09 \text{ nF}$
--	--

Ce groupement de mise en série de condensateurs est utilisé pour augmenter la tension de service du condensateur équivalent avant claquage du diélectrique (pour faire simple la mise en série de 2 condensateurs de $10 \mu\text{F}$ 600 V est équivalent à un condensateur de $5 \mu\text{F}$ de 1200 V de tension de service). Par contre il est recommandé d'équilibrer la tension aux bornes de chacun des 2 condensateurs en mettant en parallèle sur chacun d'eux une résistance de même valeur assez élevée et tenant la tension de service.

IV.5.2 Le groupement de condensateurs en parallèle



Ce groupement de mise en parallèle de condensateurs est utilisé pour augmenter la capacité totale tout en diminuant les éléments parasites à savoir la résistance série (cas des alimentations à découpage ou autres) et les inductances dans les montages hautes fréquences.

IV.6 Les différents types de condensateur

Le condensateur peut être classé en 2 grandes catégories :

1. le condensateur non polarisé (fixe, variable, ajustable). On trouve entre autres dans cette catégorie :
 - a. le condensateur céramique (terme générique),
 - b. le condensateur à film plastique (terme générique) :
 - MKS : polyester
 - MKT : polyester (polyéthylène ou Mylar), polystyrène (styroflex, ..)
 - MKC : polycarbonate,
 - MKP : polypropylène,
 - c. Le condensateur mica argenté,
2. le condensateur polarisé (électrolytique / électrochimique) avec 2 connexions dont l'une repérée par le signe + par le fabricant (ou un autre repère ou pas) doit être reliée à une tension plus positive que celle sur l'autre connexion repérée par un signe - (ou une autre marque). Il ne faut surtout pas inverser le raccordement des 2 connexions sous peine de destruction du condensateur (explosion ou surchauffe).

IV.7 Le condensateur non polarisé

IV.7.1 Le condensateur céramique (terme générique)

Le condensateur céramique à pattes traversantes ou CMS a été (est) utilisé en général pour découpler (les) alimentation(s) (rôle de découplage) ou de liaison mais la valeur de la capacité dérive souvent en fonction de la température. Il existe des condensateurs céramiques à faible dérive en température (NPO) utilisés dans les circuits oscillants et les filtres (bande noire en haut des condensateurs de type disques ou plaquettes, NPO, COG). C'est un condensateur peu onéreux. La capacité de ce type de condensateur est en général faible $< 1\mu\text{F}$ mais actuellement l'utilisation de céramique avec un diélectrique spécial permet d'atteindre une capacité de plusieurs dizaines de μF pour les condensateurs céramiques CMS dont le nombre de couches peut atteindre des centaines (500, ..), des épaisseurs très faibles inférieures au μm et des constantes diélectriques importantes de plusieurs milliers. Le condensateur céramique au

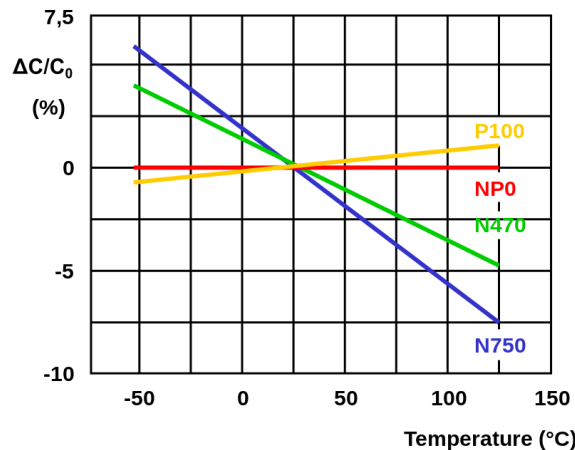
format CMS permet de gagner de la place sur le circuit imprimé mais surtout de pouvoir atteindre des fréquences très importantes. Dans les circuits oscillants / filtres, il est nécessaire d'utiliser des condensateurs céramiques de faibles valeurs et à dérive en température très faible (ou 0). Les valeurs de capacité importantes ne remplissent pas ces conditions.

Classement des céramiques :

Au fur et à mesure du temps et de l'évolution technologique, un classement des différentes céramiques est devenu nécessaire. Une commission internationale (CEI) (et aussi l'EIA (Electronic Industry Association)) a divisé celles-ci en 2 classes :

- Classe 1 : les céramiques caractérisées par une faible dérive en température (stabilité) et une bonne précision. Elles sont obtenues grâce à une permittivité faible (20 à 100). Les condensateurs ont donc des capacités faibles et sont utilisés dans les circuits oscillants, filtres, etc.
- Classe 2 : les céramiques caractérisées par un rapport capacité / volume important. Les fabricants utilisent des permittivités le plus important possible (15 000 et au-delà) mais qui peuvent varier en fonction de la température et même de la tension appliquée aux bornes du condensateur ! La capacité peut atteindre 100µF. Ce type de condensateur est utilisé pour le découplage des lignes d'alimentation, le couplage entre étages, etc.

Classe 1- condensateur céramique					
Références aux normes CEI/EN 60384-8/21 et EIA-RS-198					
Type de céramique	Coefficient de Température α $10^{-6} / K$	α -Tolérance $10^{-6} / K$	Sous-classe	Code CEI	Code EIA
P100	100	±30	1B	AG	M7G
NP0	0	±30	1B	CG	C0G
N33	-33	±30	1B	HG	H2G
N75	-75	±30	1B	LG	L2G
N150	-150	±60	1B	PH	P2H
N220	-220	±60	1B	RH	R2H
N330	-330	±60	1B	SH	S2H
N470	-470	±60	1B	TH	T2H
N750	-750	±120	1B	UJ	U2J
N1000	-1000	±250	1F	QK	Q3K
N1500	-1500	±250	1F	VK	P3K



Variation de la capacité en fonction de la température (NPO → 0)

Tableaux extraits de Wikipédia Anglais (et traduits).

Lecture du 1^{er} tableau avec 2 exemples : un condensateur "NP0" correspond au code EIA "C0G" et il a une dérive en température de 0 et une précision de ±30 ppm/K (tolérance maxi), de même un "N1500" avec le code "P3K" aura une dérive de -1500 ppm/K et une précision de ±250 ppm/°C. Il est à noter que les codes des condensateurs CEI et EIA sont des codes (normes) industrielles qui sont différentes des normes militaires.

Classe 2- condensateur céramique Référence à la norme EIA-RS-198		
Code Lettre (1 ^{er} caractère) température minimale	Code Nombre (2 ^{ème} car) température maximale	Code Lettre (3 ^{ème} car.) variation de capacité sur la gamme de température
X = -55 °C	4 = +65 °C	A = ±1,0%
Y = -30 °C	5 = +85 °C	B = ±1,5%
Z = +10 °C	6 = +105 °C	C = ±2,2%
	7 = +125 °C	D = ±3,3%
	8 = +150 °C	E = ±4,7%
	9 = +200 °C	F = ±7,5%
		P = ±10%
		R = ±15%
		S = ±22%
		T = +22/-33%
		U = +22/-56%
		V = +22/-82%

Exemple de lecture : un condensateur « Z5U » est prévu pour un fonctionnement correct dans une plage de température allant de +10 °C à +85 °C avec une variation de capacité d'un maxi +22% to -56%. Un X7R fonctionnera correctement de -55 °C to +125 °C avec une variation de capacité d'un maxi ±15%.

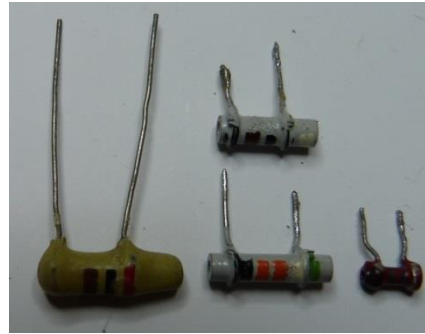
Classe 2 : Code pour quelques plages de température et de la variation de la capacité
Référence à IEC/EN 60384-9/22

Code de variation de la capacité	Variation Max. de la capacité $\Delta C/C_0$ à $U = 0$	Variation Max. de la capacité $\Delta C/C_0$ à $U = U_N$	Code de la plage de température	Plage de Température
2B	$\pm 10\%$	+10/-15%	1	-55 ... +125 °C
2C	$\pm 20\%$	+20/-30%	2	-55 ... +85 °C
2D	+20/-30%	+20/-40%	3	-40 ... +85 °C
2E	+22/-56%	+22/-70%	4	-25 ... +85 °C
2F	+30/-80%	+30/-90%	5	(-10 ... +70) °C
2R	$\pm 15\%$	-	6	+10 ... +85 °C
2X	$\pm 15\%$	+15/-25%	-	-

Condensateurs céramiques

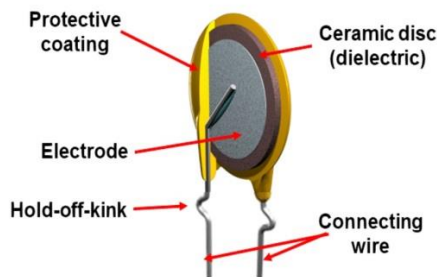
cylindriques anciens. La capacité est donnée par le code des couleurs.

Usage : découplage des tensions d'alimentation et liaison et circuits oscillants.



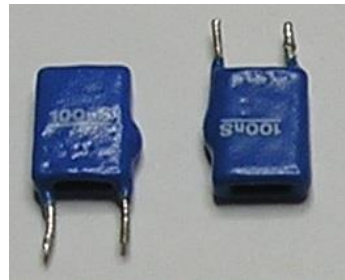
Condensateurs céramiques disques et plaquettes de différentes grosseurs et voltages (jusqu'à 3kV) et certains à faible dérive en température (bande noir en haut du disque).

Usage : découplage des tensions d'alimentation et liaison et circuits oscillants / filtres (NPO).



Structure d'un condensateur disque (wikipedia)

Condensateur céramique au format tube plat : les faces intérieure et extérieure sont recouvertes de Nickel (ou d'argent); la face extérieure sert de blindage. La constante diélectrique est d'environ 50 000. Ce type de condensateur est (a été) utilisé pour le découplage des mémoires RAM. La photo montre le format tube plat.



Le condensateur céramique COG ou NPO est particulièrement stable en température, dans le temps et par rapport aux changements de tension et fréquence. Coefficient : 30 ppm/C°

Utilisation : filtre, oscillateur, temporisateur,



Le condensateur céramique X7R est constitué d'un diélectrique présentant un compromis entre stabilité et capacité sous un faible volume.

Utilisation : filtre, couplage, .



Le condensateur céramique Z5U est constitué d'un diélectrique offrant une capacité sous un faible volume. La stabilité en température n'est pas un critère primordial.

Utilisation : découplage, liaison, .



Le condensateur céramique multicouche monolithique miniature de très haute qualité électrique et mécanique X7R. Ce type de condensateur est très stable (faible dérive) vis-à-vis de la température (NPO), du temps et de la tension. Coefficient de température : 30 ppm/C°. Le type X5U permet de disposer d'une capacité plus importante mais avec une stabilité en température moindre.

Usage : circuits oscillants, filtres (NPO)



Le condensateur CMS classique permet d'atteindre des capacités de quelques dizaines de μF ce qui est utile dans les alimentations à découpage à fréquences élevées. Mais son emploi est recommandé dans les circuits (très) hautes fréquences vu sa taille.



Le fabricant AVX annonce des condensateurs de la série GX (Ultra Broadband Capacitors) à faible pertes d'insertion jusqu'à 67 GHz !

DIMENSION

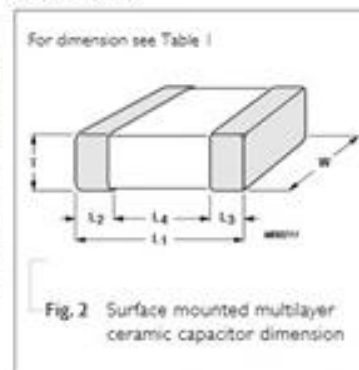
Table 1 For outlines see fig. 2

TYPE	L ₁ (mm)	W (mm)	T (MM)	L ₂ / L ₃ (mm)		L ₄ (mm)
				min.	max.	min.
0201	0.6 ±0.03	0.3 ±0.03	Refer to table 2 to 5	0.10	0.20	0.20
0402	1.0 ±0.05	0.5 ±0.05		0.20	0.30	0.40
0603	1.6 ±0.10	0.8 ±0.10		0.20	0.60	0.40
0805	2.0 ±0.10 ⁽¹⁾	1.25 ±0.10 ⁽¹⁾		0.25	0.75	0.55
	2.0 ±0.20 ⁽²⁾	1.25 ±0.20 ⁽²⁾		0.25	0.75	1.40
1206	3.2 ±0.15 ⁽¹⁾	1.6 ±0.15 ⁽¹⁾		0.25	0.75	1.40
	3.2 ±0.30 ⁽²⁾	1.6 ±0.20 ⁽²⁾		0.25	0.75	2.20
1210	3.2 ±0.20	2.5 ±0.20		0.25	0.75	1.40
1812	4.5 ±0.20	3.2 ±0.20		0.25	0.75	2.20

NOTE

1. Dimension for size 0805 and 1206, C ≤ 1 nF
2. Dimension for size 0805 and 1206, C > 1 nF

OUTLINES



Extrait du catalogue Yageo

IV.7.2 Variation de la capacité d'un condensateur en fonction de la tension continue – un phénomène méconnu

Ce chapitre ne traite pas de la variation de la capacité d'une jonction semi-conductrice (exemple : diode varicap) en fonction de la tension continue appliquée à ses bornes, mais d'un phénomène assez peu connu, la variation de la capacité d'un condensateur réalisé avec un diélectrique céramique de valeur élevée. Ainsi, un condensateur céramique d'une valeur de $4,7 \mu\text{F}$ avec une tension continue de 1 V à ses bornes se retrouve avec une capacité inférieure à $0,33 \mu\text{F}$ à 10V !!! Ce phénomène, plus ou moins prononcé, existe avec d'autres diélectriques.

Voir la revue Radio-REF n°908 d'avril 2017.

Tableau extrait d'un tutoriel de Maxim (n° 5527) qui montre la variation de la capacité d'un condensateur céramique de différents types et de boîtiers en fonction de la tension continue appliquée.

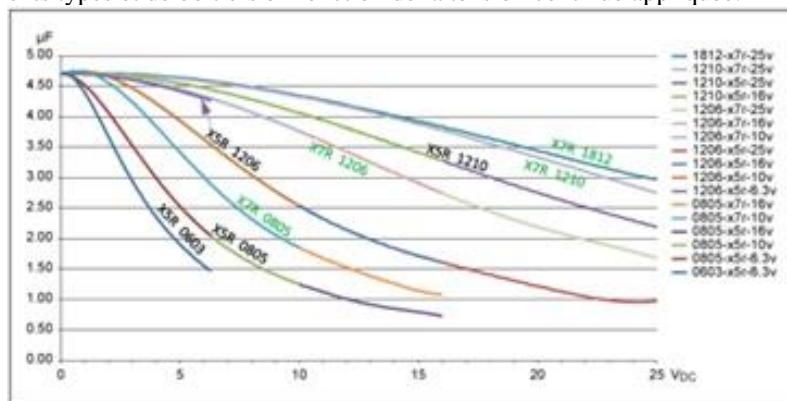
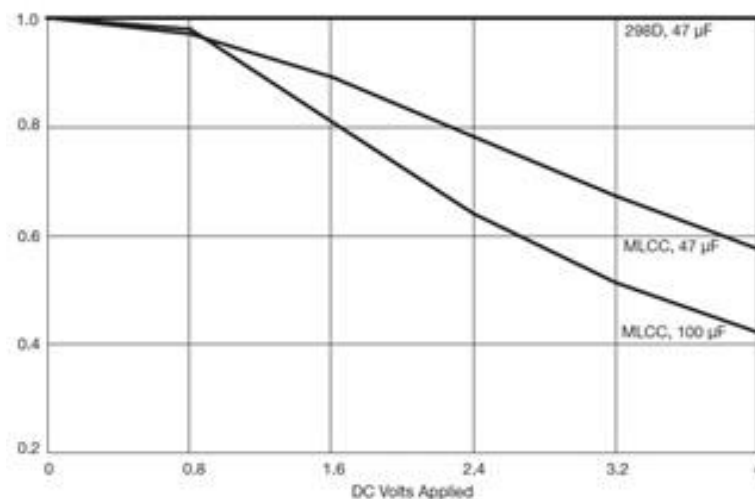


Tableau extrait d'un document Vishay (Capacitance change with applied DC voltage) du 26/01/2012. Comparaison de condensateur céramique multicouche MLCC avec un condensateur au Tantale 298D (film oxyde de tantale Ta_2O_5)

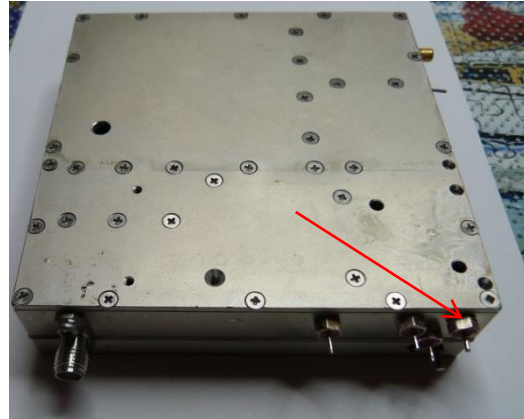


La raison principale à de tels changements est la variation de la « constante » diélectrique de la céramique utilisée en fonction de la tension continue appliquée (variation de la force du champ électrique appliqué). Le phénomène existe aussi avec les tensions alternatives. On observe que la constante du diélectrique à l'oxyde de Tantale (oxide film Ta_2O_5) est quasiment insensible à de tels changements.

IV.7.3 Le condensateur de traversée céramique

Le condensateur de traversée céramique (ou autres) est utilisé en général pour amener l' (les) alimentation(s) (rôle de découplage) ou une liaison (rôle de filtre de fréquence indésirables) aux composants enfermés dans un boîtier métallique servant de blindage pour éviter les couplages entre différents étages (rayonnants) constituant l'appareil.

Photo d'un module blindé avec plusieurs condensateurs de traversée à vis.



Condensateurs céramiques de traversée à vis ou à souder (différentes capacités dont une de 1 nF)

Usage : découplage des tensions d'alimentation des circuits intégrés et liaison.



IV.7.4 Le condensateur à film plastique (terme générique)

Le condensateur à film plastique regroupe plusieurs familles parmi lesquelles on trouve :

- MKC : polycarbonate,
- MKP : polypropylène,
- MKS : polystyrène (styroflex, etc.)
- MKT : polyester (polyéthylène, mylar),

Le condensateur MKS Styroflex KS et métallisé MKS

Condensateur Styroflex au polystyrène métallisé, recommandé pour leur stabilité en audio et dans les circuits oscillants HF / MF. Précision de 1% à 5%. Tension maximale : gamme de 63V à 1000V. Format : axial et radial. Remarque : classé par Siemens en MKY.

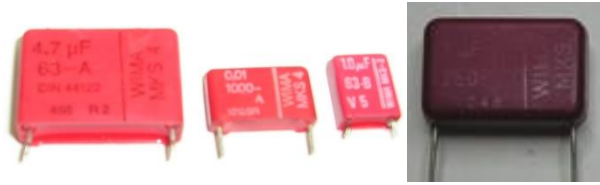
Usage : audio liaison et circuit oscillant.



Le condensateur MKT Polyester métallisé

Condensateur Polyester métallisé de 10nF à 2,2uF Pas à partir de 5 mm ; tension : 50V – 250V ; Tolérance 10 %

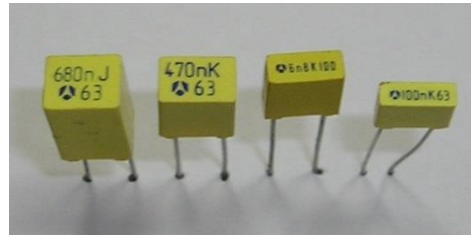
Usage : découplage des tensions d'alimentation des circuits intégrés et liaison.



Le condensateur MKT 370 ou Milfeuillet (de LCC)

Condensateur Polyester métallisé de 1nF à 1uF
Pas de 5,08 mm ; tension en général 63V ;
Tolérance 10 %

Usage : découplage des tensions d'alimentation des circuits intégrés et liaison.



Le condensateur MKT

Condensateur Polyester métallisé enrobage Epoxy (Philips C368 ou autres) de 100nF à 4,7uF
Pas de 5 mm, 10,2 mm, 15,2 mm, 22,9 mm 27,9 mm ; tension 100V, 250V, 400V ; Tolérance 10 %

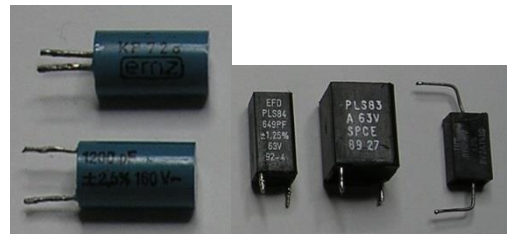
Usage : découplage des tensions d'alimentation et liaison.



Quelques Condensateurs de précision

Condensateur de précision de 1% à 2,5%. Il existe des condensateurs encore plus précis mais plus onéreux.

Usage : filtre et oscillateur BF.



IV.7.5 Le condensateur Mica argenté

Le condensateur Mica argenté est caractérisé par :

- une rigidité diélectrique élevée,
- une très grande stabilité dans le temps et en température,
- une résistance d'isolement très importante ($> 10^{+5} \text{ M}\Omega$).

Il est recommandé dans les filtres de précision, les circuits oscillants, etc...

Actuellement il est difficile à approvisionner et assez cher.

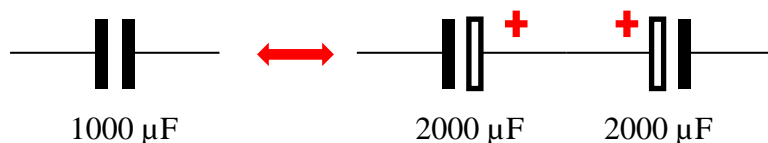
Condensateur Mica Argenté de 10pF à 100nF ;
Pas de 6mm, 8,7mm, 27mm ; tension en général
500V (100V pour les valeurs importantes) ;
Tolérance 1 % (en général)

Usage : filtres de précision, circuits oscillants,
étalons de mesure.



IV.7.6 Le condensateur non polarisé réalisé avec 2 polarisés

Parfois, il est utile/nécessaire de monter un condensateur non polarisé de forte capacité pour réaliser une liaison entre 2 étages et malheureusement de ne pas en disposer. Il est possible de réaliser un condensateur non polarisé en reliant en tête-bêche 2 condensateurs polarisés de même capacité (de la même série pour éviter une différence importante de la capacité et donc de la tension aux bornes de chacun des 2 condensateurs) et double de celui à réaliser (les connexions marquées + sont reliées ensemble).



IV.7.7 Le condensateur X1, X2, Y1, Y2 pour filtre secteur

Il est souhaitable (et même obligatoire dans certains cas) de filtrer la tension secteur pour éviter de recevoir ou d'émettre des parasites véhiculés par le secteur. Ce qui peut survenir par exemple dans le cas suivants :

- un émetteur radio ou une alimentation à découpage, ... → empêcher les parasites ou signaux Radio Fréquence (RF) indésirables de remonter sur les lignes du secteur,
- une « box Internet » (courant porteur) ou autres (alimentation de moteurs à proximité, ...) de recevoir ces parasites/signaux véhiculés par les lignes du secteur.

La fréquence du secteur (50Hz) est très inférieure à la fréquence de découpage et ses harmoniques ($> 20\text{kHz}$) d'une alimentation à découpage ou de signaux radio hautes fréquences, un filtre entre le secteur et l'alimentation permet d'atténuer ces « parasites ». Le filtre doit laisser passer la tension secteur mais pas les parasites/interférences et avoir le minimum de pertes d'insertion (le filtre doit être purement réactif (bobines et condensateurs)). Le filtre intervient sur le neutre et la phase (mode commun et différentiel). Voir sur des sites OM ou autres les explications plus complètes sur le filtre secteur.

Schéma d'un filtre secteur complet :

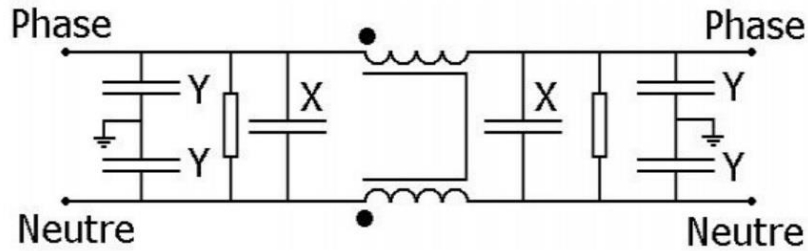
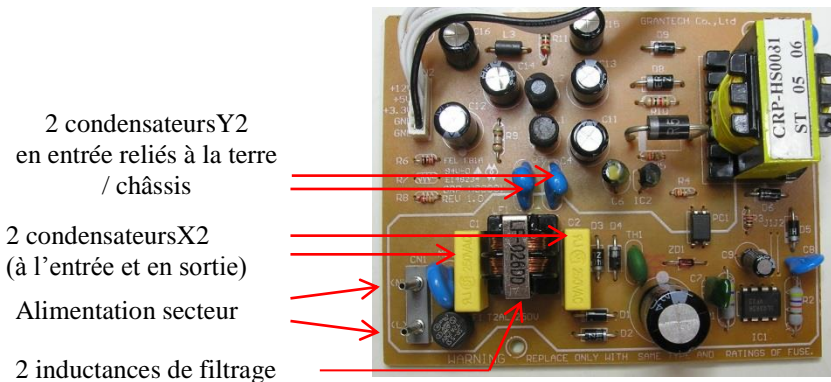


Photo d'une alimentation à découpage avec un filtre secteur quasiment complet



IV.7.7.1 Le condensateur X1, X2 – filtre du mode différentiel

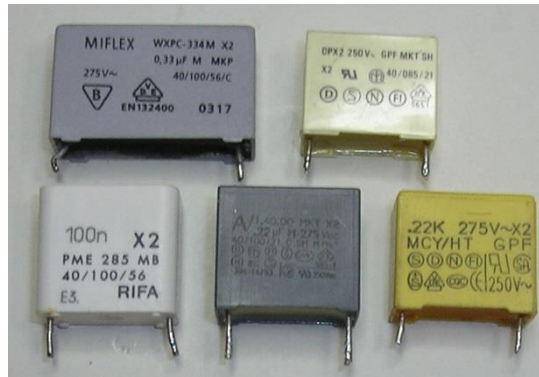
Le condensateur X1 ou X2 est installé entre la phase et le neutre (montée en parallèle sur les lignes d'alimentation). Ce type de condensateur doit présenter une très grande impédance vis-à-vis du secteur 50 Hz et n'intervenir quasiment pas sur la consommation globale, par contre son impédance en haute fréquence (> 20 kHz) doit être très faible pour atténuer les éventuels courants différentiels. Ce condensateur doit être très fiable (souvent auto cicatrisant) pour ne pas être une source de problèmes importants.

Il est à noter que le condensateur peut rester chargé à la tension secteur lors de l'extinction de l'appareil et présenter un danger pour l'intervenant. C'est pourquoi une résistance (de saignée) de forte valeur est montée en parallèle pour décharger le condensateur. La résistance de saignée est souvent réalisée au moyen de 2 résistances montées en série pour supporter plus facilement la tension secteur. En général après une durée d'environ 1s, la tension restante aux bornes du condensateur ne doit plus être considérée comme dangereuse ($<< 60V$) aux bornes de la prise de courant de l'appareil qu'on vient de débrancher : c'est une contrainte normative.

En général, la valeur de ce type de condensateur est choisie entre les valeurs de 100nF à 1 μ F et une résistance de 220kOhm à 1Mégohm.

Tableau récapitulatif des principales caractéristiques

Condensateur de classe X	Tension maximale de service	Tension maximale de test
X1	$>2500V$ $\leq 4000V$	4kV, $C \leq 1.0\mu F$ $4/\sqrt{C}$ kV, $C > 1.0\mu F$
X2	$\leq 2500V$	2.5kV, $C \leq 1.0\mu F$ $2.5/\sqrt{C}$ kV, $C > 1.0\mu F$
X3	$\leq 1200V$...



Photos de quelques condensateurs de type X2.

IV.7.7.2 Le condensateur Y1, Y2 – filtre du mode commun

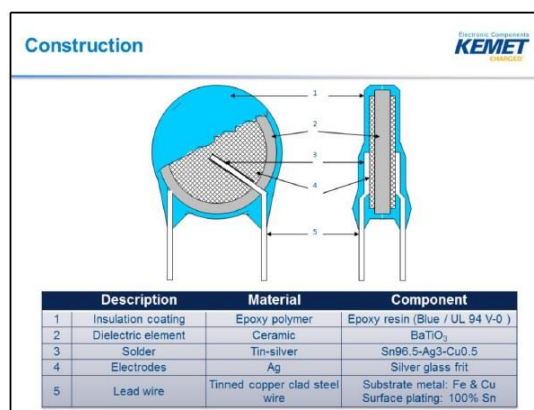
Du fait de l'existence de capacités parasites dans l'appareil, des courants plus ou moins importants « s'écoulent » vers la terre et l'intensité des courants allant vers le neutre et la phase ne sont plus égaux, d'où une composante de mode commun. Ce mode est le plus gênant dans le cas des émissions électromagnétiques.

Il est intéressant / obligatoire d'insérer un filtre qui doit supprimer / atténuer ces composantes de mode commun à haute fréquence tout en ne bloquant pas la tension du secteur (mode différentiel). On va insérer une inductance dans les lignes du neutre et de la phase et monter 2 condensateurs Y de même valeur (quelques nF) pour dériver vers la terre les courants du mode commun (un condensateur entre le neutre et la terre et l'autre entre la phase et la terre). Voir plus d'explications sur d'autres sites OM ou autres.

Tableau récapitulatif des principales caractéristiques des condensateurs Y

Condensateur de classe Y	Tension de service	Tension maximale de test
Y1	$\leq 500V$	8 kV
Y2	$150 \leq V < 300$	5 kV
Y3	$< 250V$	None
Y4	$\leq 150 V$	2.5 kV

Structure d'un condensateur série 900 du fabricant Kemet - condensateurs X1, Y1, Y2)

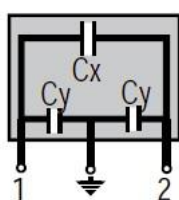




Photos de quelques condensateurs de type Y2

IV.7.7.3 Le condensateur X2 et 2 * Y2

Les fabricants ont intégré dans un boîtier unique un condensateur X2 et 2 condensateurs Y2, ce qui est pratique pour la réalisation d'un filtre secteur. Il est muni de 3 trois connexions externes, la connexion du milieu est relié à la terre / châssis de l'appareil.



Extrait du catalogue Kemet
PZB300 Series Metallized Impregnated Paper

IV.8 Le condensateur variable ou ajustable



C'est un condensateur dont l'utilisateur peut faire varier la capacité (dans une plage indiquée par le fabricant) au moyen d'un dispositif externe par exemple un axe ou une vis. La partie fixe s'appelle le stator et la partie mobile le rotor.

IV.8.1 Le condensateur variable

Le condensateur variable est surtout utilisé dans les circuits oscillants pour faire varier la fréquence générée ou filtrer celle à recevoir. La variation de capacité est en général de quelques centaines de picofarads à quelques dizaines de picofarads pour les hautes fréquences. Le réglage de la capacité doit rester le même malgré les vibrations mécaniques et les variations de température. Il est composé de plusieurs lames fixes montées en parallèle et de lames mobiles solidaires de l'axe, chacune espacée de l'autre d'une distance plus au moins importante en fonction surtout de l'isolement souhaité et de la capacité. La carcasse peut être faite en céramique/stéatite, métal ou plus souvent maintenant en plastique / téflon. Le diélectrique est en général l'air mais le « plastique » est aussi utilisé. La rigidité de l'air sec est comprise entre 30kV/cm et 50 kV/cm.

La variation de capacité peut suivre une courbe linéaire proportionnelle à la variation de l'angle de l'axe (de 0° à 180°) ou plus rarement une courbe logarithmique.

Photos de condensateurs variables :

	
<p>Condensateur variable double-cage muni de petits condensateurs ajustable pour rattraper les dissymétries et d'un axe avec démultiplication</p>	<p>Condensateur variable céramique et plastique</p>




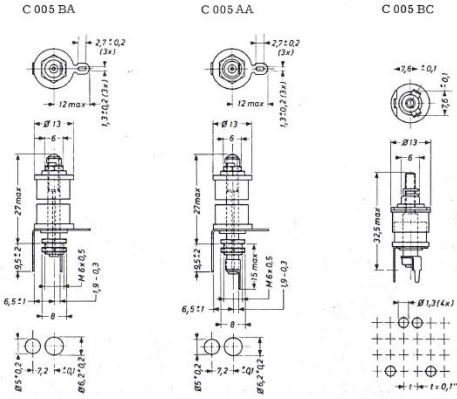



Les fabricants de radio, au fur et à mesure de l'avancée de la technologie, ont remplacé ce composant encombrant et assez onéreux par des diodes varicap puis pour les oscillateurs basés sur des circuits bobine–condensateur par des synthétiseurs numériques directs de fréquences (DDS).

IV.8.2 Le condensateur ajustable

Le condensateur ajustable est utilisé dans les circuits oscillants, filtres et adaptations d'impédance. La capacité est ajustée à la valeur nécessaire au réglage souhaité (maximum de puissance, etc...). La variation de capacité est en général faible de quelques dizaines de picofarads à quelques picofarads pour les très hautes fréquences et avec un réglage qui tient malgré les vibrations mécaniques et les variations de température.

Dans une majorité des cas la variation de capacité est indiquée en clair par le fabricant. Pour ceux en plastique, un code couleur est utilisé.

Photos de quelques condensateurs ajustables :

		
<p>En cloche à air (dont 1 démonté). Condensateur composé d'un stator et d'un rotor en alliage léger formés par pression pourvus de lames concentriques formant les armatures. Par rotation les armatures du rotor s'insèrent plus ou moins entre celles du stator. Le rotor est muni soit d'un axe fileté à tête hexagonale pour manœuvre au moyen d'une clé soit d'un axe comportant une fraisure pour un réglage par tournevis. Tension essai : 500V à 1000V. Extrait catalogue Radiotechnique Compelec</p>	<p>Céramique : capacité ajustable de 6pF à 25 pF.</p>	<p>Le plus simple : le condensateur « queue de cochon » : deux fils isolés enroulés. L'ajustage se fait en raccourcissant les deux fils. Se rencontre dans des générateurs de fonctions, les amplis BF, HF peu onéreux et autres montages. Stabilité ?</p>
		
		
<p>Condensateur ajustable C808 Philips Tension continue : Ø 7,5 mm 250V Et Ø 10 mm 240V</p>	<p>Condensateur ajustable céramique CMS (vues de dessus et dessous) ajustable avec une clé carrée</p>	<p>Ajustables pour HF et THF</p>
<p>Gris : 1,4 à 5,5pF - 250 V - Ø 7,5 mm Bleu : 1,6 à 15pF - 250 V Ø 7,5 mm Jaune : 2 à 10pF - 250 V - Ø 7,5 mm Vert : 2 à 22pF - 250 V - Ø 7,5 mm Violet : 3 à 40pF - 250 V - Ø 7,5 mm Rouge : 2 à 30pF - 250 V - Ø 7,5 mm Gris : 5,5 à 40pF - 240 V - Ø 10 mm Jaune : 5,5 à 65pF - 240 V - Ø 10 mm Rouge : 6 à 60pF - 240 V - Ø 10 mm Violet : 7 à 100pF - 240 V - Ø 10 mm</p>		

IV.9 Le condensateur polarisé

Ce type de condensateur est en général de capacité importante et utilise une technologie qui oblige à respecter la polarité des 2 connexions au risque d'un échauffement ou même d'une explosion. Pour des raisons de sécurité certains condensateurs de forte capacité / tension sont munis d'une soupape de sécurité.

Une caractéristique à prendre en compte dans les alimentations à découpage est la résistance équivalente série (ESR) qui doit être le plus faible possible $< 1 \text{ Ohm}$. L'intensité du courant est aussi souvent indiquée sur le boîtier.

La température de fonctionnement est à prendre en compte car l'électrolyte (en général liquide) risque de sécher prématurément et diminuer les caractéristiques du condensateur : la capacité diminue, l'ESR augmente (cercle vicieux !).

Remarques :

- La polarité des connexions du condensateur polarisé doit être respectée sous peine de destruction, feu, etc. C'est pourquoi les connexions sont repérées suivant les cas :
 - le côté - :
 - le boîtier (ancien condensateur fixé au châssis par une vis) et autres,
 - le signe -,
 - une bande verticale (blanche, dorée, etc.) avec des signes -,
 - le côté + :
 - la connexion centrale (ancien boîtier),
 - le signe +,
 - le côté rouge (ancien condensateur axial Sic Safco, etc.).
- la précision de la capacité de ce type de condensateur n'est pas une de ses caractéristiques primordiales, c'est pourquoi certains fabricants annoncent une précision de l'ordre de -20% à $+70\%$!,
- la tension de service est une caractéristique importante à respecter.

IV.9.1 Le condensateur électrochimique / électrolytique

Le condensateur électrolytique existe en basse tension (environ 3V à 100 V) et en haute tension (alimentation à découpage à partir du secteur, des lampes radio, etc.) (environ 200V à 1500V).

Anciens condensateurs axial, radial et autres



Anciens condensateurs : la plupart à l'époque des montages à lampes.



Condensateur du haut : le côté + est signalé par une couleur rouge,

Condensateur jaune : précision de -10% à $+50\%$!



Condensateur haute tension (+ capacité importante) avec connexions par vis et fixation sur le châssis par un collier avec serrage par vis. Une résistance de saignée est montée en parallèle sur les 2 connexions pour décharger le condensateur lors de l'arrêt de l'alimentation (raison de sécurité). D'autre part toujours pour des raisons de sécurité, le condensateur est muni d'une soupape de sécurité (blanche) pour éviter une explosion en cas de problème.

IV.9.2 Le condensateur au tantale

L'industrie utilise principalement une des deux technologies suivantes pour la fabrication du condensateur au tantale : électrolyte solide ou électrolyte liquide.

Le condensateur au tantale est utilisé pour les raisons suivantes :

- forte capacité pour une taille réduite,
- résistance série (ESR) (assez) faible,
- inductance série faible,
- faible résonance.

Extraits de wikipédia :

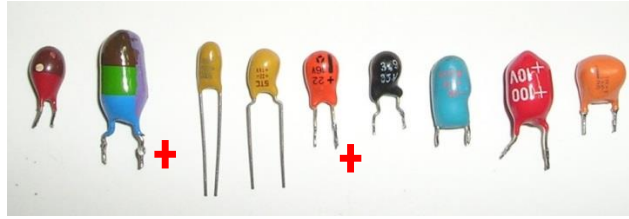
Le condensateur au tantale à électrolyte solide : la première électrode est le tantale et la seconde du dioxyde de manganèse MnO_2 . Le contact avec le dioxyde de manganèse est assuré par une couche de métallisation à base d'argent.

Les condensateurs au tantale à électrolyte liquide (WET Tantalum) : la première électrode est le tantale et la seconde un gel conducteur. L'électrolyte liquide est capable d'oxyder le tantale en cas de défaut dans la couche d'oxyde, cette régénération en fait des condensateurs de grande fiabilité, ils sont souvent choisis pour des applications où la fiabilité est un critère déterminant ; exemple : utilisation dans un satellite. Par contre, cette possibilité signifie qu'un courant de fuite plus élevé est possible, à prendre en compte dans la conception. Les condensateurs à électrolyte liquide sont plus coûteux, en raison des matériaux utilisés : argent ou encore tantale massif pour le boîtier (à cause de l'électrolyte acide), ainsi que des procédés de fabrication plus complexes (assemblage étanche), ils sont de fait réservés à des applications « haut de gamme ».

Le condensateur au tantale a un défaut : il présente une légère non-linéarité, c'est pourquoi ce condensateur est déconseillé pour la transmission de signaux (création d'harmoniques paires) sauf lorsqu'il est associé à d'autres condensateurs non électrolytiques pour former un condensateur composite.

Le condensateur au tantale solide a un autre défaut : le tantale risque de prendre feu en cas de dépassement du courant ou en cas de défaillance. C'est pourquoi ils sont peu utilisés dans des applications où cela présente un danger pour l'utilisateur (automobile par exemple)

Condensateurs au tantale au format goutte : la valeur est indiquée en clair ou à l'aide du code de couleurs standard (voir le chapitre code des couleurs).

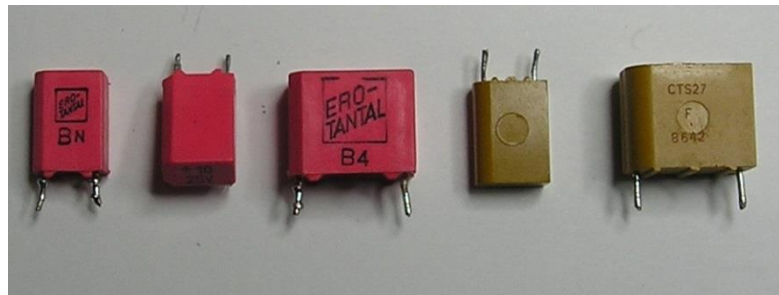


La valeur de la capacité des 4 condensateurs de gauche est indiquée par le code de couleurs : la lecture s'effectue en partant du haut, la couleur du bas indique la tension de service : le condensateur à gauche est un 5 μF et le 4^{ème} à gauche est un 15 μF ; le coté + est marqué par le signe + ou une marque rouge ou noire

Remarque importante : une partie de ce type de condensateur au tantale que l'on trouve dans les appareils des années 1980 / 1990 (même de grandes marques américaines, françaises, etc.) a été une véritable plaie. En effet, inséré dans les lignes d'alimentation (découplage) ou autres il se met en court-circuit entraînant dans le meilleur des cas l'entrée en fonction de la limitation d'intensité du courant et dans le cas le plus défavorable la réparation de l'alimentation complète. Ce phénomène arrivait souvent après une période d'inactivité. La tension de service était choisie trop près de la tension maximale du condensateur. La réparation consista à remplacer tous les condensateurs au tantale par des condensateurs électrolytiques à l'aluminium ou céramique MLCC. L'auteur est intervenu sur ce type de panne sur un multimètre, un fréquencesmètre, un générateur HF à tiroirs, etc ...



Boitier axial 100 μF 20 V MIL



boitier rectangulaire : capacité et tension indiquées sur le dessus ainsi que le coté +, le condensateur gauche = 33 μF .



Condensateur tantale au format CMS.
La connexion positive est indiquée par le trait marron.

Type de boîtier CMS	Dimensions en mm	Standard EIA
A	3.2 x 1.6 x 1.6	EIA 3216-18
B	3.5 x 2.8 x 1.9	EIA 3528-21
C	6.0 x 3.2 x 2.2	EIA 6032-28
D	7.3 x 4.3 x 2.4	EIA 7343-31
E	7.3 x 4.3 x 4.1	EIA 7343-43

IV.10 Le (super) condensateur de sauvegarde

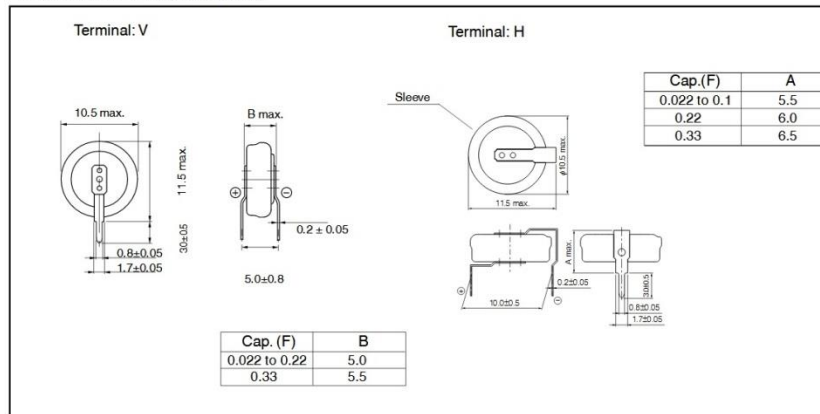
Le « super » condensateur ou condensateur de sauvegarde / stockage permet de conserver les données dans des mémoires (CMOS-RAM, ...) en cas de coupure de la tension d'alimentation. Ce type de mémoire nécessite une faible tension ($< 5V$) sous une intensité de courant faible pour conserver par exemple les paramètres d'un PC, d'un appareil de mesure etc. Ce « super » condensateur remplace avantageusement une pile et possède une capacité importante de l'ordre de 0,22 F à 1,5 F et une tension de service faible (en général 5.5V). Il se présente sous la forme d'un boîtier plat (comme une pile) dont une des 2 connexions repérée par une marque - est reliée au boîtier. Ce type de condensateur n'est pas polarisé (en général) même si son boîtier pourrait le laisser penser.



La tension de service des 4 « super » condensateurs est de 5,5V, le plus gros condensateur a une capacité de 1 μF alors que les 2 plus petits ont une capacité de 0,22 μF . Sur le condensateur à gauche une des 2 connexions est reliée au boîtier (de même pour les 3 autres), elle est repérée par une bande dorée avec des signes – ou une flèche.

Ci-dessous un extrait du catalogue Panasonic concernant le super condensateur Série SD gold Electric Double Layer Capacitors (Gold Capacitor)/ SD

■ Dimensions in mm (not to scale)

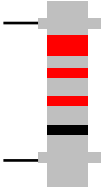
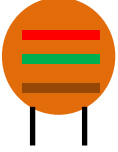
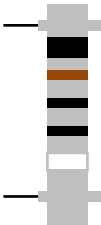




■ Standard Products

Maximum Operating Voltage (V.DC)	Capacitance (F)	Capacitance range (F)	Internal resistance (Ω) at 1kHz	Part number	Min. Packaging Q'ty (PCS)
5.5	0.022	0.0176 to 0.0396	≤ 150	EECS0HD 223()	200
	0.047	0.0376 to 0.0846	≤ 120	EECS0HD 473()	200
	0.10	0.080 to 0.180	≤ 75	EECS0HD 104()	200
	0.22	0.176 to 0.396	≤ 75	EECS0HD 224()	200
	0.33	0.264 to 0.594	≤ 75	EECS0HD 334()	200

IV.11 Le code des couleurs

Le code des couleurs du condensateur est identique à celui de la résistance à quelques nuances près (par exemple ajout de la tension de service). Il existe aussi d'autres présentations. La valeur des anciens condensateurs peut être notée en cm (1 cm = 1,1 pF).

 <p>← Chiffre significatif ← Chiffre significatif ← Multiplicateur ← Tolérance</p> <p>Condensateur cylindrique 4 anneaux</p>	 <p>← Multiplicateur ← Chiffre significatif ← Chiffre significatif</p> <p>Condensateur disque 1500 pF</p>
 <p>← Coeff. température ← Chiffre significatif ← Chiffre significatif ← Multiplicateur ← Tolérance</p> <p>Condensateur cylindrique 5 anneaux 100 pF</p>	 <p>← Chiffre significatif ← Chiffre significatif ← Multiplicateur ← Tolérance ← Tension service</p> <p>Condensateur polyester métallisé 680 000 pF 10% 250V</p>
 <p>1^{er} chiffre significatif = noir Multiplicateur = blanc 2^{ème} chiffre significatif = vert Tension</p> <p>1^{er} chiffre significatif = marron 2^{ème} chiffre significatif = vert Multiplicateur Tension = bleu</p> <p>Condensateur goutte tantale 5 μF et 15 μF</p>	

Mnémotechnique Initiale du mot = Initiale Couleur	Chiffres significatifs	Multiplicateur	Tolérance Et lettre correspondante	Coefficient. température	Tension de service	Tension de Service Tantale
Ne	Noir : 0	x 1		± 200 (U)		10 V
Mangez	Marron : 1	x 10	± 1 % (F)	± 100 (S)	100 V	
Rien	Rouge : 2	x 100	± 2 % (G)	± 50 (R)	250 V	
Ou	Orange : 3	1 k	± 3 % (x)	± 15 (P)		
Je	Jaune : 4	10 k	± 4 % (x)	± 25 (Q)	400 V	6,3 V
Vous	Vert : 5	100 k	± 5 % (D)	± 20 (Z)		16 V
Battrai	Bleu : 6	1 M	± 6 % (C)	± 10 (Z)	630 V	20 V
VIolement	Violet : 7	10 M	± 7 % (B)	± 5 (M)		
Grand	Gris : 8		± 8 % (A)	± 1 (K)		25 V
BOA ←	Blanc : 9		± 9 % (10%)			3 V
		Or : x 0,1	± 5 % (J)			
		Argent : x 0,01	± 10 % (K)			
			Sans ± 20 % (M)			
	Rose					35 V

IV.12 Le code de marquage

IV.12.1 Le code de marquage des condensateurs

Le code de marquage normalisé des condensateurs est donné ci-dessous :

Marquage	Capacité
p33	0,33 pF
3p3	3,3 pF
33p	33 pF
330p	330 pF
n33	330 pF
3n3	3,3 nF
33 n	33 nF
330n	330 nF
μ 33	0,33 μF
3 μ 3	3,3 μF
33 μ	33 μF

Tolérance : la tolérance est indiquée par une lettre (qui n'existe pas toujours)

Lettre code	Tolérance C < 10pf	Tolérance C > 10pf
B	± 0,1 pf	
C	± 0,25 pf	
D	± 0,5 pf	± 0,5 %
F	± 1 pf	± 1 %
G	± 2 pf	± 2 %
H		± 2,5 %
J		± 5 %
K		± 10 %
M		± 20 %
R		+30% -20%
S		+50% -20%
Z		+80% -20%

IV.13 La mesure des condensateurs

La mesure de la capacité d'un condensateur peut s'effectuer de manière directe ou indirecte. Il est possible d'utiliser un multimètre universel (analogique ou numérique), un pont RLC ou maintenant des testeurs de composants (à faible coût).

Pour les condensateurs de forte capacité ou haute tension, il est important au préalable décharger le condensateur.

Avec un multimètre analogique ou numérique

On peut mesurer un condensateur avec un multimètre :

- analogique par la méthode balistique, on évalue la déviation maximale de l'aiguille sur le galvanomètre lorsqu'on branche un condensateur entre les deux contacts du multimètre analogique. La fonction utilisée est l'ohmmètre et le calibre utilisé est celui mentionné au dos du couvercle en bas. Le fabricant indique une échelle de conversion entre la déviation de l'aiguille et la capacité du condensateur. Cette méthode ne donne qu'un ordre d'idée de la capacité. Ce multimètre permet aussi, lorsque qu'il est relié au secteur (220V 50 Hz), de mesurer la capacité de condensateurs de plus faible capacité (impédance du condensateur à une fréquence de 50Hz). En général sur ce type d'appareil généraliste on ne peut pas mesurer de faibles capacités.
- numérique : on met le multimètre sur la fonction capacimètre et le calibre de mesure adéquat. La lecture de la mesure s'effectue directement sur l'afficheur. En général sur ce type d'appareil généraliste on ne peut pas mesurer de faibles capacités.

Avec un capacimètre

La mesure peut être basée :

- sur la mesure de la fréquence de résonance d'un circuit bouchon formée par une bobine et une capacité connue sur laquelle on branche en parallèle le condensateur à mesurer. A la résonance on a $C = 1/L * \omega^2$. Ce type de mesure ne donne pas directement la valeur de la capacité, il faut faire le calcul manuellement ou grâce à un micro contrôleur intégré au capacimètre qui enverra la valeur directement sur un afficheur (voir sur Internet des montages radioamateur de ce type).
- sur la variation linéaire de la tension aux bornes du condensateur lorsqu'il est chargé par un courant constant (choisi de manière adéquat pour la mesure). Il suffit alors de mesurer

le temps mis pour que la tension atteigne une valeur déterminée On effectue alors la conversion.

$$\text{Formule} = Q = \text{charge du condensateur} = C * V$$

Si on effectue des variations par rapport au temps on a :

$$\frac{dQ}{dT} = I = C * \frac{dV}{dT} \text{ d'où si } I = \text{intensité du courant de charge est constante} = k$$

alors $dV = \frac{I * dT}{C}$ ainsi V varie linéairement en fonction du temps.

Avec un testeur de composants bas coût (acheté sur la toile pour < 20 euros)

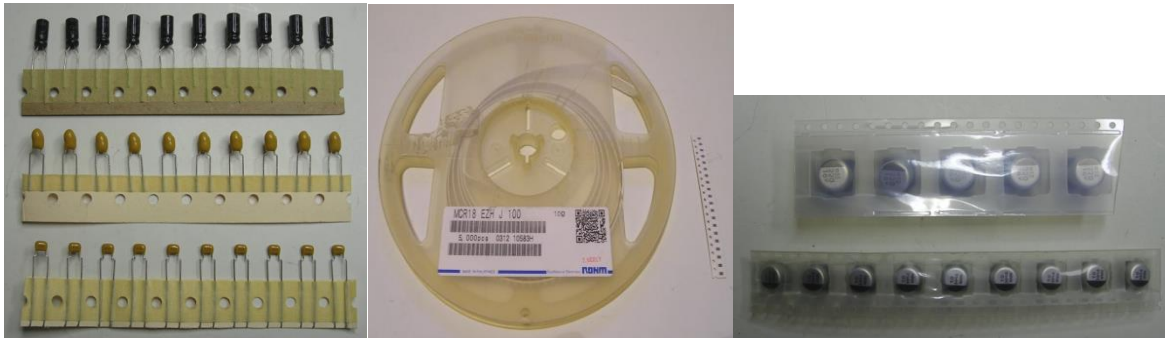
Ce testeur automatique de composants, d'un coût modique, est vraiment pratique, ergonomique et même pédagogique puisqu'il montre les caractéristiques principales et annexes des composants (parasites).

<p>Multimètre analogique La lecture s'effectue sur la fonction ohmmètre avec le calibre mentionné au dos du couvercle en bas.</p>	<p>Multimètre numérique Condensateur 1 nF 5% mica</p>	<p>Testeur de composants Condensateur 33uF 400V ESR = 0,64 Ω Perte 0,7%</p>
		

IV.14 L'évolution du conditionnement du condensateur

Au fur et à mesure des avancées technologiques et du montage des composants passant du mode manuel au mode à insertion automatique par des robots, le conditionnement des condensateurs a évolué dans le temps. Au début de l'électronique, les composants étaient chers et câblés à la main. Ils étaient livrés dans des conditionnements « presque » individuels.

Puis l'insertion/pose automatique des composants est arrivée obligeant les fabricants à fournir les condensateurs en bandes / rouleaux ou en bobine au format CMS.



Conditionnement en bandes

en bobine

au format CMS

IV.15 Ne pas confondre les composants

Parfois, il n'est pas évident visuellement de faire la différence entre les éléments physiques suivants résistance, condensateur, bobine et diode. D'où l'intérêt de faire des tests sommaires à l'aide d'un multimètre ou d'un testeur de composants avant insertion des composants dans un montage en cours d'élaboration ou d'identification sur un circuit commercial.

Au format classique		<p>Au format CMS et en général : la résistance est marquée, le condensateur n'est pas marqué et de couleur marron et la bobine est de couleur noire,</p>		
Bobines (selfs)				→
Condensateurs				→
Résistances	→			

V La diode (semi-conducteur)

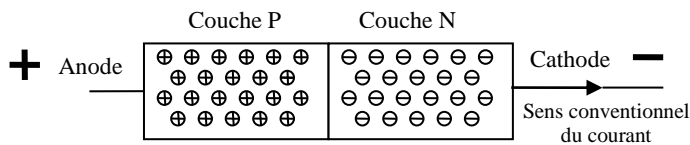
V.1 La diode – Généralités

La diode est un composant actif à semi-conducteur de type polarisé qui ne laisse passer le courant que dans un sens indiqué arbitrairement par une flèche. Les diodes sont formées de deux cristaux semi-conducteurs en Silicium ou en Germanium accolés et dopés N et P. Le courant électrique circule dans le sens P → N. Extérieurement le composant est muni de 2 connexions extérieures : l'anode et la cathode.

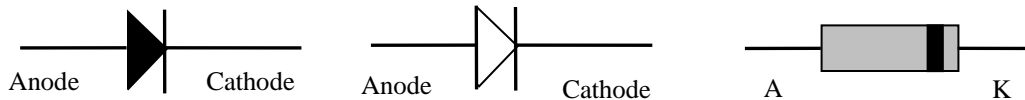
Lorsque la diode est passante, l'anode est reliée au + et la cathode au -. En sens inverse, la résistance de la diode est très importante (plusieurs centaines de kΩ). La cathode de la diode est repérée par la lettre K sur le dessin ci-dessous et en général par une bague de couleur sur le composant. Le boîtier métallique des diodes de puissance est en général relié à la cathode ; un pas de vis permet de fixer la diode sur un radiateur pour dissiper plus de puissance.

Il existe d'autres types de diodes ayant des propriétés (légèrement) différentes et d'usages particuliers, voir les chapitres ci-dessous.

Structure de la jonction d'une diode classique

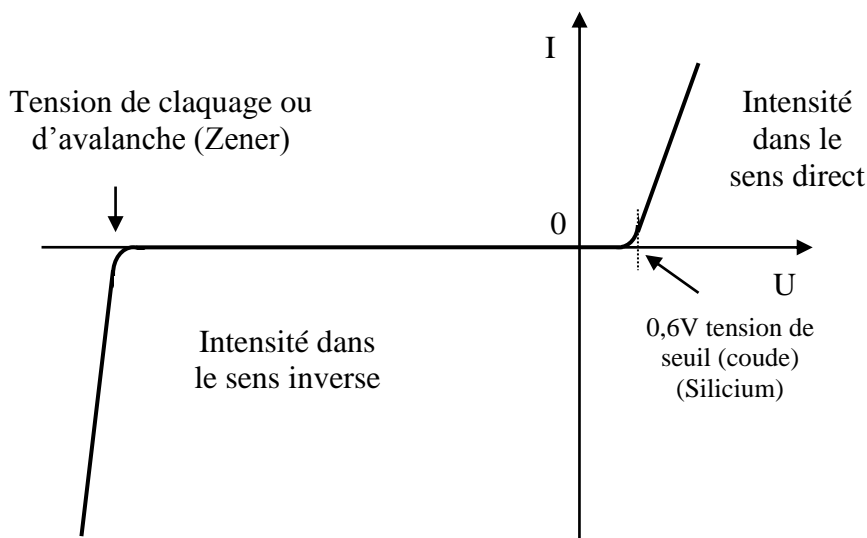


Représentation de la diode classique



V.2 Courbe et équation d'une diode « classique »

Courbe caractéristique intensité/tension d'une diode



Equation de l'intensité du courant traversant la diode en fonction de la tension

L'intensité du courant traversant la diode en fonction de la tension à ses bornes est donnée par l'équation suivante pour la partie centrale de la courbe (non compris l'effet zener/avalanche et la limitation de l'intensité pour les courants importants dans le sens direct).

$$I = I_s * \{ \exp[qV/kT] - 1 \}$$

Avec :

I_s = courant de saturation inverse,

exp = exponentiel à base $e = 2,718$

q = charge de l'électron = $1,6 * 10^{-19}$ C

V = tension aux bornes de la diode,

k = constante de Boltzmann = $k = 1,38 * 10^{-23}$ J/K

T = température absolue = - 273°C → température ambiante = 300° K

Ainsi pour une tension :

- inverse, le terme exponentiel devient rapidement négligeable et on atteint le courant de saturation inverse,
- directe le terme exponentiel devient prépondérant et la courbe prend une allure exponentielle.

Par contre, dès que la tension inverse dépasse un certain seuil le phénomène de claquage apparaît (zener/claquage). Et lorsque l'intensité est importante la courbe tension/courant n'est plus exponentielle mais devient une droite car la résistance dynamique R_d intervient.

L'équation ci-dessus montre que **l'intensité du courant** traversant la diode **est impactée par la température**. En effet pour une même tension, l'intensité du courant augmente en fonction de la température. On détermine un coefficient de température d'environ :

- -2,2 mV/°C pour les diodes silicium
- -2,5 mV/°C pour les diodes germanium.

Cette caractéristique est exploitée dans les sondes de température basée sur une diode.

Les diodes classiques ont une **chute de tension dans le sens direct de 0,6 à 0,7 V** pour les diodes au **Silicium** (Si) et **0,3 V** pour celles au **Germanium** (Ge). En sens direct, dès que la tension augmente au dessus du seuil (0,7 ou 0,3 V selon le cas), l'intensité dans la diode augmente très vite. En sens inverse, les diodes ont une résistance interne très élevée : plus la tension est élevée, plus leur barrière de potentiel, isolante (voir plus loin en italique), s'élargit et plus faible est la valeur de la capacité : c'est l'**effet Varicap**. Les diodes peuvent supporter des tensions inverses importantes jusqu'à leur tension de claquage ou d'avalanche (**tension Zener**). A ce moment, la résistance de la diode devient nulle. Cet état peut être réversible (diode Zener) ou irréversible (destruction ou claquage d'une diode de redressement).

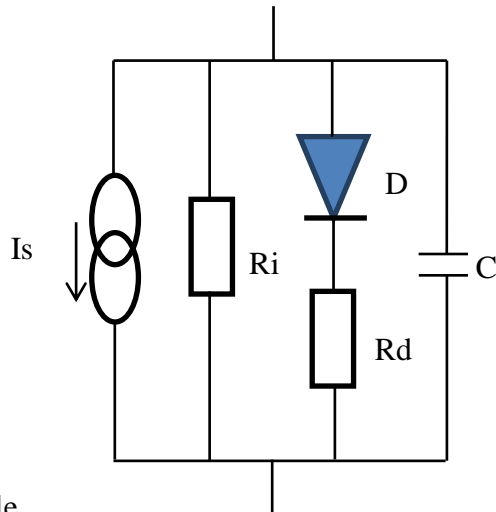
V.3 Les différents matériaux semi-conducteurs utilisés

Les matériaux semi-conducteurs les plus utilisés sont le germanium, très utilisé autrefois, et le silicium actuellement utilisé. Le dopage P ou N est effectué avec divers éléments : gallium ; indium, arsenic, etc. La technologie avançant d'autres éléments sont utilisés.

V.4 Le circuit équivalent d'une diode

Le schéma équivalent d'une diode est complexe et dépend des caractéristiques à faire ressortir suivant le domaine de fréquence : continu (sens direct, sens inverse), basse fréquence, haute fréquence et très haute fréquence et commutation.

Ci-dessous, un exemple de schéma équivalent :



D = diode idéale

Is = courant de saturation

Ri = résistance parallèle inverse (fuite)

Rd = résistance dans le sens direct

C = capacité de la jonction

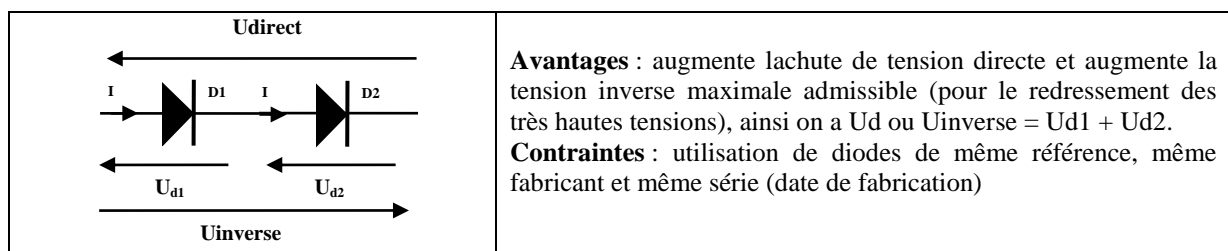
Ici les inductances des fils / connexions ne sont pas représentées.

V.5 Le groupement de diodes

Dans certains cas il peut être intéressant de recourir à des groupements de diodes.

Le groupement série

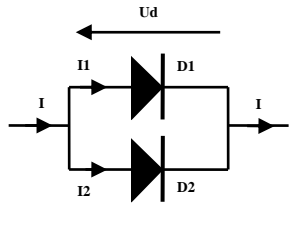
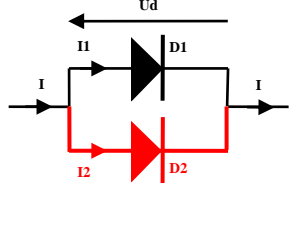
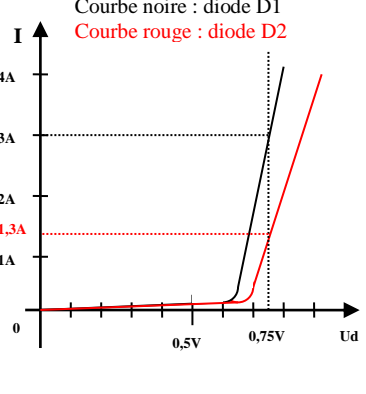
Ce type de groupement de diodes est utilisé pour le redressement de très hautes tensions en augmentant la tension inverse supportée par l'ensemble (en respectant certaines contraintes) et la tension directe dans certains cas de stabilisations de tensions.



Le groupement parallèle

Ce type de groupement de diodes est utilisé pour augmenter l'intensité du courant redressé en minimisant la chute de tension dans les diodes (quelques dixièmes de millivolts en moins) et pour répartir la chaleur dissipée dans les composants. Ce type de groupement est utilisé par quelques fabricants d'alimentation de puissance de postes CB et radioamateur (la tension d'alimentation = 13,8V et l'intensité du courant 10A à 20A).

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

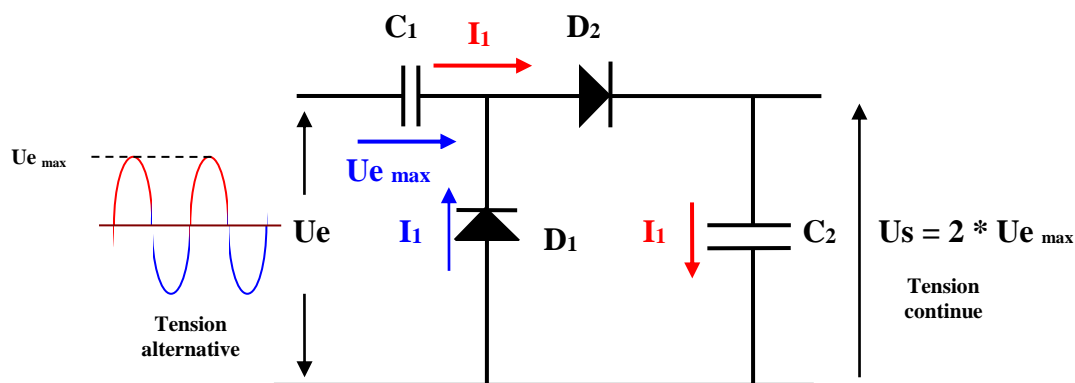
	<p>Avantages : augmente le courant redressé ($I = I_1 + I_2$) et minimise la chute de tension dans les diodes (qq 10 mv), économise une diode de puissance, répartit la chaleur dégagée par les diodes.</p> <p>Contraintes : utilisation de diodes de même référence, même fabricant et même série (date de fabrication).</p>	
	<p>Si les diodes ont des caractéristiques différentes (références différentes). Alors, le courant I_1 dans la diode D1 est différent du courant I_2 dans la diode D2. Voir l'explication sur le graphe ci-contre → :</p> <p>la chute de tension aux bornes des diodes est $U_d = 0,75V$, et le courant I_1 dans la diode noire est $I_1 = 3A$ et le courant I_2 dans la diode rouge $I_2 = 1,3A$, soit un déséquilibre de la répartition des courants dans les 2 diodes.</p>	 <p>Courbe noire : diode D1 Courbe rouge : diode D2</p>

Le doubleur de Schenkelet de Latour (ingénieur Français)

Ce type de groupement de diodes fournit une tension de sortie continue du double de la tension alternative d'entrée. L'intensité fournie est peu élevée.

Doubleur de Schenkel :

Principe de fonctionnement : pendant l'alternance négative ($U_e < 0V$, bleue sur le schéma), le condensateur C_1 se charge à travers la diode D_1 tandis que D_2 est bloquée, isolant C_2 . Pendant l'alternance positive ($U_e > 0$, rouge sur le schéma) D_1 est bloquée et D_2 est passante. Le condensateur C_2 se charge alors à la tension $U_e + U_{c1}$ (mise en série de la tension U_e d'entrée et de la tension du condensateur U_{c1} fournie lors de l'alternance négative).



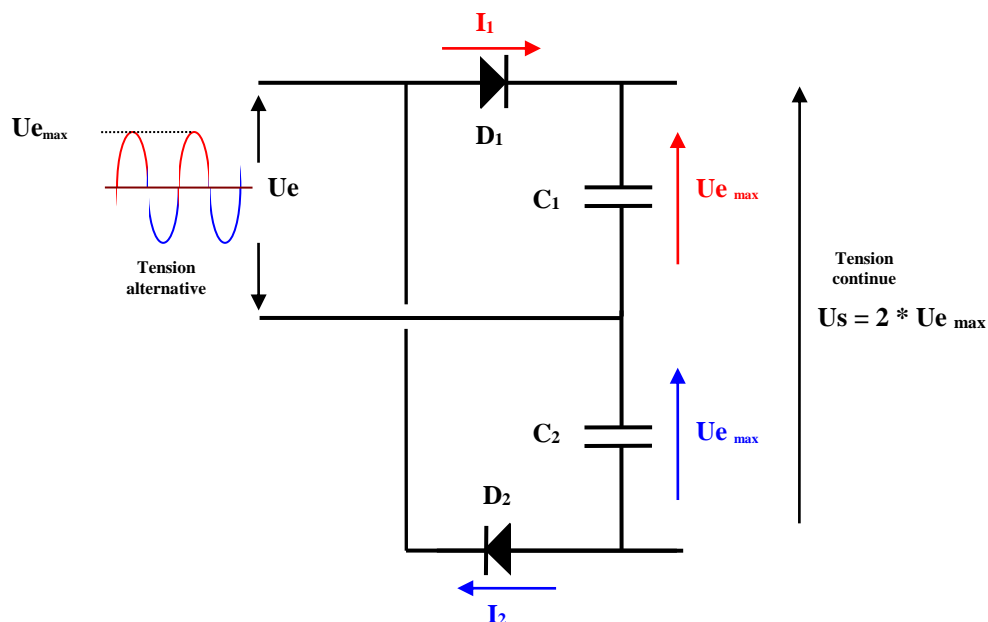
La tension de sortie U_s est comprise entre $2 U_e$ et $2,8U_e$ en fonction du courant fourni en sortie. La tension inverse de D_1 doit être supérieure à 3 fois celle de U_e et celle du condensateur C_1 à 1,5 fois U_e .

La capacité du condensateur C (μF) = $\frac{100 * I_s \text{ (mA)}}{U_1 \text{ (Volt)}}$ I_s = intensité du courant de sortie.

Ce type de montage peut être utilisé pour redresser la tension fournie par un étage de Fréquence intermédiaire (FI) et en extraire la modulation AM ou pour fournir une tension plus élevée que celle disponible dans l'appareil (ex : dans un récepteur radio la tension d'alimentation est de 13,8V et la tension doublée ($\approx 26V$) est utilisée pour alimenter les diodes Varicap de l'oscillateur local ou autre.

Doubleur de Latour

Le doubleur de Latour est analogue dans le principe au doubleur de Shenkel. Chaque alternance charge respectivement un des 2 condensateurs, ce qui donne une tension de sortie double aux bornes des 2 condensateurs montés en série.



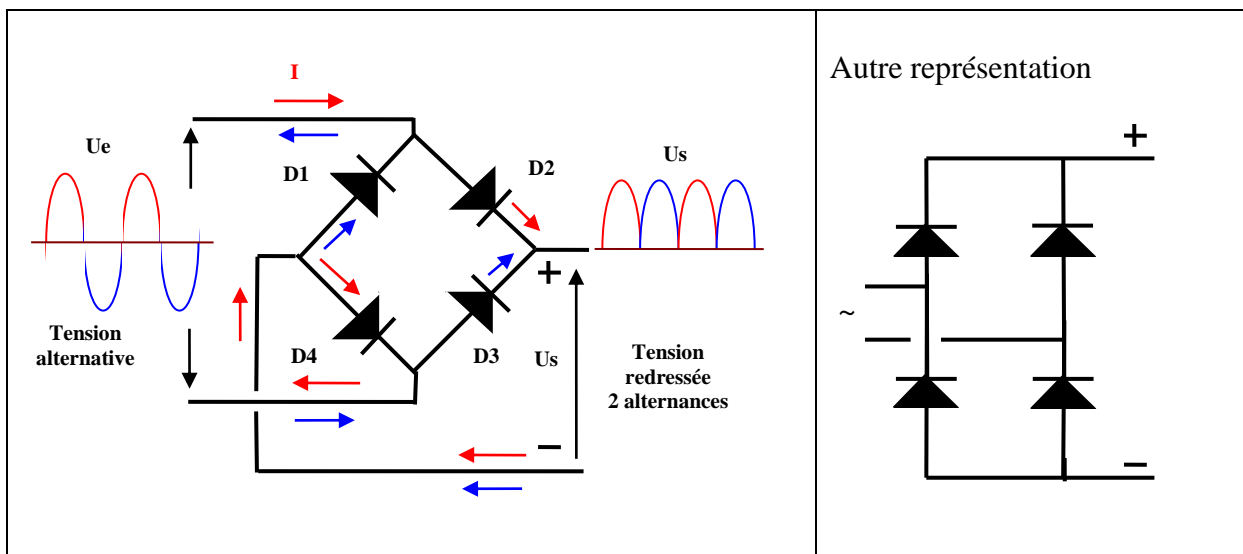
Remarque : ce type de groupement peut être monté en série et répété dans le cadre d'un multiplicateur de tension pour obtenir une très haute tension (plusieurs Kilo volts) mais il faut

apporter un soin particulier aux choix des condensateurs et à l'isolement des diodes utilisées quand à la tension inverse ou directe supportée.

Le pont de Graëtz

Ce type de groupement de diodes permet de redresser les 2 alternances d'une tension alternatif d'entrée. Ce dispositif nécessite l'emploi de 4 diodes ou d'un pont de diodes (les 4 diodes sont alors encapsulées dans un unique boîtier, voir le chapitre sur les ponts de diodes). Les diodes conduisent 2 par 2 en diagonales suivant la polarité de la tension. La tension inverse maximale appliquée à une diode est égale à $U_e \text{ efficace} * \sqrt{2} = 1,414 U_e \text{ efficace}$.

Inconvénients : la tension redressée de sortie est diminuée de 2 fois la chute de tension d'une diode (le courant traverse à chaque alternance les 2 diodes).



Le mélangeur en anneau (exemple SBL1 du fabricant Minicircuits)

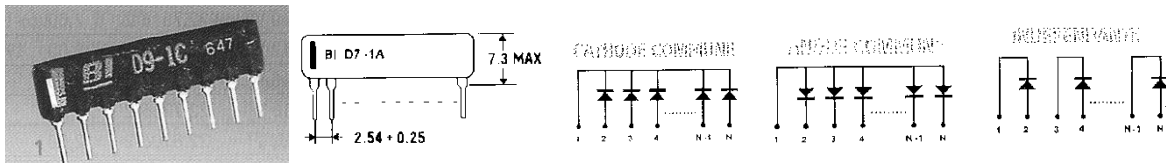
		<p>Double balanced mixer LO/RF, 1-500 MHz IF, DC-500 MHz +7dbm LO 8 pin package</p>	<p>Connexions</p> <table border="0"> <tr> <td>LO</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>RF</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>IF</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>GND</td> <td>2,5,6,7</td> </tr> </table>	LO	8	RF	1	IF	3,4	GND	2,5,6,7
LO	8										
RF	1										
IF	3,4										
GND	2,5,6,7										

Les diodes sont montées dans le même sens (à la différence du pont de Graëtz). Elles effectuent un mélange de la fréquence d'entrée (par exemple d'un récepteur Radio) sur la connexion marquée R(F) et la fréquence d'un oscillateur local (par exemple variable) sur la connexion marquée L(O) pour obtenir en sortie la somme des 2 fréquences ou leur différence qui après filtrage sert de fréquence intermédiaire sur la connexion marquée I(F).

Le réseau de diodes

Ce type de composant est utilisé pour un gain de place et aussi pour avoir des diodes ayant à peu près les mêmes caractéristiques et à la même température puisqu'elles sont fabriquées en même temps sur le même substrat. Il existe 3 types de réseaux de diodes :

- anode commune : les anodes des diodes, composant le réseau, sont reliées entre elles à une connexion extérieure,
- cathode commune : les cathodes des diodes, composant le réseau, sont reliées entre elles à une connexion extérieure,
- indépendante : l'anode et la cathode de chaque diode sont reliées à des connexions externes.

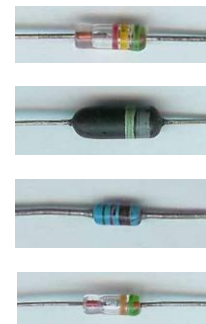
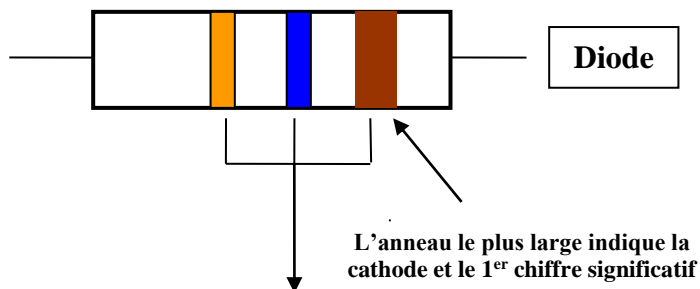


Documentation Beckman Industry

V.6 Le marquage de la diode

V.6.1 Le code des couleurs

La référence de certaines diodes (surtout anciennes) est indiquée par le code des couleurs et en général par trois anneaux suivant le code standard des couleurs.



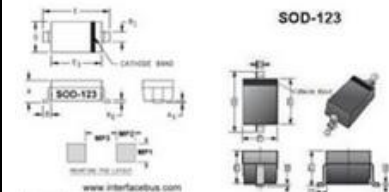
Chiffres significatifs	Mnémotechnique Initiale du mot = Initiale Couleur
Noir : 0	Ne
Marron : 1	Mangez
Rouge : 2	Rien
Orange : 3	Ou
Jaune : 4	Je
Vert : 5	Vous
Bleu : 6	Battrai
Violet : 7	VIOlement
Gris : 8	Grand

Exemples :

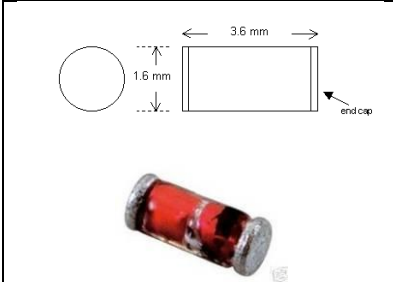
1. la diode (3 anneaux → 3 chiffres significatifs (marron = 1, bleu = 6, orange = 3) soit la référence **1N63** (diode germanium à pointe $U_{inverse} = 125V$, $I_{direct\ max} = 50\ ma$, ...),
2. autre exemple : (3 anneaux → 3 chiffres significatifs (jaune = 4, bleu = 6, marron = 1) soit **461P1** (diode germanium à pointe détection FM).

V.6.2 Le marquage des diodes CMS avec un seul anneau de couleur

Boitier SOD-123 : l'anneau en couleur indique la cathode et la référence :

	Rouge	BA620, BB620
	Jaune	BA619, BB619
	Vert	BA585
	Bleu	BA582, 583, 584
	Blanc	BA512, 515, BB515, 811

Boitier SOD-80 (ressemble à une minimelf (cylindrique)) : l'anneau de couleur indique la cathode et la référence :

	Noir	BAS32, BAS45, BAV105 LL4148, 50, 51,53, LL4448, BB241, BB249
	Brun noir	LL4148, LL914
	Orange noir	LL4150, BB219
	Vert brun	LL300
	Brun noir	LL4448
	Rouge	BA682
	Orange rouge	BA683
	Rouge vert	BA423L
	Rouge blanc	LL600
	Orange jaune	LL3595
	Jaune	BZV55, BZV80, BZV81 series zeners
	Vert	BAV105, BB240
	Vert noir	BAV100
	Vert brun	BAV101
	Vert rouge	BAV102
	Vert Orange	BAV103
	Gris	BAS81, 82, 83, 85, 86
Blanc	BB219	
Blanc vert	BB215	

V.6.3 Le marquage en clair

Le marquage normes US, .. :

En général, la référence est indiquée en clair sur le corps des composants traditionnels (non CMS). Sur les composants CMS, c'est plus compliqué du fait du manque de place pour mentionner la référence complète.

La référence d'une diode commence par 1N ; exemples : 1N914, 1N4004, 1N4148.

La référence d'un transistor commence par 2N ; exemples : 2N1711, 2N2905, 2N3055

La référence d'un transistor Fet 2 portes commence par 3N, exemple : 3N200, 3N202.

Le marquage normes ProElectron (Extrait du guide de l'ingénieur 1972 (documentation RTC))

Le code de désignation des dispositifs à semi-conducteurs s'applique aux composants comportant ou non une jonction et aux dispositifs multiples définis comme étant constitué par une combinaison d'éléments actifs semblables ou dissemblables incorporés dans une enveloppe commune qui ne peut être démontée, les électrodes de chaque élément étant accessibles de l'extérieur. Ce code s'applique en partie aux diodes.

La désignation consiste en 2 lettres suivies d'un code d'ordre.

Exemple :

A A 118

Première lettre Elle permet une distinction entre les dispositifs à jonction et sans jonction, et donne une indication relative au matériau	Seconde lettre Elle indique en premier lieu l'application principale et éventuellement l'application principale plus une indication relative à la fabrication lorsque celle-ci est nécessaire.	Code d'ordre
<p>Dispositifs à jonction</p> <p>A Dispositifs à une ou plusieurs jonctions, réalisés avec un matériau dont la bande interdite correspond à un niveau d'énergie compris entre 0,6 et 1 eV, par exemple le germanium</p> <p>B Dispositifs à une ou plusieurs jonctions réalisés avec un matériau dont la bande interdite correspond à un niveau d'énergie allant de 1 à 1,3 eV, par exemple le silicium</p> <p>C Dispositifs à une ou plusieurs jonctions réalisés avec un matériau dont la bande interdite correspond à un niveau d'énergie supérieur à 1,3 eV, l'arséniure de gallium par exemple</p> <p>D Dispositifs à une ou plusieurs jonctions réalisés avec un matériau dont la bande interdite correspond à un niveau d'énergie inférieur à 0,6 eV, tel que l'antimoniure d'indium.</p> <p>Dispositifs sans jonction</p> <p>R Dispositifs sans jonction réalisés avec des matériaux tels que ceux que l'on emploie dans les générateurs à effet Hall ou les cellules photo-conductrices</p>	<p>A Diode de détection, diode mélangeuse ou diode de commutation rapide</p> <p>B Diode à variation de capacité</p> <p>C Transistor pour audiofréquences (résistance thermique entre jonction et fond de boîtier supérieure à 15 °C/W)</p> <p>D Transistor de puissance pour audiofréquences (résistance thermique entre jonction et fond de boîtier inférieure ou égale à 15 °C/W)</p> <p>E Diode tunnel</p> <p>F Transistor pour radiofréquences (résistance thermique entre jonction et fond de boîtier supérieure à 15°C/W)</p> <p>G Dispositifs multiples composés d'éléments dissemblables</p> <p>H Mesureur de champ</p> <p>K Générateur à effet Hall en circuit magnétique ouvert, ex. sonde de mesure magnétomètre</p> <p>L Transistor de puissance pour radiofréquences (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier inférieure ou égale à 15 °C/W)</p> <p>M Générateur à effet Hall opérant en circuit magnétique fermé électriquement entretenu, ex. : modulateur ou multiplicateur de Hall.</p> <p>P Dispositif sensible aux radiations</p> <p>Q Dispositif générateur de radiations,</p> <p>R Dispositif à déclenchement électrique présentant une caractéristique d'avalanche et destiné aux applications de commutation, ou de contrôle d'énergie (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier supérieure à 15°C/W)</p> <p>S Transistor destiné aux applications de commutation (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier supérieure à 15 °C/W)</p> <p>T Dispositif à déclenchement par signal électrique ou lumineux présentant une caractéristique d'avalanche et destiné aux applications de commutation ou de contrôle d'énergie (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier inférieure ou égale à 15 °C/W) (1)</p> <p>U Transistor de puissance destiné aux applications de commutation (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier inférieure ou égale à 15 °C/W)</p> <p>X Diode pour multiplicateur, par exemple varactor ou "step recovery diode"</p> <p>Y Diode de redressement "booster diode", "efficiency diode" ('j)</p> <p>Z Diode régulatrice de tension ou diode de référence (1)</p>	<p>Trois chiffres pour les dispositifs semi-conducteurs destinés plus particulièrement aux applications dans le domaine grand public. Une lettre et deux chiffres pour les dispositifs semi-conducteurs destinés plus particulièrement aux équipements professionnels.</p>

(1) : Pour la désignation de type dans une gamme de dispositif donnée, voir page suivante.

Désignation de type d'une gamme de dispositifs à semi-conducteurs

Ces désignations concernent

(a) Les diodes régulatrices de tension ou les diodes de référence (seconde lettre Z)

(b) Les diodes de redressement (seconde lettre Y)

(c) Les thyristors (seconde lettre T)

Chacun des types appartenant respectivement à une gamme ou type de base désigné par le code précédent, sera défini à l'aide d'un suffixe séparé de la désignation de gamme à l'aide d'un tiret.

Exemple et explication

Premier cas

BZY 99 – C4V7R

Désignation du type de base	Lettre indiquant la tolérance sur la tension de Zener	Valeur typique de la tension de Zener en volts	Polarité
D'après le code défini à la page précédente.	A 1 % B 2 % C 5 % D 10% E 15%	La valeur typique de la tension de Zener est donnée pour le courant nominal choisi pour toute la gamme. La lettre V est employée en lieu et place de la virgule chaque fois que celle-ci serait nécessaire.	La polarité dite normale, c'est-à-dire lorsque la cathode est reliée au boîtier, n'est pas spécialement indiquée. Dans le cas de polarité inverse, c'est-à-dire lorsque l'anode est reliée au boîtier, on spécifie la lettre R.

Deuxième et troisième cas

BTY 99 – 100R

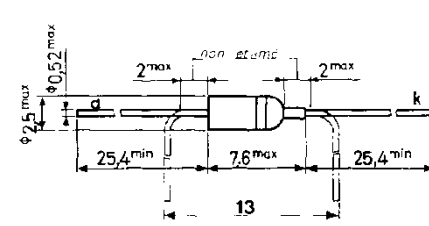
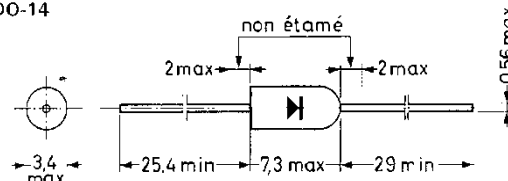
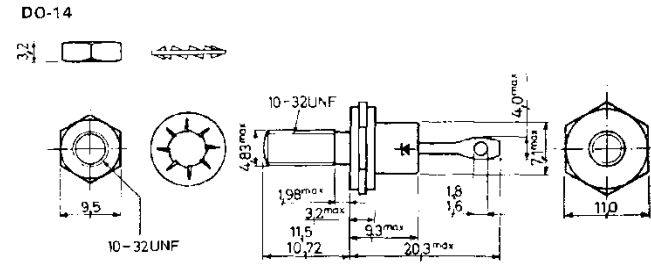
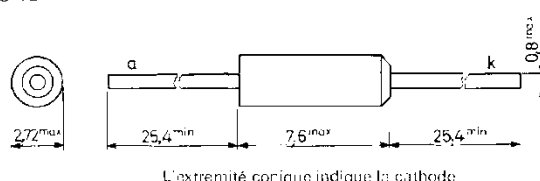

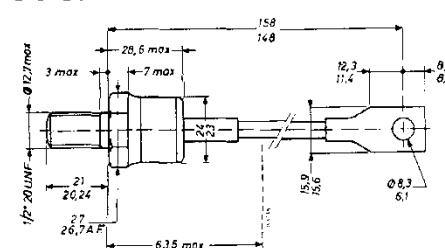
BYY 99 – 100R

Désignation du type de base	Valeur maximale de tension inverse de crête récurrente exprimée en volts	Polarité
D'après le code défini à la page précédente.	Dans le cas des thyristors, il s'agit de la valeur maximale de tension inverse de crête récurrente, ou de la valeur maximale de la tension de crête récurrente applicable entre anode et cathode à l'état bloqué on exprime la plus faible de ces deux valeurs.	La polarité dite normale, c'est-à-dire lorsque la cathode est reliée au boîtier n'est pas spécialement indiquée. Dans le cas de polarité inverse, c'est-à-dire lorsque l'anode est reliée au boîtier, on spécifie la lettre R.

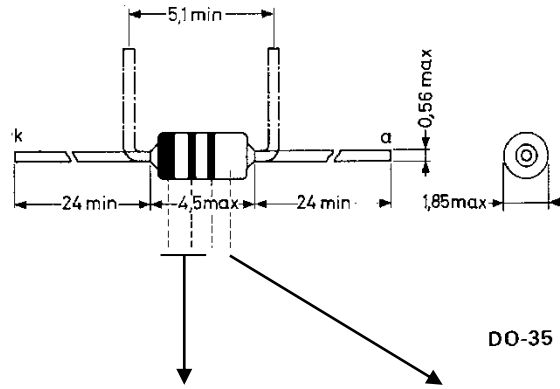
V.7 Les différents boîtiers

Ce chapitre apporte des précisions concernant les différents boîtiers pour les diodes en mentionnant leurs dimensions et donne un exemple de référence. Le tableau n'est pas exhaustif.

Référence du boîtier	Exemple	Boîtier
DO - 1		<p>DO 1</p> <p>DO-1</p>
DO - 4 (1)		<p>DO-4 (1)</p>
DO - 4 (2)		<p>DO-4 (2)</p>
DO - 5		<p>DO-5</p> <p>DO-5</p>

DO - 7		<p>DO-7</p> 
DO - 14		<p>DO-14</p> 
DO - 14		<p>DO-14</p> 
DO - 15		<p>DO-15</p>  <p>L'extrémité conique indique la cathode</p>
DO - 23		
DO - 30		<p>DO-30</p> 

DO - 35

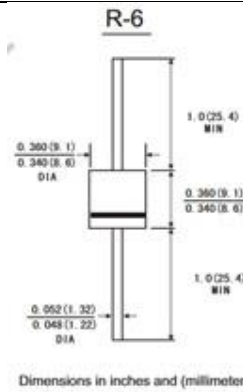


DO-35

1 ^{er} , 2 ^{ème} , 3 ^{ème} chiffre du n° de type		* couleur du corps			
0	noir	5	vert	BA	beige
1	marron	6	bleu	BAV	vert clair
2	rouge	7	violet	BAW	bleu clair
3	orange	8	gris	BAX	noir
4	jaune	9	blanc		

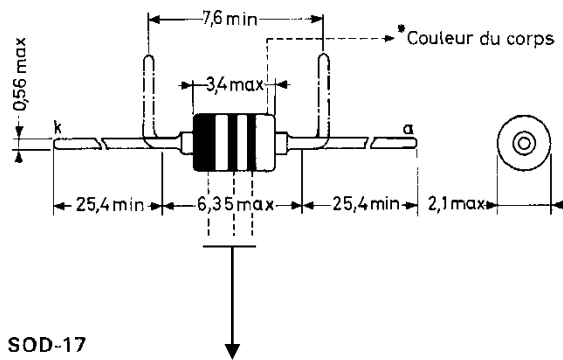
La cathode est repérée par l'anneau large

R-6



Dimensions in inches and (millimeters)

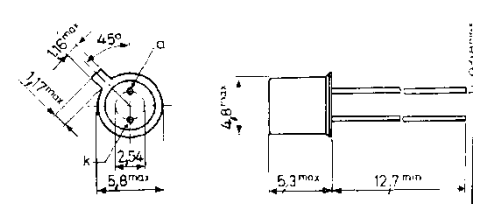
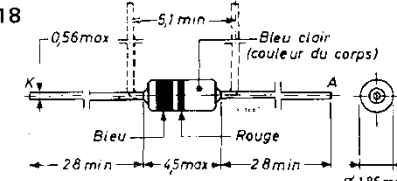


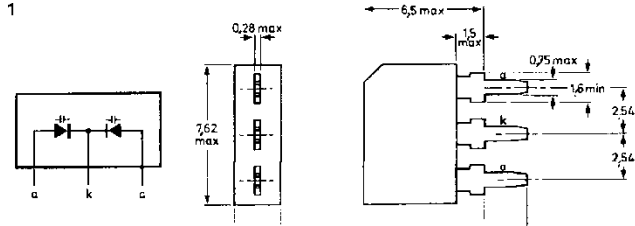
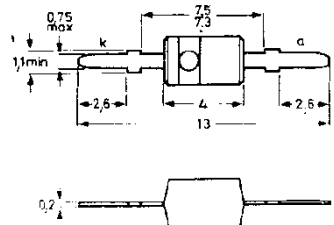
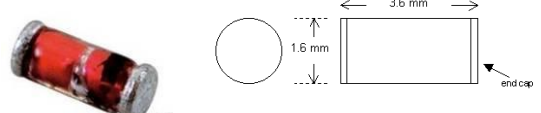
SOD - 17

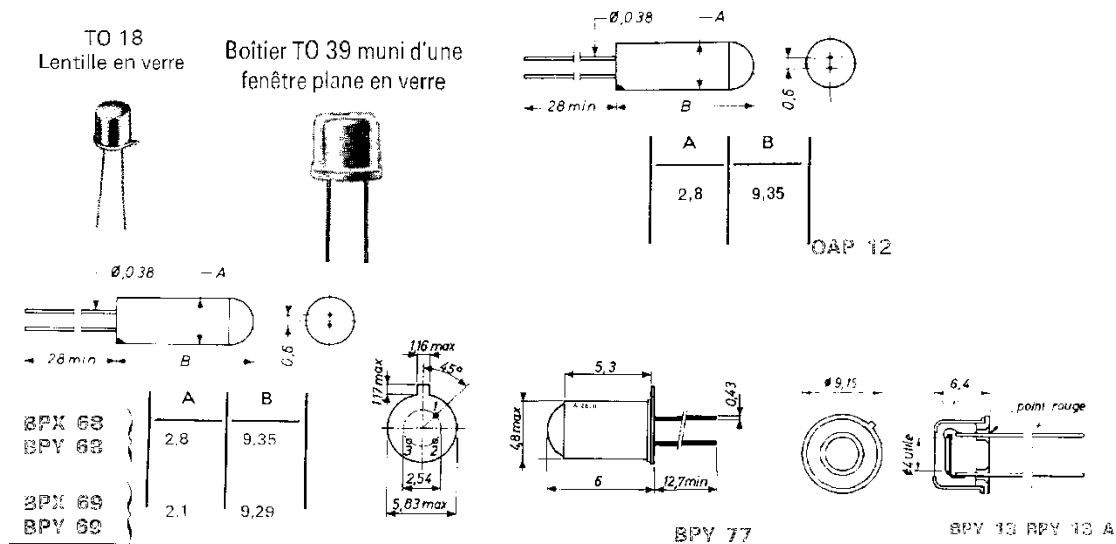


SOD-17

1 ^{er} , 2 ^{ème} , 3 ^{ème} chiffre du n° de type		* Couleur du corps	
0	noir	5	vert
1	marron	6	bleu
2	rouge	7	violet
3	orange	8	gris
4	jaune	9	blanc

La cathode est repérée par l'anneau large

SOD – 35		<p style="text-align: center;">SOD-35</p> 
		<p>TO-18</p>  <p>Bleu clair (couleur du corps)</p> <p>Bleu Rouge</p> <p>Bande de couleur selon le Code I. E. A.</p>
SOD21		<p>SOD 21 Lentille en verre</p> 
SOD24		<p>SOD 24 Lentille en verre</p> 
		<p>1</p> 
		 <p>La bande blanche indique la cathode.</p>
SOD-80	Minimelf	



V.8 La diode de redressement

V.8.1 Diode de redressement secteur

La diode de redressement de la tension du secteur (fréquence 50Hz) est utilisée dans les alimentations à basse de transformateur secteur ou à mettre en parallèle sur la bobine d'un relais.

Pour augmenter la puissance dissipée il est possible de laisser les fils de connexion un peu plus longs (quand ils existent).

Les diodes de redressement les plus connues sont la série 1N4001 à 1N4007 pour des courants d'intensité maximale de 1A et la série 1N5400 à 1N5408 pour des courants d'intensité maximale de 3A



Caractéristiques maximales de la série 1N4001 - 4007:

I_0 : courant moyen redressé : 1A

If (de pointe) : courant direct de pointe : 30 A pendant une demi alternance (10 ms \approx 8,3ms)

Pd : puissance totale dissipée : 6.25 W

Tension de crête inverse maximale admissible :

1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007
50V	100V	200V	400V	600V	800V	1000V



Caractéristiques maximales de la série 1N5400 :

I_0 : courant moyen redressé : 3A

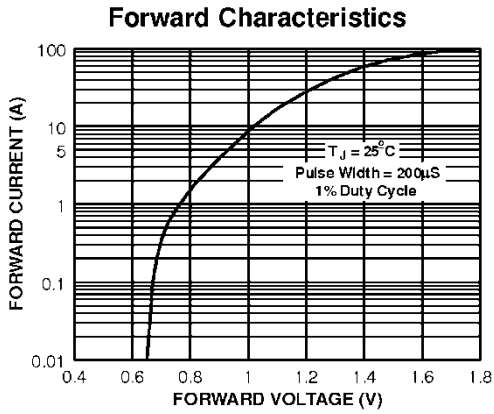
If (de pointe) : courant direct de pointe : 200 A pendant une demi alternance (10 ms \approx 8,3ms)

Pd : puissance totale dissipée : 6.25 W

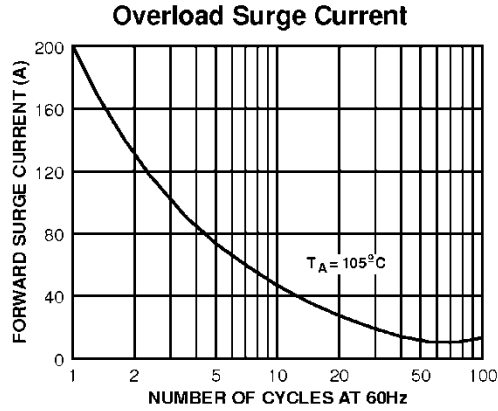
Tension de crête inverse maximale admissible :

1N5400	1N5401	1N5402	1N5403	1N5404	1N5405	1N5406	1N5407	1N5408
50V	100V	200V	300V	400V	500V	600V	800V	1000V

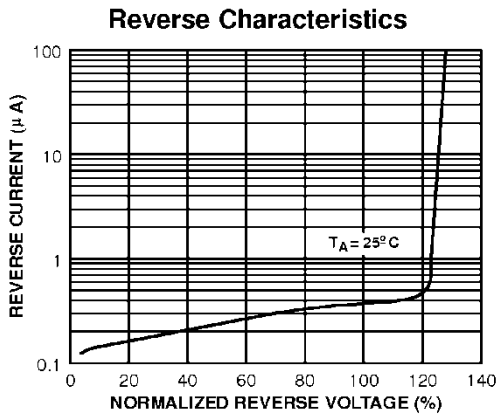
Courbes caractéristiques de la série 1N5400



Courant direct en fonction de la tension



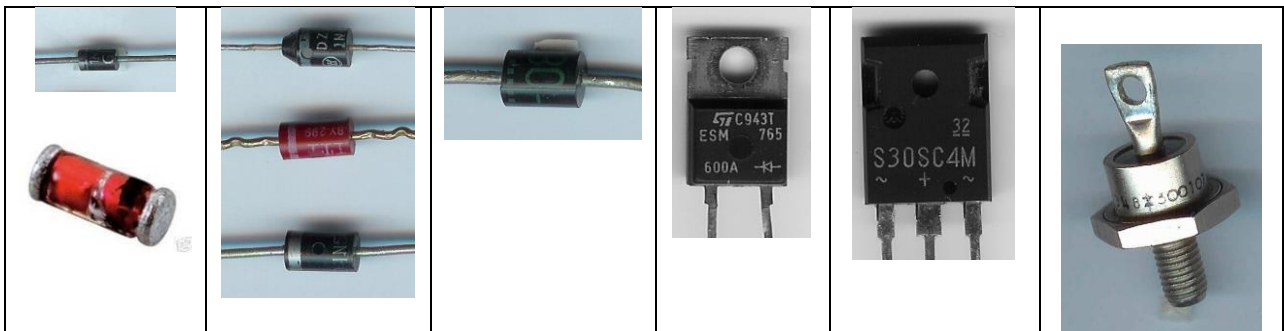
Courant direct de pointe en fonction de la fréquence







Le courant inverse est très faible et fonction de la tension, l'intensité est exprimée en μA (micro-ampères).

Pour une intensité, plus importante (5A à 100A), la diode est intégrée dans un boîtier permettant d'évacuer plus facilement la chaleur produite en la montant sur un radiateur (dissipateur thermique) : Boîtier DO220 TO220 ou boîtier métallique muni d'un pas de vis (+ boulon) DO4 ou DO5.

Différents boîtiers



					
Boitier DO-41 Et minimelf	Boitier DO-41	Boitier Boitier MR745	TO-220 diode simple et double	TO diode double	DO4 et DO5 Cathode ou anode reliée au pas de vis

V.8.2 Diode de redressement haute tension

Ce type de diode est utilisé pour le redressement de la haute tension dans des dispositifs nécessitant une haute tension de l'ordre de quelques Kilovolts à plusieurs dizaines de kilovolts(ou même centaine). On la rencontre par exemple dans les appareils utilisant un tube cathodique comme le téléviseur et l'oscilloscope ; la très haute tension (THT) est de l'ordre de 10KV à 20KV avec une intensité très faible de l'ordre de quelques micro-ampères (μA).

Exemple de diode THT

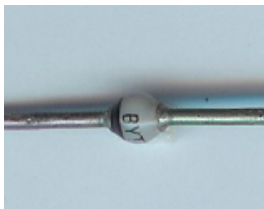


V.8.3 Diode de redressement d'alimentation à découpage

Ce type de diode est utilisé dans les alimentations à découpage. Elle redresse des tensions qui sont comprises entre quelques volts et quelques centaines (ou mêmes milliers de volts) à des fréquences de quelques dizaines de Hertz jusqu'à mégahertz dans les alimentations à découpage récentes ayant un rendement important. La fréquence est un des éléments déterminants du choix de la diode et du temps de recouvrement de quelques dizaines de nanosecondes ($T_{rr} \approx 35\text{ns}$). Il ne faut surtout pas remplacer une diode d'alimentation à découpage par une diode de redressement secteur : ce qui provoquerait des dysfonctionnements, un mauvais rendement ou pire la destruction de l'alimentation.

En général, on emploie des diodes de type schottky.

Exemple de diodes : simple et double



V.8.4 Diode de redressement de signaux hautes fréquences

Exemples de diodes de redressement hautes fréquences anciennes au Germanium



V.8.5 Diode de redressement Hyperfréquence

V.9 La diode de commutation

La diode de commutation ou de redressement rapide faible courant et d'utilisation générale est caractérisée par une capacité de diffusion faible autorisant des fréquences de travail élevées.

Caractéristiques d'une diode de commutation rapide très utilisée : 1N4148

Valeurs maximales :

VRRM : tension inverse de crête répétitive : 100 V

VR : tension inverse continue : 100 V

IF : 200 mA

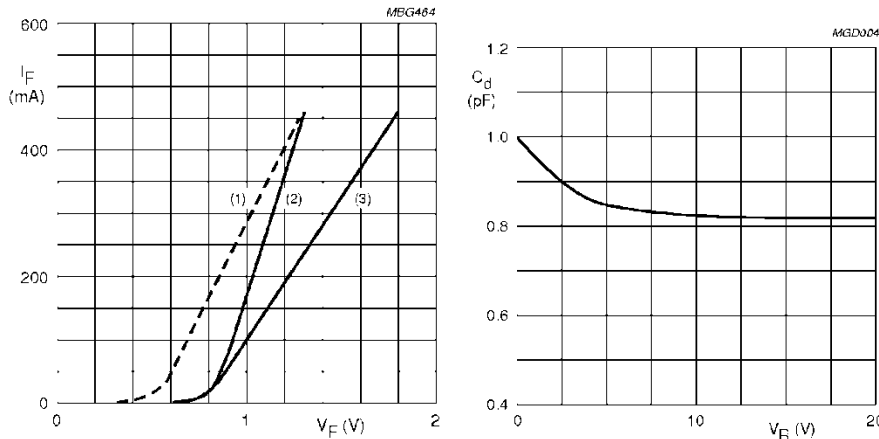
IFRM : courant direct de crête continu répétitif: 450 mA

IFSM : courant direct de crête continu non répétitif (onde carrée)

$t = 1 / -1s - 4 A$, $t = 1 ms - 1 A$, $t = 1 s - 0.5 A$

Ptot : puissance total dissipée à la température ambiante $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 500 mW

Exemples de courbes caractéristiques de la diode 1N4148 (doc Philips)



Courant direct en fonction de la tension Capacité de la diode en fonction de la tension
 T° jonction (1) : 175°, (2) : 25°typique, (3) 25° maxi

V.10 La diode électroluminescente DEL (LED)

La diode électroluminescente ou DEL (LED en Anglais (Light Emitting Diode)) est une diode dopée spécialement pour qu'elle émette un rayonnement de lumière visible ou non lorsqu'elle est traversée par un courant dans le sens direct.

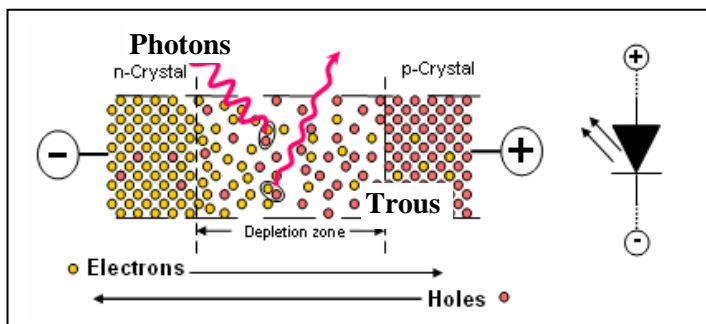
La tension directe d'environ 1,2V à 4,5V dépend des matériaux utilisés (couleur).

Elle se présente sous divers boîtiers (rond, triangulaire, rectangulaire ou CMS ou Bar-Graph, afficheurs 7 segments), dimensions (1mm, 3mm, 5mm, 10mm), couleurs et intensité de l'émission de lumière.

Remarque : la tension inverse que peut supporter une DEL est très faible, quelques volts (en général environ 5V ...).

Schéma théorique d'une diode DEL et sa représentation

L'émission de photons du rayonnement est due à la recombinaison d'une paire électron-trou dans la zone de déplétion.



Extrait de la documentation National Semiconductor









Caractéristiques d'une diode électroluminescente DEL :

- Couleur (longueur d'ondes en nano mètre),
- Taille et forme du boîtier : 1mm, 3mm, 5mm, ronde, triangulaire, rectangulaire, etc.
- Intensité lumineuse exprimée en milli candela (mcd),
- Angle de diffusion / éclairage,
- Tension de seuil et intensité du courant,
- Boîtier et brochage : 2 connexions ; en général la connexion la plus longue est l'anode.

La tension de seuil de la diode DEL

C'est la tension à partir de laquelle la diode DEL émet des photons de lumière visible ou non (infrarouge et ultraviolet). La tension dans le sens direct dépend du courant qui la traverse.

Dans le cas des DEL blanches, appelées à remplacer les ampoules d'éclairage à incandescences, le courant est proche de l'ampère et ce type de diode est montée sur un radiateur pour évacuer la chaleur.

Couleur		Longueur d'onde (en nm)	Tension de seuil
Blanc			3,5V
Infrarouge		>760	< 1,6V
Rouge		610 - 760	1,6V à 1,9V
Orange		590 - 610	1,8V à 2,2V
Jaune		570 - 590	2,0V à 2,4V
Vert		500 - 570	2,2V à 2,7V
Bleu		450 - 500	2,6V à 3,3V
Violet		400 - 450	2,7V à 3,6V
Ultraviolet		230 - 400	3,1V à 4,2

Divers boîtiers et couleurs 1 mm, 3 mm, 5mm, 10 mm,



Led Bicolore (vert, rouge) : 3 connexions (# 2 Del) ou 2 connexions (inversion de courant)




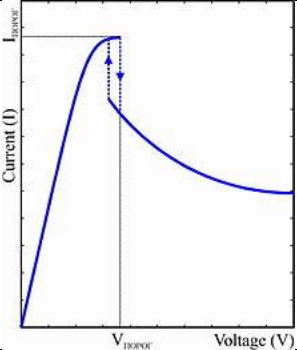

Il existe aussi des Led clignotantes (2,5 Hz).

V.11 La diode GUNN

Ce type de diode est utilisé dans le domaine de la supra haute fréquence. La diode GUNN n'est pas constituée comme une diode classique de 2 régions semi-conductrices : l'une dopée N et

l'autre dopée P mais de trois régions. Les 2 régions raccordées aux connexions extérieures sont fortement dopées N⁺⁺⁺ tandis que la région centrale, très fine, est faiblement dopée N. L'Arséniure de Gallium (semi-conducteur) est largement utilisé pour la diode GUNN.

Le physicien J. B. Gunn, qui tentait en 1962 de comprendre la source du bruit haute fréquence qu'il mesurait, découvrit le comportement de résistance différentielle négative de ce type de diode l'effet GUNN. La zone de résistance dynamique négative est mise à profit dans les oscillateurs Supra haute fréquence ($\approx 10\text{GHz}$) en injectant un courant d'une intensité convenable et d'une tension dépassant la tension d'amorçage. L'effet GUNN et l'effet Tunnel sont différents.

		
Symbole d'une diode GUNN	La résistance différentielle négative apparait après la tension d'amorçage / intensité	Diode GUNN russe

Extraits de Wikipédia US

V.12 La diode Laser

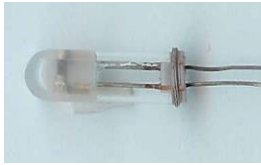
Extrait de Wikipédia : La diode laser est un composant opto-électronique à base de matériaux semi-conducteurs qui émet de la lumière monochromatique cohérente (une puissance optique) destinée, entre autres, à transporter un signal contenant des informations sur de longues distances (système de télécommunications) ou à apporter de l'énergie lumineuse pour le pompage de certains lasers (lasers à fibre, laser DPSS) et amplificateurs optiques (OFA, Optical Fiber Amplifier). La diode laser est un composant essentiel des lecteurs et graveurs de disques optiques, dans ce cas elle émet le faisceau lumineux dont la réflexion sur le disque est détectée par une photodiode ou un phototransistor. Elle trouve également son application dans les dispositifs électroniques de mesure de distance, de vitesse, de guidage et de pointage précis. IL faut doter l'alimentation de la diode laser d'un système de régulation/sécurité et en général de refroidissement.



tension d'alimentation : 2,2 V

V.13 La photodiode

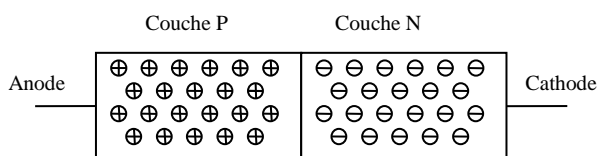
Ce type de diode est utilisé lorsqu'on a besoin de détecter une intensité lumineuse. Le courant qui traverse la diode est fonction de l'intensité lumineuse.



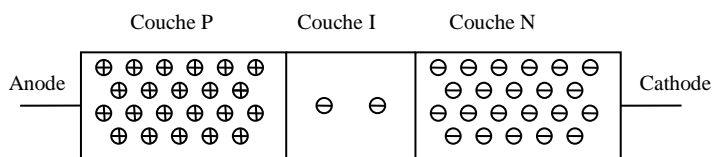
V.14 La diode Pin

Une diode PIN est une diode qui contient entre ses zones de jonction de type P et de type N une zone quasi intrinsèque (type « I » d'où le nom de diode P-I-N). Cette zone intrinsèque est non dopée (ou très faiblement) et contient la zone de déplétion de la jonction PN.

Diode normale



Diode PIN



La diode PIN polarisée :

- en inverse, présente des capacités extrêmement faibles et des tensions de claquage élevées,
- en direct, la zone de type « I » augmente la résistance interne qui dépend du nombre de porteurs et diminue quand le courant augmente. On obtient ainsi une résistance (alternative) variable contrôlée par une intensité (continue).

Cette diode peut être utilisée en :

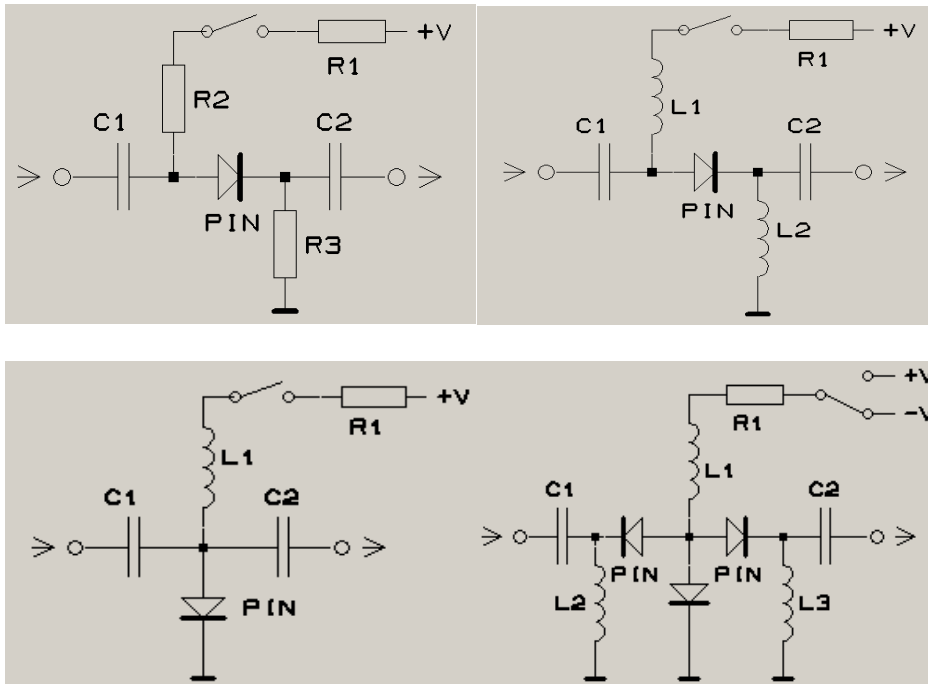
- redressement de fortes tensions,
- commutation HF, UHF (faible capacité inverse),
- atténuateur variable (contrôlé par un courant de commande continu).

La diode PIN permet d'obtenir des isolations entre les 2 états de l'ordre 40db (et plus).

Exemples d'une diode PIN en commutation HF

R1, R2 et R3 (ou R1, L1 et L2 (bobines de choc)) permettent de polariser la diode PIN en direct ou non.

La diode PIN peut être montée en série ou en parallèle par rapport au signal à commuter.



V.15 La diode régulatrice de courant

Ce type de diode, comme son nom l'indique, régule l'intensité du courant qui la traverse quelque soit la tension à ses bornes (dans certaines limites). L'effet de champ est mis à profit dans ce type de diode. Pour obtenir une intensité plus importante, il est possible de monter plusieurs diodes en parallèle

Exemple : diode référence 1N5294 Intensité : 0,39mA



1N5283 through 1N5314

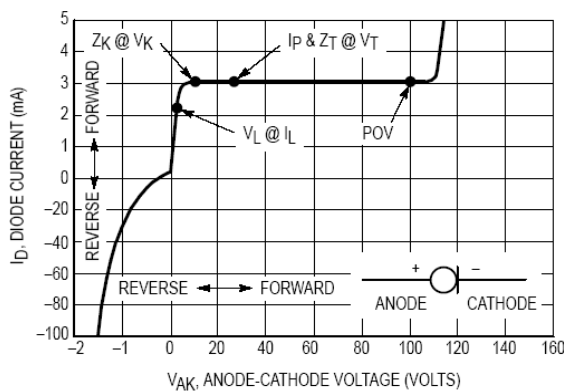


Figure 1. Typical Current Regulator Characteristics

SYMBOLS AND DEFINITIONS

- I_D — Diode Current.
- I_L — Limiting Current: 80% of I_p minimum used to determine Limiting voltage, V_L .
- I_p — Pinch-off Current: Regulator current at specified Test Voltage, V_T .
- POV — Peak Operating Voltage: Maximum voltage to be applied to device.
- θ_I — Current Temperature Coefficient.
- V_{AK} — Anode-to-cathode Voltage.
- V_K — Knee Impedance Test Voltage: Specified voltage used to establish Knee Impedance, Z_K .
- V_L — Limiting Voltage: Measured at I_L , V_L , together with Knee AC Impedance, Z_K , indicates the Knee characteristics of the device.
- V_T — Test Voltage: Voltage at which I_p and Z_T are specified.
- Z_K — Knee AC Impedance at Test Voltage: To test for Z_K , a 90 Hz signal V_K with RMS value equal to 10% of test voltage, V_K , is superimposed on V_K :

$$Z_K = V_K / i_K$$
 where i_K is the resultant ac current due to V_K .
 To provide the most constant current from the diode, Z_K should be as high as possible; therefore, a minimum value of Z_K is specified.

(M)

Extrait de la documentation Motorola

Sur une plage de tension (5V à 100V) l'intensité du courant reste constante.

Remarque : il existe des circuits intégrés qui effectue la même fonction.

V.16 La diode Schottky

La diode Schottky est une diode caractérisée par une tension de seuil directe plus faible que la diode standard et un temps de commutation très court. Cette caractéristique la prédestine à la détection de signaux faibles en hautes fréquences et hyperfréquences. Elle est aussi utilisée pour le redressement de tensions alternatives dans les alimentations pour améliorer le rendement en diminuant les pertes dans les diodes (redressement de puissance). Elle est constituée d'une jonction métal-semi-conducteur (au lieu d'une jonction PN comme dans le cas des diodes standard). Cela rappelle les premières diodes au germanium qui avait une pointe en acier en contact direct avec le cristal (diode à pointe). La diode Schottky est beaucoup plus rapide que la diode à jonction PN du fait de l'absence de capacité de diffusion.

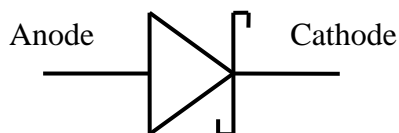
La diode Schottky a une tension de seuil directe entre 0,15V à 0,45 V (pour un courant d'environ 1 mA), à comparer avec celle de la diode standard en silicium d'environ 0.6 volt (voir les courbes ci-dessous). Cette propriété est utilisée pour limiter la tension et la saturation des transistors et ainsi augmenter la fréquence de travail (mis à profit dans la série des circuits intégrés TTL Low Power Schottky 74LS00, ou 74S00, ...). Elle est aussi utilisée dans les mélangeurs en radio.

La variation de la tension de seuil directe en fonction de la température est plus faible que dans le cas de la diode PN.

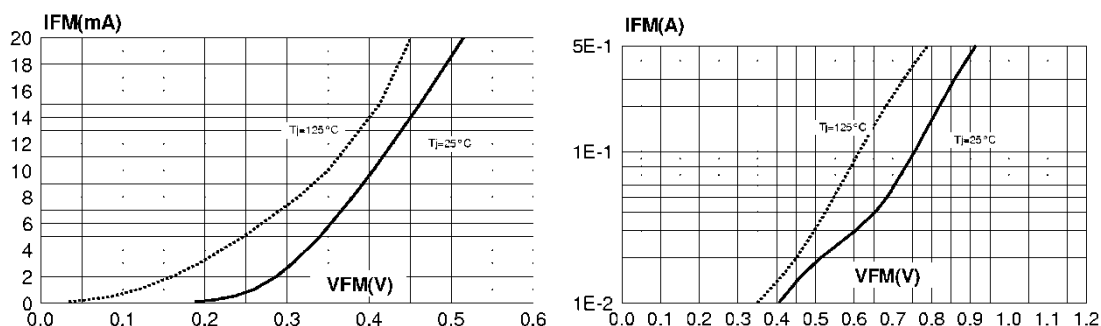
Dans le sens inverse, le courant inverse est plus important que celui de la diode PN et fonction de la tension inverse.

Remarque : elle porte le nom d'un physicien Allemand Walter H. Schottky.




Symbole de la diode Schottky



Courbes de la tension de seuil par rapport au courant (sens direct) pour une diode BAT46

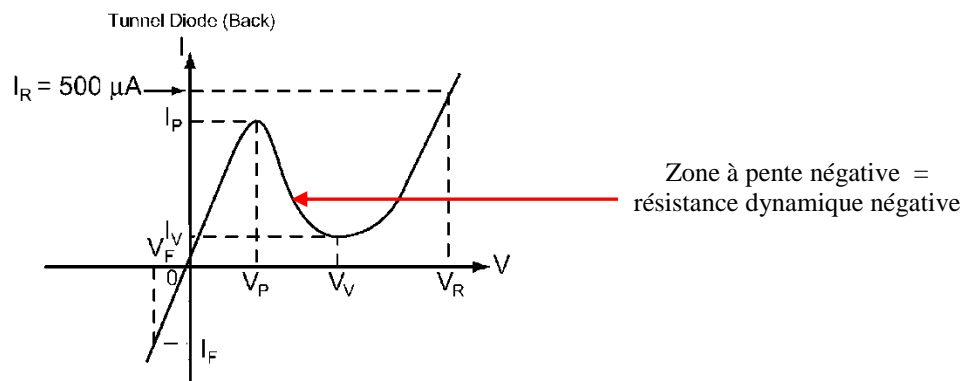


Exemple de boîtiers de diode Schottky

DO-35	Minimelf		Puissance	Puissance
				

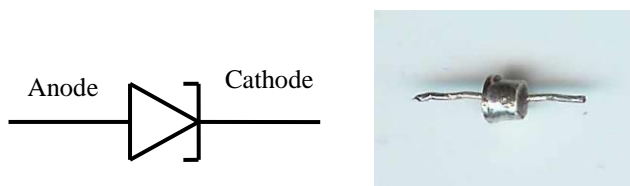
V.17 La diode Tunnel

Dans une diode tunnel, le dopage des couches N et P est plus important qu'une diode standard ainsi la barrière de potentiel est d'une valeur différente ce qui produit un comportement différent. En sens inverse, la diode conduit. En sens direct, l'effet tunnel apparaît et à partir d'une certaine tension on observe une décroissance de l'intensité ce qui correspond à une résistance négative « virtuelle ».



Courbe caractéristique d'une diode tunnel

Symbole d'une diode tunnel et exemple



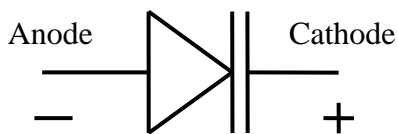
Utilisation : la caractéristique « résistance dynamique négative » est mise à profit dans les oscillateurs hautes fréquences et dans les montages où le temps de commutation très court est primordial (plusieurs gigahertz).

V.18 La diode Varicap

La diode varicap (de l'anglais **variable capacity**) est une diode utilisée comme condensateur variable lorsqu'elle est polarisée en sens inverse. Sa capacité varie en fonction de la tension inverse (mais pas de manière linéaire, inversement proportionnelle à la racine carrée de la tension). Elle est due à la largeur de la zone de déplétion (c'est équivalent à écarter plus ou moins les armatures d'un condensateur standard). La non linéarité est mise à profit pour générer des harmoniques.

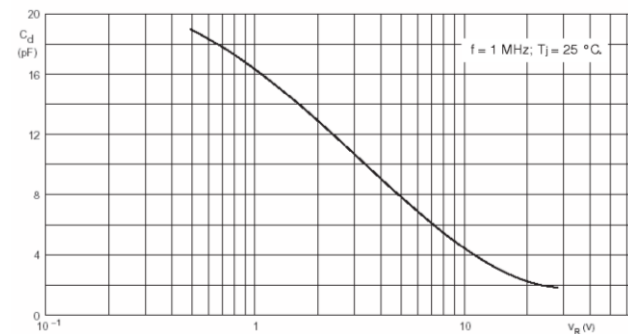
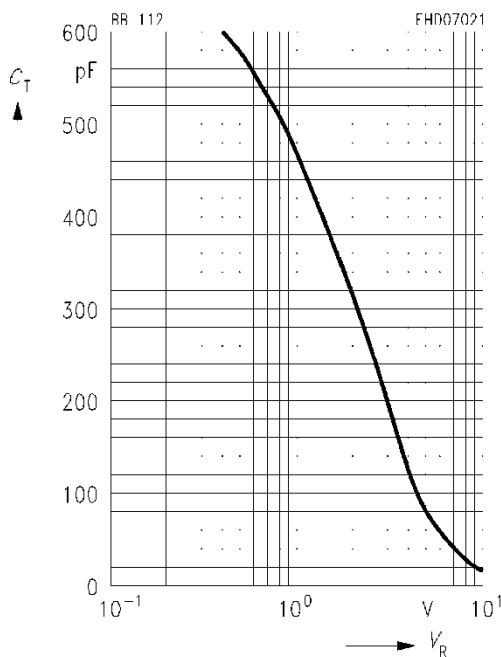
Remarque : toutes les diodes présentent plus ou moins ce phénomène.

Symbole de la diode Varicap



La diode Varicap est utilisée dans les circuits d'accord des récepteurs radios pour faire varier la capacité d'un circuit d'accord de l'étage d'entrée ou de l'oscillateur local (VCO (oscillateurs commandé en tension) et donc la fréquence de résonance, en changeant la tension inverse de commande appliquée sur la diode. Par rapport à un condensateur variable, les avantages sont le gain de place et le coût, par contre parmi les inconvénients il faut disposer d'une tension inverse souvent importante (20V à 30V).

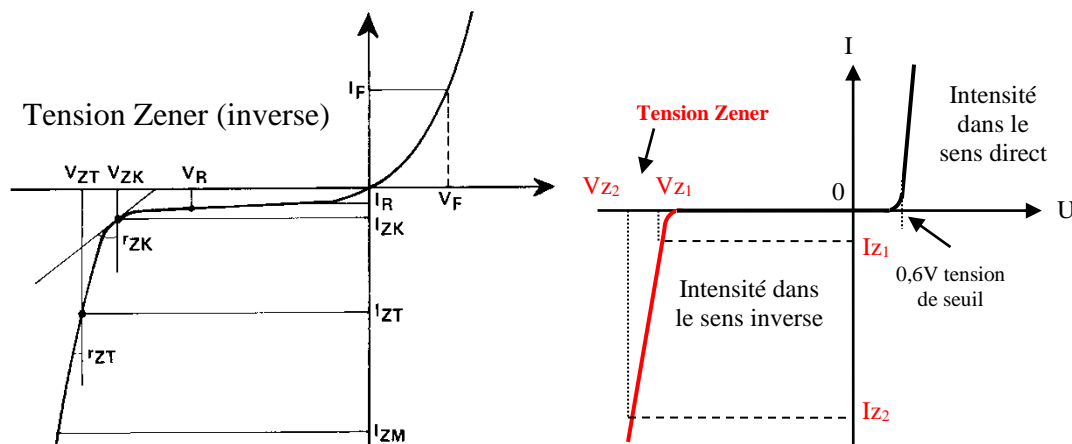
Courbes de variation de la capacité en fonction de la tension inverse pour 2 diodes Varicap (BB112 pour AM et BB135 pour VHF)



V.19 La diode Zener ou avalanche

La **diode Zener** est une diode fabriquée spécialement pour supporter une tension inverse qui peut être importante jusqu'à sa tension de claquage ou tension d'avalanche (tension Zener). A partir de cette tension, la résistance de la diode devient très faible. Cet état peut être réversible (diode Zener) ou irréversible (destruction ou claquage d'une diode de redressement). La tension Zener est la caractéristique principale de ce type composant qui a été mise en évidence par le physicien américain Clarence Zener. Le phénomène Zener est effectif pour les diodes zener jusqu'à une tension inférieure à 6V alors que le phénomène d'avalanche se rencontre sur les diodes zener d'une tension supérieure à 7V.

Courbe caractéristique d'une diode Zener (l'échelle des courants direct et inverse n'est pas respectée):



- V_{ZT} : Tension de régulation à un courant donné (I_{ZT}),
- I_{ZT} : Courant de contrôle de la tension de régulation (V_{ZT}),
- r_{ZT} : Résistance différentielle mesurée pour le courant I_{ZT} ,
- I_{ZK} : Courant de régulation dans la région du coude,
- r_{ZK} : Résistance différentielle pour le courant I_{ZK} ,
- $CI \cdot v_z$: Coefficient de température de la tension de régulation,
- I_R : Courant inverse à la tension spécifiée V_R ,
- V_R : Tension inverse inférieure à la tension de régulation,
- I_{ZM} : Valeur limite maximale du courant de régulation,
- I_{ZSM} : Courant inverse de pointe de surcharge non répétitif,

La résistance différentielle (dynamique) est donnée par la formule :

$$r_{zk} = \frac{V_{z2} - V_{z1}}{I_{z2} - I_{z1}}$$

Les principales caractéristiques d'une diode zener sont :

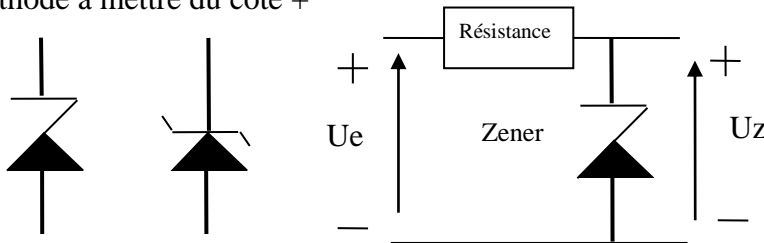
- La tension zener ou d'avalanche (de 1,2 V à plus de 200V)
- La précision sur la tension,
- La puissance maximale,
- Le coefficient thermique,
- La résistance dynamique,
- Le boîtier.

Remarques :

- la diode Zener ayant le meilleur coefficient de température se situe vers 6,2V.
- la diode Zener est utilisée comme tension de référence dans les alimentations stabilisées. Elle permet également la protection en surtension, toutefois la diode transil lui est largement supérieure en puissance absorbable.

Symbole de la diode Zener et montage typique simple :

Cathode à mettre du côté +



Anode à mettre du côté -

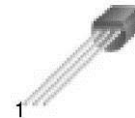
Il est conseillé de calculer la résistance shunt de telle manière qu'en fonctionnement normal l'intensité du courant absorbé par la zener soit plus important que celui existant au niveau de du coude (5mA à 10mA est en général suffisant). En effet au niveau du coude la diode zener est « bruyante », cette caractéristique est mise à profit dans les sources de bruit blanc simples.

La diode Zener programmable et de référence

La diode Zener programmable est une diode à trois connexions extérieures. Une des connexions est utilisée pour ajuster la tension Zener à la valeur désirée dans la plage indiquée par le fabricant. A proprement parlé ce n'est pas une diode Zener mais plutôt un circuit intégré. Une des plus connues est la référence TL431 de Texas Instrument.

- Tension de sortie programmable de 2,5V à 36V
- Impédance de sortie dynamique 0,2 Ω
- Courant drainé de 1.0 to 100mA
- Coefficient de Température : 50ppm/°C Typique
- Tension de bruit de sortie faible
- Divers boîtiers

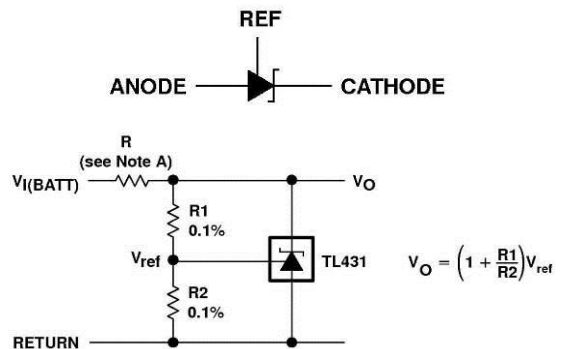
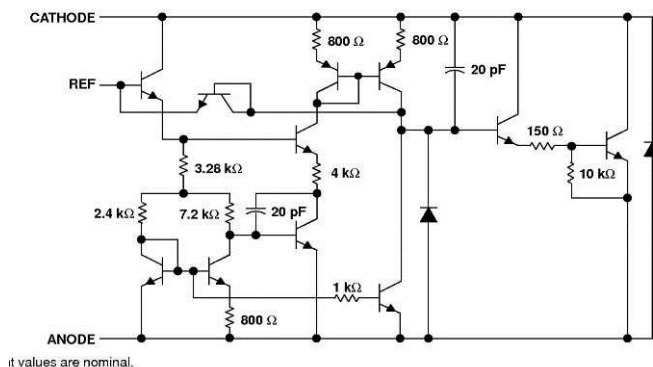
TO-92



1. Ref 2. Anode 3. Cathode **TL431**

Symbole et schéma d'application

schematic†



Quelques exemples de diodes zener :



Diode compensée en température

Pour diminuer l'influence de la température sur la tension Zener, certaines diodes sont compensées en température. Elles sont plus onéreuses.

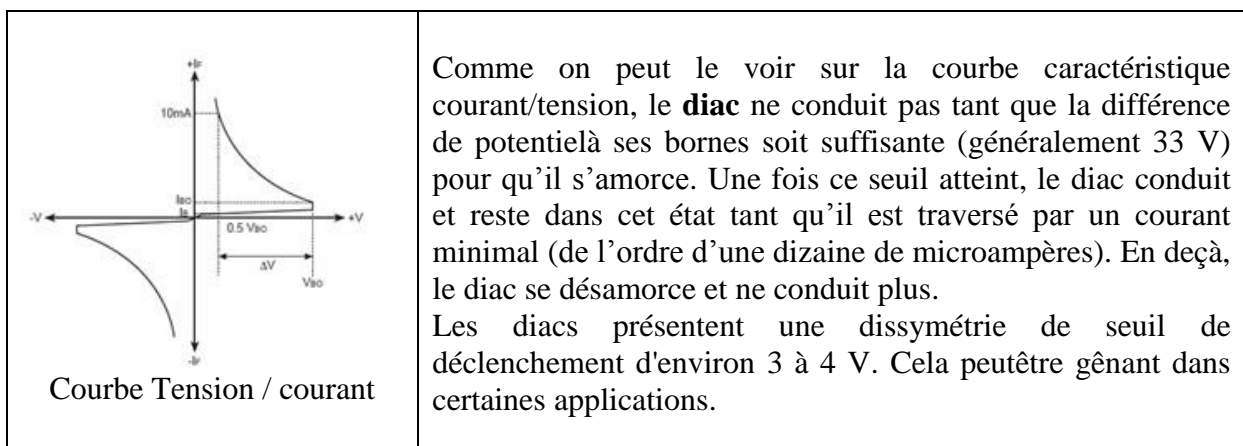
Une méthode simple est de monter en série une diode dans le sens direct.

V.20 Le DIAC

Un DIAC (abréviation anglaise de **DI**ode for **A**lternative **C**urrent) est un composant électronique bidirectionnel à amorçage par la tension à ses bornes. Il ressemble physiquement à une diode mais il n'a pas d'anneau pour repérer la cathode puisqu'elle n'existe pas, le composant étant symétrique. Sa constitution et son fonctionnement sont très différents d'une diode classique. Le **diac** est équivalent à un montage composé de deux thyristors commandés chacun par une diode zener en série avec une diode idéale et montés tête-bêche. Le diac est utilisé par exemple pour l'amorçage de triacs ou de transistors dans les alimentations pour les lampes fluo-compactes ou les lampes à LED, etc.

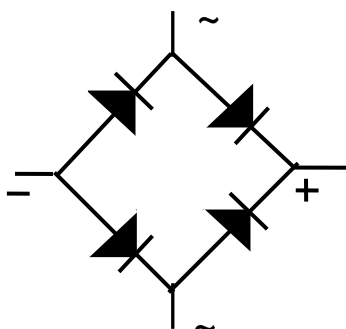


Courbe caractéristique du DIAC :



V.21 Le pont de diodes

Le pont de diodes est en général constitué de 4 diodes reliées entre elles pour former un pont de Graëtz et moulées dans un boîtier de formes diverses et de tailles adaptées à la puissance à dissiper ou à la tension inverse à supporter.

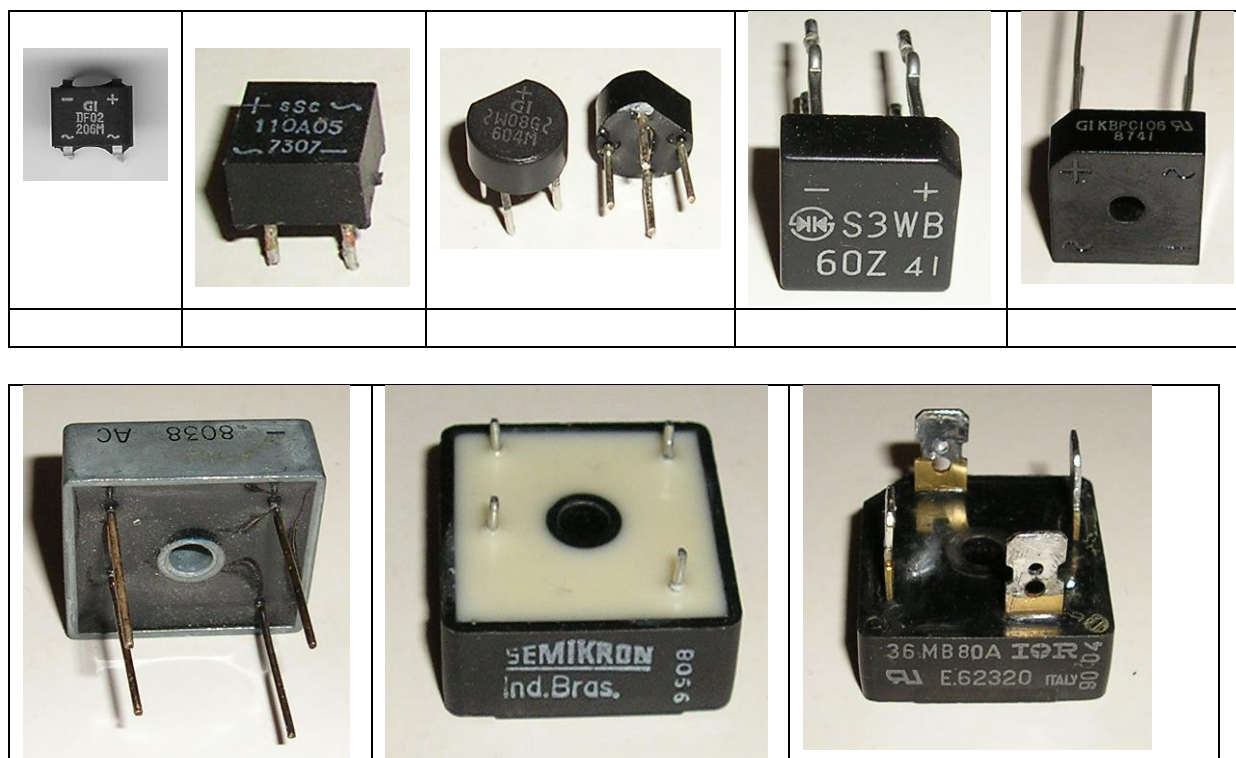


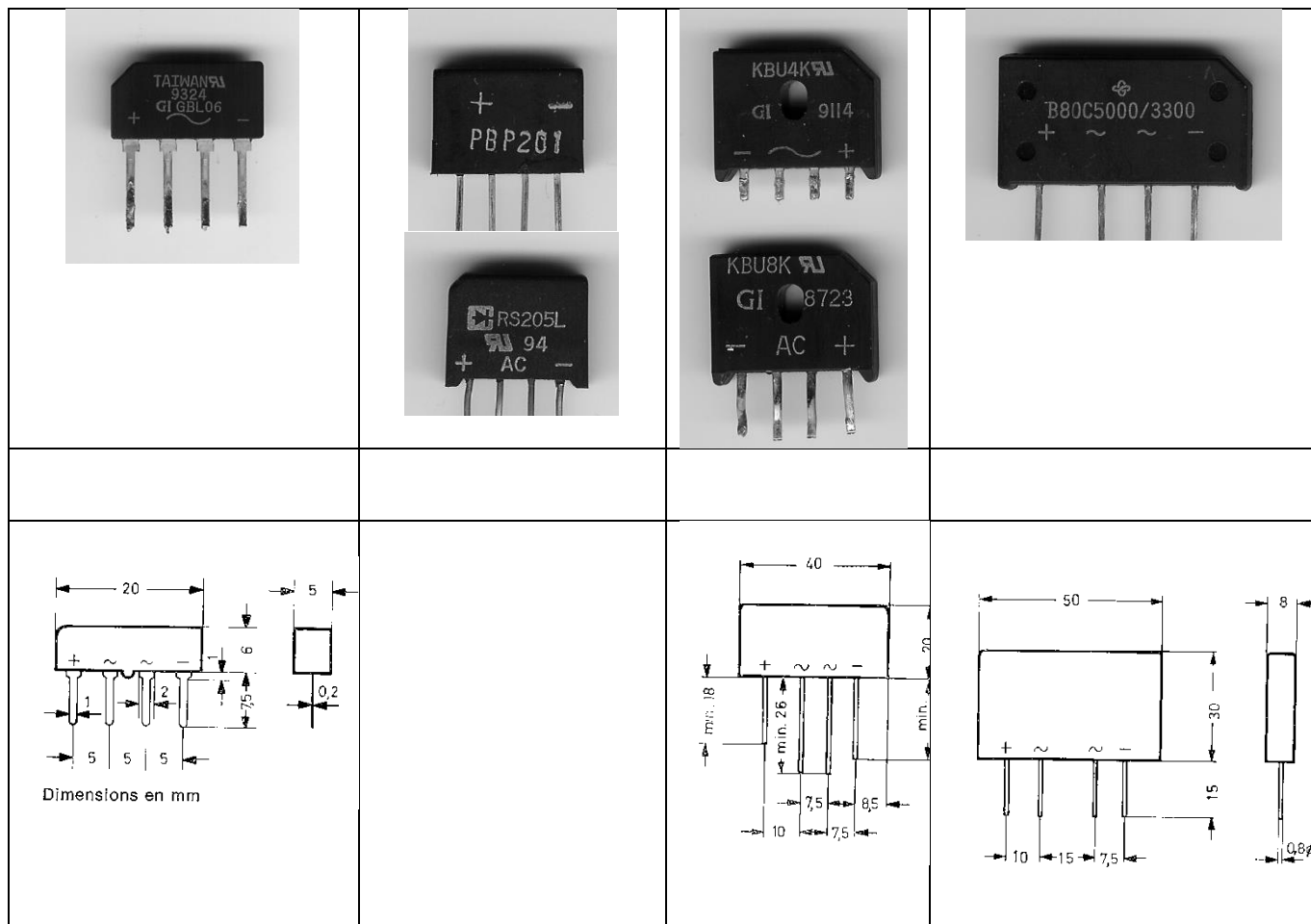
L'intensité du courant redressé par un pont de diodes varie de quelques centaines de milliampères à plusieurs centaines d'ampères.

Le boîtier dispose de 4 connexions extérieures :

- 2 marquées du signe \sim ou **AC** (Alternative Current) (entrée de la tension alternative à redresser)
- 1 marquée **+** (borne positive de la tension de sortie redressée),
- 1 marquée **-** (borne négative de la tension de sortie redressée).

Exemple de boîtiers





V.22 La mesure d'une diode – vérification

La vérification du « bon » fonctionnement d'une diode peut s'effectuer à l'aide d'un simple multimètre analogique (de préférence) ou numérique. Pour des mesures plus complètes, l'utilisation d'un diodemètre/transistormètre ou d'un traceur de courbes peut s'avérer plus efficace.

Avec la fonction ohmmètre d'un multimètre analogique: la diode ne laissant passer le courant que dans un sens et pas dans l'autre, il suffit donc de mesurer sa résistance entre ses 2 connexions externes dans un sens puis dans l'autre. Cette procédure permet de repérer l'anode et la cathode de la diode si l'anneau ou le repère indiquant la cathode n'est pas visible. Lorsqu'on relie l'anode au + de l'ohmmètre (fil rouge) et la cathode au - (fil noir) la diode est polarisée en directe et sa résistance est faible, de 10Ω à $1K\Omega$ suivant la diode et l'ohmmètre (tension de la pile utilisée). Dans le sens inverse, la résistance est beaucoup plus forte, soit infinie pour la majorité des diodes au silicium et de l'ordre de quelques $100K\Omega$ pour des diodes au Germanium ou certaines diodes Zener ayant une tension zener faible.

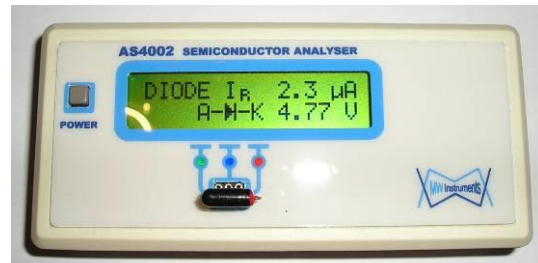
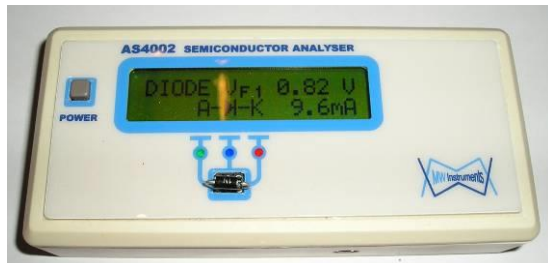
Avec la fonction diode mètre d'un multimètre numérique

Mettre le commutateur du multimètre numérique sur la fonction diodemètre (repéré par une diode). Relier le fil rouge à l'anode et le fil noir à la cathode pour vérifier le passage du

courant dans le sens direct, la résistance est de l'ordre de 10Ω à $1K\Omega$. En sens inverse, la valeur lue doit être de 1 (clignotant), indiquant une résistance infinie (très grande).

Remarque : la fonction ohmmètre ne permet pas d'effectuer des mesures correctes

Avec un diodemètre/ transistormètre :

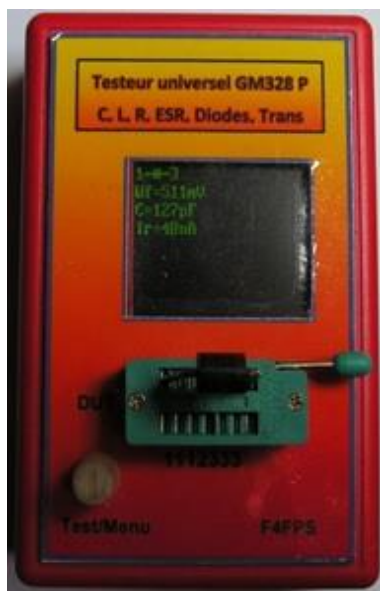


Diode 1N4004 (silicium), repérage automatique de l'anode et de la cathode et mesure du courant dans le sens direct, ici $U_d = V_{F1} = 0,82\text{ V}$ pour $I = 9,6\text{ mA}$ puis mesure dans le sens inverse et à différentes tensions.

Diode OA90 (Germanium), repérage automatique de l'anode et de la cathode et mesure du courant dans le sens inverse, ici $I_r = 2,3\text{ }\mu\text{A}$ pour $U_r = 4,77\text{ V}$ Le courant de fuite d'une diode Germanium en inverse n'est pas négligeable par rapport à celui d'une diode au silicium.

Avec un analyseur de composants acheté sur la toile pour < 20 euros

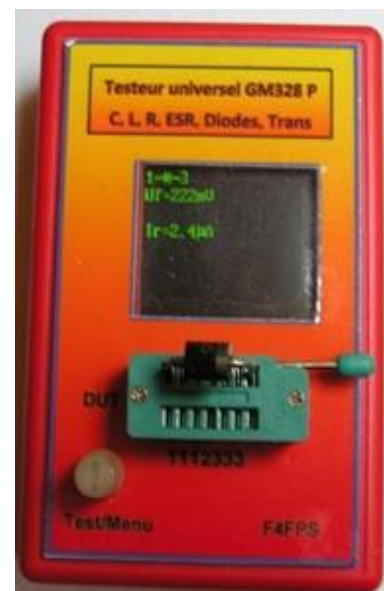
Ce testeur fournit des renseignements complémentaires tels que la capacité de la diode (intéressant pour les diodes utilisées dans les alimentations à une fréquence de découpage élevée).



Tests de diodes : repérage des contacts, de la tension directe, du courant inverse et éventuellement de la capacité.

← RU4Z (diode à récupération rapide)
Capacité donnée par le fabricant 73pf à 4V inverse (ici tension de test inférieure)
=> C supérieure !!!

RK46 (diode schottky) →
Tension directe 222 mV
Intensité du courant inverse : 2,4uA



VI Le fusible

VI.1 Généralités

Le fusible est, à priori, un composant simple connu par tout le monde comme un simple fil de métal qui fond lors d'une surintensité ou d'un dépassement thermique. Il assure la protection de l'appareil ou d'une partie de l'appareil de la destruction totale. Mais ce chapitre montre que ce composant n'est pas aussi simple qu'à première vue et on ne remplace pas un fusible grillé par un autre sans considérer les caractéristiques du modèle d'origine. Les fabricants ont travaillé sur le sujet et créé une diversité de fusibles depuis le fil fusible acheté au mètre au tout début de l'électricité (ah ! la sécurité à l'époque) jusqu'au fusible réarmable.

Il existe plus ou moins 3 types de fusible :

- Le fusible « courant » pour la protection contre les surintensités (court-circuit, dépassement de l'intensité du courant, ..),
- Le fusible « thermique » pour la protection contre les températures excessives (dépassement de la température, ..),
- Le fusible « réarmable ».

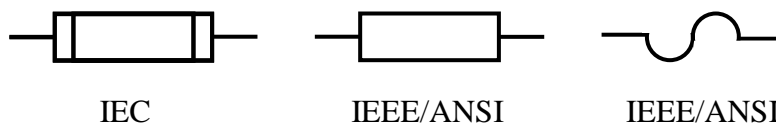
Le choix d'un fusible s'effectue parmi ces 3 types de fusible et par le calibre pour une protection en cas :

- de surintensité → la valeur de l'intensité maximale pouvant traverser le fusible sans fusion (gamme de 50 mA à 100 A et plus),
- d'une protection thermique → la valeur de la température maximale supportée (et de l'intensité maxi) sans fusion (gamme de 50 ° à 250°).

Quelques fabricants de fusibles : Littlefuse, Bosch, Wickmann, Rohms, etc.

Symbole du fusible :

Le fusible se représente de la manière suivante en fonction des différentes normes internationales.



Remarque : il existe des fusibles spéciaux pour la protection haute-fréquence (RF) des étages d'entrée (par exemple : fréquencemètre, amplificateur, ..) ou de sortie

VI.2 Le fusible courant

Le fusible courant apporte une protection contre les surintensités qui peuvent détruire complètement un appareil ou une partie. Le fabricant (ou l'utilisateur) choisit son fusible selon plusieurs critères :

- le calibre : l'intensité maximale pouvant traverser le fusible sans fusion est à choisir parmi une gamme étendue allant de 50 mA à 100 A ou plus.
- Le type de fusion : le standard CEI 60127 prévoit 4 types de fusibles (FF, F, T, TT), définissant le temps pour couper 10 fois le courant nominal :
 - FF → ultra-rapide (en anglais very fast), inférieur à 1 ms. La fusion intervient quasi immédiatement en cas de surintensité,
 - F → rapide (anglais fast, allemand flink), de 1 à 10 ms,

- T → temporisée/ retardée (anglais Time ou slow blow, allemand träge = inerte, à grande inertie), de 10 à 100 ms. La fusion n'intervient pas immédiatement en cas de surintensité mais après un laps de temps déterminé. Ce type de fusible est à privilégier par exemple pour la protection des alimentations appelant un courant important au démarrage pour charger les condensateurs de filtrage (réservoir), des moteurs, etc...
- TT → ultra-retardée (Anglais Very slow acting), de 100 ms à 1 s 3,
- HPC (Haut Pouvoir de Coupure) : 100 kA

Les anciens se rappelleront (avec nostalgie) l'époque où l'on pouvait acheter du fil « spécial » au mètre pour fabriquer/changer son fusible. Il était constitué d'un mélange comme sur la photo ci-dessous d'un alliage d'argent ou de plomb et/ou étain (c'est pourquoi dans le langage courant on disait changer les plombs ou péter les plombs !?).



Fusibles tube de verre : Ø 5 mm x 20 mm et Ø 6 mm x 32 mm
Fusion rapide ou retardée (temporisée) calibre de 50 mA à 20 A

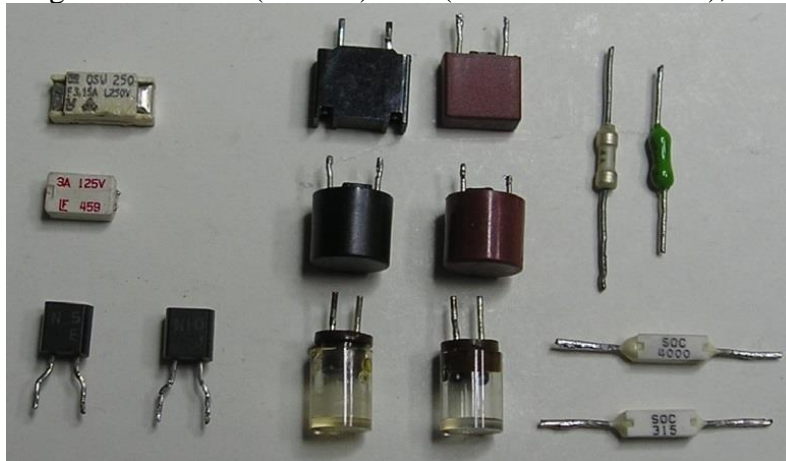


A noter un fusible à code couleur, le code des couleurs s'applique de manière classique (voir le chapitre marquage), un fusible à cartouche céramique et à droite un fusible à cartouche en verre rempli de sable de quartz pour éteindre rapidement l'arc électrique qui apparaît lors de la fusion du fil conducteur ce qui permet de couper plus rapidement le courant lors du court-circuit.

Fusibles à cartouche céramique pour les installations domestique EDF :
 \varnothing 8,5 mm x 23 mm, \varnothing 8,5 mm x 31,5 mm, \varnothing 10,3 mm x 32,5 mm et \varnothing 10,3 mm x 38 mm, etc.
 A noter qu'un fusible est muni d'un voyant de fusion et celui à droite un fusible haute tension (17,6 KV) 16 A (extrait wikipédia). Il est à noter que la protection (très) haute tension est un domaine à part avec ses spécifités et en général hors champ des radioamateurs.



Fusible pour circuit imprimé à pattes traversantes et pour montage en surface :
 En haut à gauche → fusible CMS, au milieu → TR-5 au pas de 5,08 mm et à droite au format résistance, en bas à gauche ICP N5 (250mA) N10 (400 mA ou 500 mA), etc.



Fusible auto : ce fusible est normalisé pour une utilisation basse tension dans l'industrie automobile.



VI.3 Le fusible réarmable- Polyswitch

Pour résoudre le problème du changement de fusible lors d'un court-circuit ou autres et d'avoir à ouvrir dans la plupart des cas l'appareil protégé, un fabricant a inventé le fusible réarmable- Polyswitch puis les autres fabricants ont développé cette technologie. Ce type de fusible assure la protection contre les surintensités en réalisant la même fonction qu'un fusible classique à usage unique mais il se « réarme » tout seul quand le défaut (la surintensité) a disparu. Son principe est basé sur la différence de résistance en fonction de la température :

- à température ambiante → résistance faible,
- à température élevée → résistance élevée.

Lorsque l'intensité du courant qui traverse le fusible réarmable dépasse la valeur prévue (calibre), sa température augmente rapidement et sa résistance augmente de manière importante (faisant baisser de manière drastique le passage du courant), ce qui assure la protection contre la surintensité. Lorsque la surintensité a disparu, le fusible réarmable revient à son état initial (sa faible résistance) et l'appareil (ou le bloc) ainsi protégé retourne à un fonctionnement normal (après une éventuelle réparation du défaut !). Ainsi il n'est pas nécessaire de remplacer ce type de fusible. Le nombre de cycles est illimité.

Ce type de fusible « réarmable » est fabriqué à partir de polymères conducteurs. Il est ni inductif ni capacitif.

L'utilisateur (fabricant) doit choisir l'intensité maximale du courant possible (remarque : le fusible ne bascule pas à cette intensité) et la tension maximale supportable par le fusible (30V, 60V,) pour ne pas altérer son fonctionnement. L'emploi de ce type de fusible est très intéressant pour la protection des alimentations, des haut-parleurs, moteurs, systèmes d'alarme, etc. pour un surcoût minime.

Ci-dessous un tableau fournissant quelques caractéristiques des fusibles Polyswitch RXE extrait d'un catalogue Selectronic à l'époque. Il montre que la résistance d'un modèle faible intensité n'est pas négligeable. Il existe des modèles plus puissants.

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	I_H (A)	I_T (A)	R (Ω)
RXE 010	7,4	12,7	5,1	0,1	0,2	4,5
RXE 017	7,4	12,7	5,1	0,17	0,34	5,21
RXE 020	7,4	12,2	5,1	0,20	0,40	2,84
RXE 025	7,4	12,7	5,1	0,25	0,50	1,95
RXE 030	7,4	13,0	5,1	0,30	0,60	1,36
RXE 040	7,6	13,5	5,1	0,40	0,80	0,86
RXE 050	7,9	13,7	5,1	0,50	1,0	0,77
RXE 065	9,7	14,5	5,1	0,65	1,3	0,48
RXE 075	10,4	15,2	5,1	0,75	1,5	0,40
RXE 090	11,7	15,7	5,1	0,9	1,8	0,31
RXE 110	13	18	5,1	1,1	2,2	0,25
RXE 135	14,5	19,6	5,1	1,35	2,7	0,19
RXE 160	16,3	21,3	5,1	1,6	3,2	0,14
RXE 185	17,8	22,9	5,1	1,85	3,7	0,12
RXE 250	21,3	26,4	10,2	2,5	5,0	0,08
RXE 300	24,9	30	10,2	3,0	6,0	0,06
RXE 375	28,4	33,5	10,2	3,75	7,5	0,04

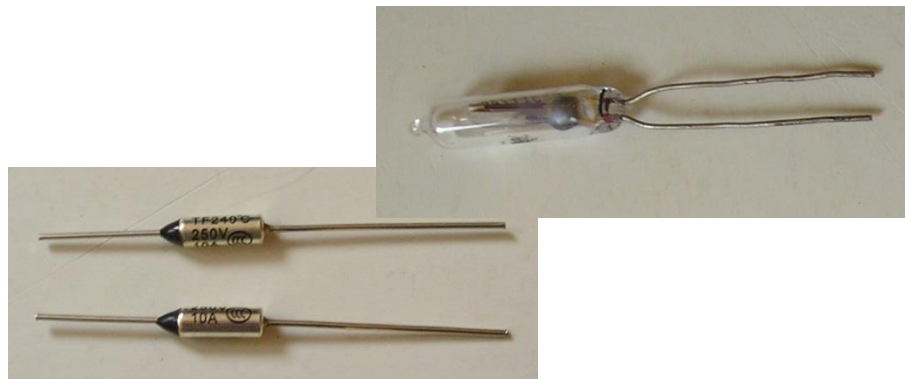
Modèle	A (mm)	B (mm)	C (mm)	I_H (A)	I_T (A)	R (Ω)
RUE 090	6,6	12,2	5,1	0,9	1,8	0,12
RUE 110	6,6	14,2	5,1	1,1	2,2	0,10
RUE 135	8,9	13,5	5,1	1,35	2,7	0,08
RUE 160	8,9	15,2	5,1	1,6	3,2	0,07
RUE 185	10,2	15,7	5,1	1,85	3,7	0,06
RUE 250	11,4	18,3	5,1	2,5	5,0	0,04
RUE 300	11,4	17,3	5,1	3,0	6,0	0,05
RUE 400	14,0	20,1	5,1	4,0	8,0	0,03
RUE 500	14,0	24,9	10,2	5,0	10,0	0,03

Photos de quelques fusibles réarmables.



VI.4 Le fusible thermique

Le fusible thermique du type ci-dessous est utilisé dans le petit électroménager pour une protection en température choisie dans une gamme de 50 °C à 250 °C avec en général une intensité maximale de 10 A.



Remarque : il est possible d'utiliser un interrupteur thermique mais pour un coût plus important. Il existe différents modèles plus ou moins coûteux.



← Airpax Thermostat subminiature en boîtier TO220 (disque bimétal). Il existe 2 types : normalement fermé en dessous de la température indiquée et normalement ouvert en dessous de la température (lettre F (Fan), déclenchement d'un ventilateur dès la température indiquée est dépassée).

VI.5 Le marquage du fusible

La valeur du calibre est en général mentionnée en clair sur une des connexions du fusible tube en verre ou céramique ou sur le dessus du fusible CMS ou par un code couleur (cas des fusibles automobile ou certains tube en verre).

Exemple de marquage :

- T2A 250V → T = fusion temporisée, protection en cas de surintensité au-delà de 2A,

- F500 mA 250V → F (Fast) = fusion rapide, protection en cas de surintensité au-delà de 500 mA,

Code couleur : certains fabricants japonais et Thomson ont utilisé un code couleur pour marquer les fusibles tube en verre. Le code des couleurs des fusibles autos est légèrement différent.

Fusible tube en verre : le code des couleurs s'applique de manière classique (analogue à celui de la résistance) : identification du repère qui donne le sens de lecture, ici l'anneau le plus large (bleu) puis la lecture de la valeur du calibre s'effectue à partir de l'opposé du repère (marron, bleu, rouge soit : 1 6 multiplicateur 2 (102) = 1600 mA = 1,6A) cette valeur se retrouve aussi sur une des connexions : T1.6A. (temporisé).

Fusible auto : la taille et le code couleur ci-dessous sont extraits de Wikipedia en Anglais.

La taille des fusibles.

Blade Size	Blade Group	Dimensions L × W × H	Common Ratings (Maximum Current)
Micro2	APT, ATR	9.1 × 3.8 × 15.3 mm	5, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30
Micro3	ATL	14.4 × 4.2 × 18.1 mm	5, 7.5, 10, 15
LP-Mini	APS, ATT	10.9 × 3.81 × 8.73 mm	2, 3, 4, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30
Mini	APM, ATM	10.9 × 3.6 × 16.3 mm	2, 3, 4, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30
Regular	APR, ATC (Closed), ATO (open) ^[1] , ATS ^[2]	19.1 × 5.1 × 18.5 mm	0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40
Maxi	APX	29.2 × 8.5 × 34.3 mm	20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120



Le code couleur

Color	Current rating	Micro2	Micro3	LP Mini	Mini	Reg	Maxi
 Dark blue	0.5 A	✗	✗	✗	✗	✓	✗
 Black	1 A	✗	✗	✗	✗	✓	✗
 Gray	2 A	✗	✗	✓	✓	✓	✗
 Violet	3 A	✗	✗	✓	✓	✓	✗
 Pink	4 A	✗	✗	✓	✓	✓	✗
 Tan	5 A	✓	✓	✓	✓	✓	✗
 Brown	7.5 A	✓	✓	✓	✓	✓	✗
 Red	10 A	✓	✓	✓	✓	✓	✗
 Blue	15 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓
 Yellow	20 A	✓	✗	✓	✓	✓	✓
 Clear	25 A	✓	✗	✓	✓	✓	 Gray
 Green	30 A	✓	✗	✓	✓	✓	✓
 Blue-green	35 A	✗	✗	✓	✓	✓	 Brown
 Orange	40 A	✗	✗	✓	✓	✓	✓
 Red	50 A	✗	✗	✗	✗	✗	✓
 Blue	60 A	✗	✗	✗	✗	✗	✓
 Amber/tan	70 A	✗	✗	✗	✗	✗	✓
 Clear	80 A	✗	✗	✗	✗	✗	✓
 Violet	100 A	✗	✗	✗	✗	✗	✓
 Purple	120 A	✗	✗	✗	✗	✗	✓

VI.6 Le porte fusible

Dans la plupart des cas le fusible est inséré dans un porte-fusible pour en faciliter le changement en cas de fusion.

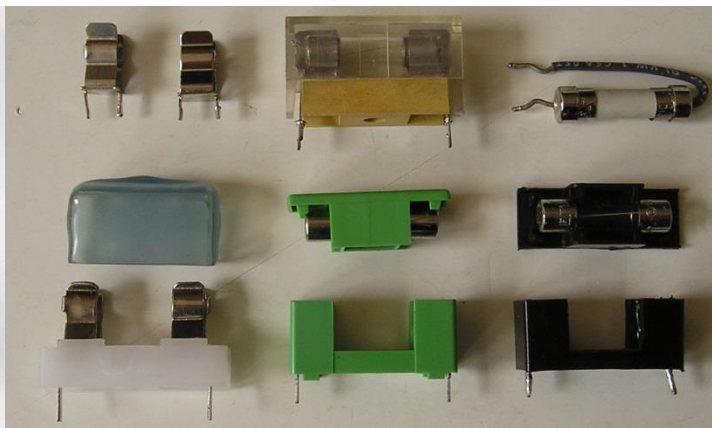
Portes fusibles pour chassis



Avec accès externe



Portes fusibles à souder sur un circuit imprimé avec ou sans protection (pour éviter le contact).



VI.7 Le conditionnement des fusibles

Le fusible, dans le cas des fusibles en enveloppe de verre ou céramique, a été livré/conditionné la plupart du temps par 10 dans des petites boîtes en carton ou plastique. Le calibre est mentionné sur la boîte (ex : 50 mA, 1 A, 1,6 A) et le type de fusion :

- rapide : mentionnée par la lettre F (Fast) ou Quick- acting
- temporisée : mentionnée par la lettre T ou Time-lag.



Le fusible miniature destiné à l'insertion automatique sur un circuit imprimé est livré en général en bande.

VI.8 Vérification d'un fusible / porte fusible

La vérification d'un fusible classique se fait à l'ohmmètre (appareil éteint !!!) : en bon état la résistance est faible allant de quelques milli-ohms à un ohm, au-delà on peut émettre des doutes. Si le fusible est inséré dans un porte-fusible il est intéressant d'effectuer la mesure directement aux bornes du porte-fusible car les contacts peuvent être de mauvaise qualité dus à un faible serrage ou une oxydation. Pour un fusible réarmable la résistance peut être plus élevée (cas du fusible réarmable de faible intensité). Voir l'exemple ci-dessous : résistance de 0,82 Ohms (relevée par un appareil peu coûteux donnant une bonne approximation de la valeur).



VII Le MMIC : Amplificateur HF intégré

VII.1 Généralités

Le MMIC ou MicroWave Monolithic IC (Integrated Circuit) est un circuit intégré monolithique conçu pour l'amplification des (très) hautes fréquences avec une mise en œuvre simplifiée et d'un coût modique.

Sa structure interne, basée en général sur 2 transistors THF en série (cascade), est conçue pour respecter la valeur (normalisée en HF) de 50Ω pour son impédance d'entrée et de sortie, ce qui permet, par exemple, de monter facilement en série 2 MMIC pour obtenir une amplification plus importante.

Les MMIC font partie d'une gamme étoffée de composants aux caractéristiques différentes. Le choix du composant se fait selon une priorisation des caractéristiques : par exemple privilégier le bruit par rapport au gain ou autres.

Il est utilisé dans la réalisation d'amplificateur RF (Radio Fréquence), IF (Fréquence intermédiaire), d'oscillateurs locaux, de pilote d'émetteur et de pilote pour mélangeur équilibré 50Ω .

Remarque : il existe aussi des MMIC adaptés à la réception (télévision, etc.) et à l'impédance de 75Ω (impédance d'entrée et de sortie).

Un inconvénient : la majorité des MMIC fonctionne avec une intensité de courant assez importante : de 20 mA à 100 mA ou même plus, ce qui nécessite de prévoir le refroidissement adéquat et rend leur utilisation rédhitoire dans le cas d'appareil portable alimenté par batterie.

L'étendue des principales caractéristiques du MMIC sont :

- produit par plusieurs fabricants renommés (Avago, HP, Minicircuits, Philips, etc.),
- coût modique (<2€ pour le plus économique),
- gamme de fréquence étendue (fonction du MMIC) : presque du continu à > 10 GHz,
- gain important compris entre 10dB et 30dB,
- puissance d'environ +15 dBm,
- point d'interception du 3^{ème} ordre (IP3) de +20 à +30 dB,
- boîtier minuscule, du type transistor à quatre connexions,
- bruit : « assez faible »,
- tension d'alimentation unique.

VII.2 La présentation physique : le boîtier

Le MMIC se présente en général sous la forme d'un boîtier à 4 connexions avec des repères qui dépendent du fabricant :

- sur le boîtier : un point de couleur et/ou un code pour identifier la référence,
- sur une des 4 connexions un repère ou un point de couleur sur le boîtier pour identifier le numéro de la connexion de référence et le rôle de chaque connexion.

Le MMIC se présente physiquement (majorité des cas) sous la forme d'un des quatre boîtiers ci-après.

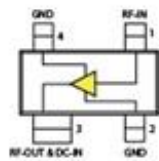
Boîtier (VV105 et WW107) : MAR et ERA-SM du fabricant Minicircuits

Point rouge et code

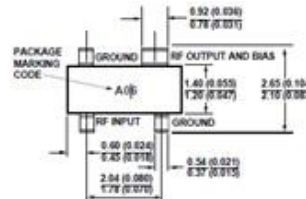
Repère connexion = entrée



Boîtier (SOT-143) : VAM-6 de Minicircuits et MSA-0611 de HP

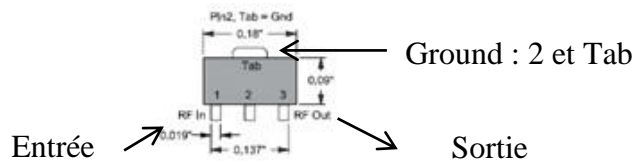


et MSA-0611 de HP



C'est le même brochage ! La connexion la plus large indique la sortie et la connexion de la résistance de charge/bias (voir le paragraphe de mise en œuvre).

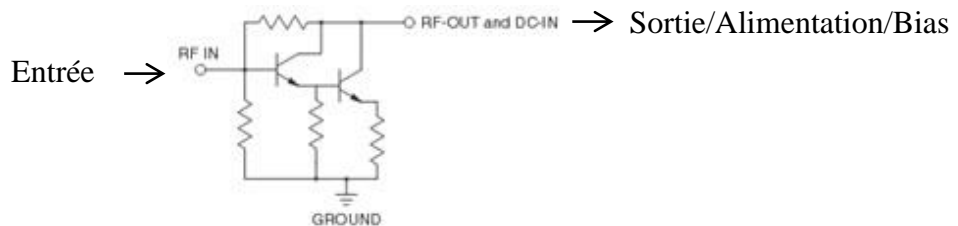
4^{ème} exemple de boîtier : SBB5099Z du fabricant RFMD



Attention : il existe des variantes de code et de repérage.

VII.3 La structure interne

La structure interne du MMIC est basée sur 2 transistors THF (très haute fréquence) montés en série (en cascade = pseudo Darlington) et polarisés par des résistances de manière à obtenir une impédance d'entrée et de sortie de 50Ω pour respecter la valeur normalisée en HF. L'impédance de sortie n'est respectée que si la résistance de charge et son câblage sont réalisés suivant les préconisations du fabricant. De même, l'entrée et la sortie doivent être isolées des tensions continues des autres étages par des condensateurs (voir le paragraphe de mise en œuvre).

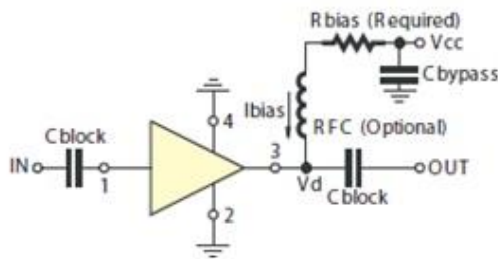


VII.4 La mise en œuvre du MMIC

La feuille de données de chaque MMIC permet de déterminer les quelques composants à rajouter pour réaliser un amplificateur Radio fréquence fonctionnel.

Exemple du MAR-6 du fabricant Minicircuits

Recommended Application Circuit



R BIAS	
Vcc	"1%" Res. Values (ohms) for Optimum Biasing
6	154
7	215
8	280
9	340
10	402
11	464
12	536
13	590
14	665

Les condensateurs Cblock branchés sur les connexions d'Entrée (IN) et de Sortie (OUT) remplissent deux fonctions : transmettre le signal alternatif HF utile et bloquer la tension continue qui risquerait de changer la polarisation du MMIC et son fonctionnement.

L'intensité du courant I_{bias} et la tension sur la connexion 3 (out) sont fournis par le fabricant pour un fonctionnement optimal : par exemple : intensité \rightarrow 16 mA et tension 3,5V. Ces 2 valeurs dépendent du MMIC utilisé.

Ici, le fabricant fournit directement le tableau donnant la valeur de la résistance R_{bias} en fonction de la tension d'alimentation (sympa !). Sinon il faut utiliser la loi d'Ohm.

La bobine (self) L_{bias} est nécessaire si on met une résistance R_{bias} de faible valeur par rapport à l'impédance de sortie de 50Ω (minimum 10 fois plus grand).

Il faut effectuer un bon filtrage / découplage de la tension d'alimentation par un ou plusieurs condensateurs (fonction de la gamme de fréquences traitée).

Remarque : il est conseillé, suivant les boîtiers, de ne pas interconnecter les 2 connexions de masse mais de les souder chacune au plus près du plan de masse.

Cet exemple basé sur le MAR-6 de Minicircuits est le schéma de mise en œuvre classique à appliquer aux autres MMIC sauf indications contraires. Il suffit de calculer la résistance R_{bias} en fonction des données fournis par le fabricant.

Les précautions en vigueur dans les réalisations HF doivent être respectées :

- liaisons courtes, utilisation de lignes microstrip 50Ω ,
- plan de masse important,
- si le circuit imprimé est en double-face utilisation de vias entre les deux couches de masse/commun et en nombre suffisant par rapport à la longueur d'onde de la plus haute fréquence à véhiculer,
- découplage des étages et alimentations par des condensateurs HF (mise en parallèle de plusieurs valeurs différentes (ex : $10nF // 1nF$)) et inductances / selfs de chocs,
- blindage entre étages.

VII.5 Tableau des caractéristiques de quelques MMIC

Référence	Plage de fréquence	Gain	Point comp. 1dB En dBm	Power IP3 En dBm	NF en dB	Tension UBias	Intensité de IBias	Fabricant	CodeBoîtier
ERA-1 SM	DC 8 GHz	+ 9 dB	+ 12 dBm	+ 26 dBm	4,3	3,4 V	40 mA	MiniCircuits	1 WW107
ERA-2 SM	DC 6 GHz	+ 13 dB	+ 13 dBm	+ 26 dBm	4	3,4 V	40 mA	MiniCircuits	2 WW107
ERA-3 SM	DC 3 GHz	+ 16 dB	+ 12,5 dBm	+ 25 dBm	3,5	3,2 V	35 mA	MiniCircuits	3 WW107
INA-03184	DC 2,5 GHz	+25dB	- 2dBm	+ 7dBm	2,6	4V	10 – 15mA	HP	N03 o VV105 84
MAR-1	DC 1 GHz	16dB	+ 1,5 dBm	+14dBm	5,5	5,0V	17mA	MiniCircuits	A01 ● VV105
MAR-2	DC 2 GHz	+12 dB	+4,5 dBm	+17 dBm	6,5	5,0V	25 mA	MiniCircuits	A02 ● VV105
MAR-3	DC 2 GHz	12dB	+12,0 dBm	+23dBm	6	5,0V	35 mA	MiniCircuits	A03 ● VV105
MAR-6	DC 2 GHz	17dB	+3,7 dBm	+18 dBm	3	3,5V	16 mA	MiniCircuits	A06o VV105
MAR-7	DC 2 GHz	12dB	+5,5 dBm	+19dBm	5	4,0V	22 mA	MiniCircuits	A07 ● VV105
MAR-8	DC1GHz	+22 dB	+12,5 dBm	+27 dBm	3,3	7,8V	38 mA	MiniCircuits	A08 ● VV105
MAV-1	DC 1 GHz	15 dB	+1,5 dBm	+14 dBm	5,5	5,0V	17mA	MiniCircuits	1 WW107
MSA 0104	DC 0,8 MHz	17dB	+1,5dBm	+14dBm	5,5	5,0V	17mA	HP (Avantek)	1 04A
MSA 0286	DC 2,5 GHz	12dB	+4,5dBm	+17dBm	6,5	5,0V	25 mA	HP (Avantek)	A02 86 WW107
MSA 0404	DC 2,5 GHz	8dB	+11,5dBm	+24dBm	7,0	5,3V	50 mA	HP (Avantek)	4 04A vv105
MSA 0886	DC 3GHz	25 dB	+ 12,5 dBm	+27 dBm	3,3	7,8V	36 mA	HP (Avantek)	A08 86 WW107
MSA 0986	0,1...3 GHz	7dB	+10,5dBm	+26dBm	6,2	7,8V	35 mA	HP (Avantek)	A09 86 WW107
MSA 1105 Existe 75Ω	0,05 .1,3 GHz	12dB	+ 17,5 dBm	+30dBm	3,6	5,5V	60 mA	HP (Avantek)	A 05 WW107
SBB5089Z	0,050 6GHz	20 dB	+20 dBm	+35 dBm	3,9	5,0V	75 mA	RFMD	SBB5089Z

La plupart des MMIC xxx-1 à 9 se retrouvent sous des dénominations différentes (seconde source) fabriqués par plusieurs fabricants.

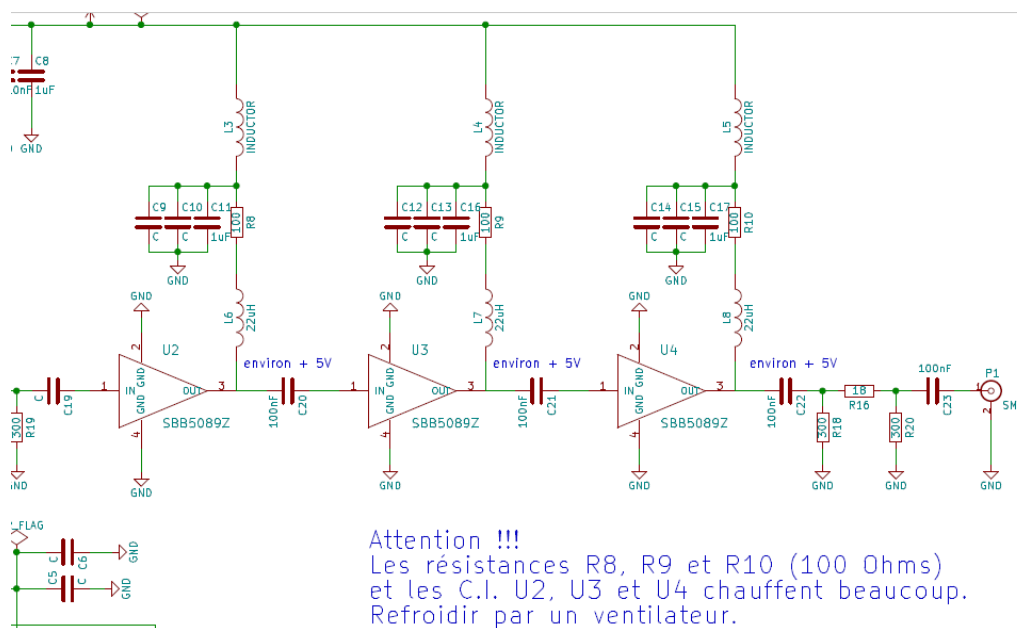
Il existe d'autres composants ressemblant à des MMIC (par exemple ABA-5163 (Avago-HP) et AD8354 (Analog Devices)) dont la structure interne est plus complexe et le boîtier différent.

VII.6 Utilisation du SBB5089Z dans une réalisation

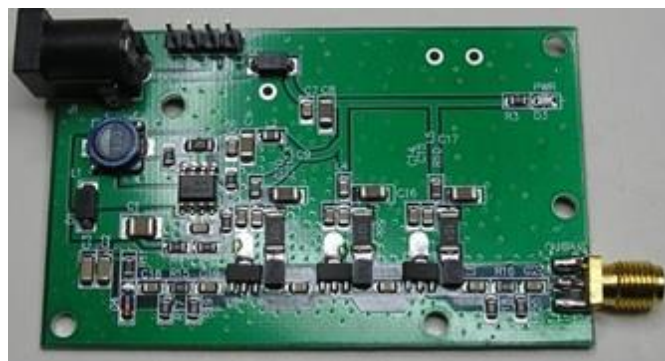
Le MMIC SBB5089Z est utilisé (à titre d'exemple) dans la réalisation commerciale d'une source de bruit (achetée sur la toile) présentant les caractéristiques suivantes : 48dB à 1,5 GHz et encore 20dB à 3.5GHz. L'amplification du bruit est réalisée par le montage en série de 3 MMIC SBB5089Z en respectant les données fournies par le fabricant RFMD pour un fonctionnement optimal : $U_{bias} = 5,0\text{ V}$ et $I_{bias} = 75\text{ mA}$ (entre 60 et 92 mA).

Le concepteur de la source de bruit a choisi une intensité de courant d'environ 70 mA et une tension d'alimentation de 12 V. La source de bruit chauffe pas mal au niveau des 3 MMIC et des 3 résistances R_{bias} et nécessite un refroidissement forcé (ventilateur) pour garantir une longévité à celle-ci.

Schéma de la source de bruit réalisé sous Kicad (rétro ingénierie) extrait :



On retrouve sur le schéma les éléments du schéma de base des MMIC : les résistances de R_{bias} de 100Ω : R8, R9, R10, les bobines L_{bias} : L6, L7, L8, les condensateurs C_{block} : C19, à C22. Les composants de découplage /filtrage (bien réalisé) de la tension d'alimentation : les condensateurs C9 à C17 (différentes valeurs) et les bobines (selfs) L3, L4, L5.



VIII Le quartz

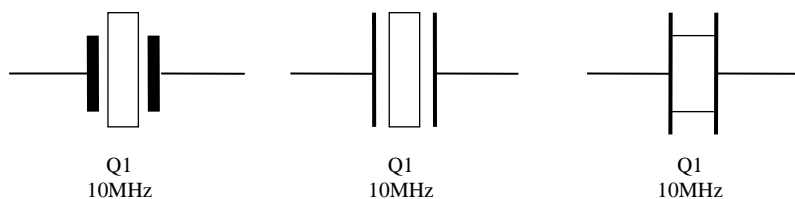
VIII.1 Généralités

Le quartz est un composant passif composé d'une lame de quartz qui est, en général, scellée hermétiquement dans un boîtier avec au moins 2 connexions externes. La lame est découpée dans le cristal de quartz suivant un axe de découpe très précis et avec des dimensions (surtout l'épaisseur) définissant sa fréquence de vibration. La lame est recouverte sur ses 2 cotés opposés, d'un métal très conducteur collé ou déposé par métallisation sous vide et qui servent d'électrodes reliées aux 2 connexions extérieures (voir les photos ci-dessous).

Le quartz est constitué de silice (SiO_2) cristallisé dans un système hexagonal. Il est assez répandu dans la nature mais relativement rare avec un degré de pureté suffisant pour son utilisation en électronique.

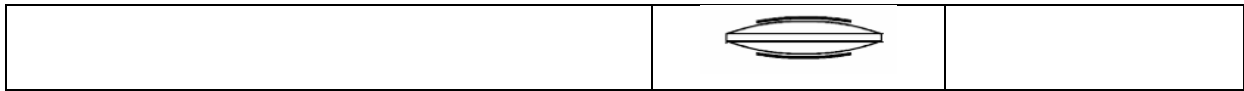
Le cristal de quartz utilisé en électronique est en général un produit de synthèse obtenu au cours d'un processus industriel assez lent (jusqu'à plusieurs mois) pour obtenir les caractéristiques désirées (pureté, etc..).

La représentation du composant "Quartz" dans un schéma peut prendre les formes suivantes :
(Une lame de quartz entre 2 électrodes et en dessous la lettre Q ou Y suivi de la fréquence)

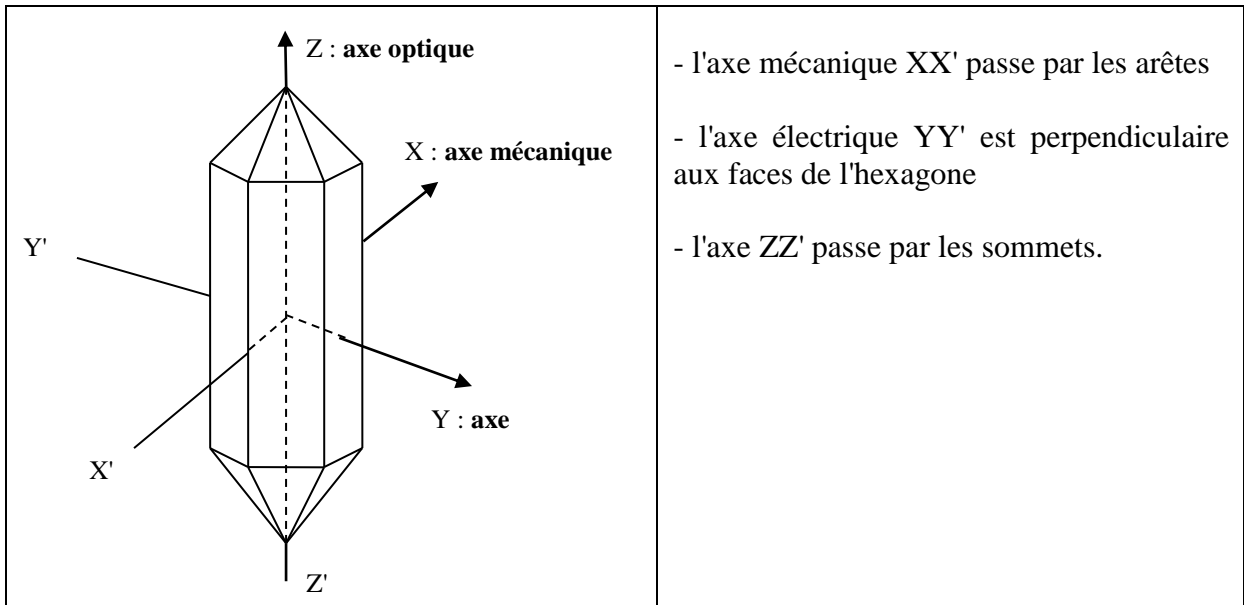


Exemples de quartz avec le boîtier ouvert

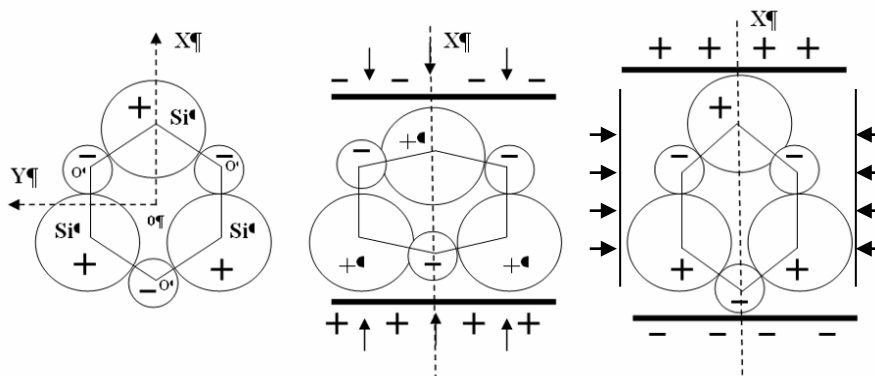
<p>Ancien quartz démonté, fréquence de 4535 KC = 4,535 MHz. La lame est prise en sandwich entre 2 plaques métalliques qui sont en contact uniquement aux 4 coins de la lame. Un ressort assure le contact entre la lame et les 2 plaques métalliques.</p>	<p>Fréquence : 1 MHz, la lame de quartz est ronde, plus épaisse au centre que sur le bord.</p>	<p>Ancien quartz en tube de verre d'une fréquence de 113,100KCS = 113,1 kHz</p>



La structure cristalline du quartz comporte trois axes de symétrie. :



Le quartz est surtout utilisé en électronique pour sa propriété piézoélectrique. Si on applique une force mécanique parallèlement à l'axe mécanique XX' , il apparaît une polarisation électrique parallèlement à l'axe électrique YY' . La réciproque est vraie.



Structure simplifiée d'une lame de quartz, si on exerce une pression, il y a alors apparition d'un champ électrique (différence de position des atomes de Si et O).

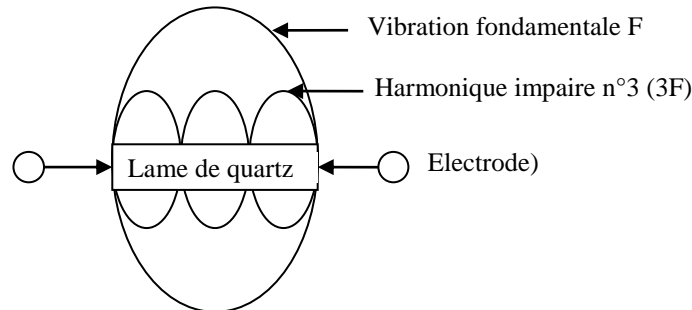
L'impédance de la lame de quartz, munie de ses 2 électrodes, varie brusquement aux alentours des fréquences d'oscillations mécaniques de la lame qui dépendent entre autres de ses dimensions.

Cette propriété est mise à profit dans les oscillateurs de précision.

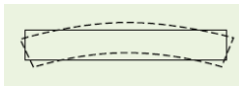
Remarque : d'autres matériaux présentent aussi cette propriété Piézoélectrique : le niobate ou le tantale de lithium, l'oxyde de germanium-bismuth, la céramique Plomb-Zinc-Tantale (PZT) et certains polymères après un traitement adéquat.

Les modes de vibration

Les modes de vibration les plus employés dans l'électronique sont les vibrations de flexion et de cisaillement. La vibration est soit de type fondamentale (f) soit de type harmonique impaire (3f, 5f, 7f, ...).



Les **vibrations de flexion** sont mises à profit dans la réalisation de résonateurs basses fréquences (1 à 40 kHz) mais avec un inconvénient sur la précision de la fréquence qui est en général faible.



Extrait de la documentation Jauch GmbH

Les **vibrations d'extension** :



Les **vibrations par cisaillement** d'épaisseur sont les plus utilisées, les fréquences en oscillation fondamentale varient de 100 kHz à 70 MHz.

<p>Mode de vibration par cisaillement de face Extrait de la documentation Jauch GmbH</p>	<p>Mode de vibration par cisaillement d'épaisseur Extrait de la documentation Jauch GmbH</p>

Les coupes pour les vibrations de cisaillement

La coupe de la lame de quartz peut s'effectuer selon plusieurs modes :

- la coupe DT (fréquence de 100 kHz à 1 Mhz)
- la coupe AT (fréquence de 1 à 70 Mhz en fondamentale). La coupe AT est la plus utilisée, la lame de quartz est découpée parallèlement à un plan contenant l'axe XX' fait un angle de 35° avec l'axe ZZ' . Cet angle est très précis
- autres coupes : BT, CT, NT, GT, SC, XT.

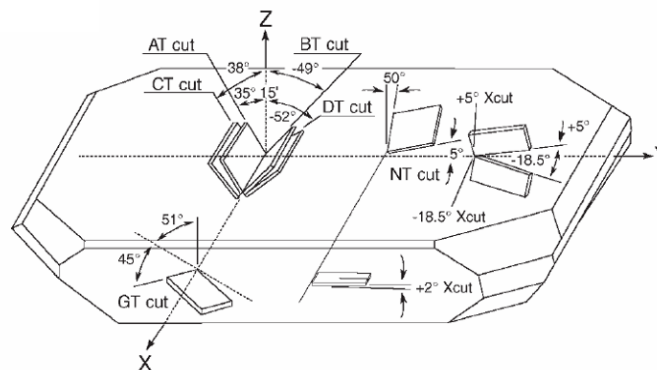
La limite haute de la fréquence fondamentale se situe vers 30 Mhz car l'épaisseur de la lame devient de plus en plus fine en fonction de l'augmentation de la fréquence et elle risque de se briser facilement sous des contraintes mécaniques. Certains fabricants peuvent fournir des quartz ayant une fréquence fondamentale jusqu'à 70 MHz.

Pour des fréquences supérieures, on utilise le mode de vibration harmonique impaire (ou partiel ou overtone en Anglais).

La précision sur la fréquence donnée par le constructeur est très élevée : quelques parties par million (de 2 à 100 ppm, soit de 2Hz à 100 Hz pour un quartz de 1 MHz).

La coupe est importante pour minimiser les effets de la température.

Voir ci-après, les différentes coupes d'un cristal de Quartz :

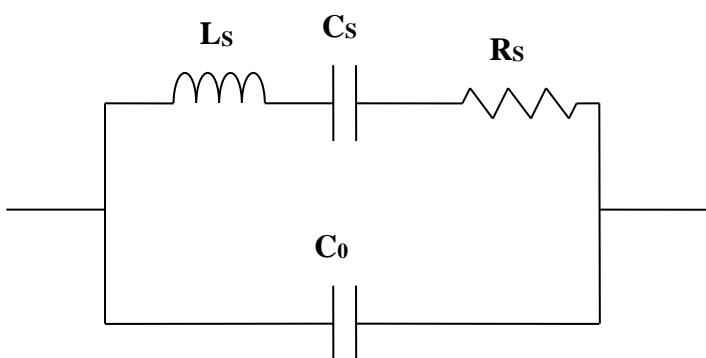


Angles de coupe (Extrait d'un document FOXElectronics)

Sur le schéma ci-dessus, on peut voir que les angles de coupe sont très précis.

VIII.2 Schéma équivalent

Le schéma ci-dessous permet de représenter électriquement le fonctionnement de la lame de quartz reliée par ses 2 électrodes. Les éléments L_s , C_s et R_s n'existent pas réellement et ils sont présents pour simuler électriquement le comportement de la lame de quartz.



L_s : inductance représentant la masse de la lame de quartz,

C_s : capacité représentant la rigidité de la lame,

R_s : représente les pertes électriques lors des oscillations de la lame,

C_0 : la capacité des électrodes placées d'un coté et de l'autre de la lame.

Ordre de grandeur des éléments ci-dessus :

Fréquence de résonance	Ls (en H)	Cs (en pF)	Rs (en Ω)	C ₀ (en pF)	Facteur Q
32,768 kHz	7860	0,003	32 000	1,5	50 000
100 kHz	50	0,050	400	8	80 000
200 kHz	27	0,024	2 000	10	100 000
1 MHz	4	0,006	240	3	110 000
10 MHz	0,01	0,030	5	8	100 000

La résistance R_s varie suivant la coupe :

- DT : 1 k Ω à 5 k Ω

- AT : ~ 30 Ω mode fondamentale et de 50 Ω à 200 Ω mode harmonique.

A la lecture des valeurs ci-dessus, on se rend compte que ces valeurs ne pourraient être obtenues par des bobines et condensateurs classiques (même au format CMS).

Le facteur de qualité Q peut atteindre une valeur de 100 000 à 1 000 000, il est à comparer à celui d'un réseau LC classique (quelques centaines). Ce facteur de qualité diminue lorsque le quartz est inséré dans un montage.

Exemple de données constructeur pour des quartzs en boîtier HC-49/U (extrait de la documentation Jauch GmbH)

Informations générales

Type	Boîtier (HC49/U) Fréquence de vibration Fondamentale ou Harmonique et type de coupe
Gamme de fréquences	0,92160 – 1,00MHz (Fond., SL)
	1,8432 – 40,0 MHz (Fond., AT)
	20,0 – 105,0 MHz (3 ^{ème} , AT)
	50,0 – 175,0 MHz (5 ^{ème} , AT)
	70,0 – 250,0 MHz (5 ^{ème} , AT)
Tolérance fréquence à 25°C	± 3 ppm à ± 50 ppm
Capacité de charge C_I	8 pF à 32 pF ou série
Capacité parallèle C₀	< 7 pF
Puissance maximale	1,0 mW
Vieillessement (Aging)	< ± 5 ppm la 1 ^{ère} année

Résistance Série R_s (en Anglais ESR)

Fréquence en MHz	Mode de vibration et coupe	ESR max. en Ω	ESR type en Ω
0,92 - 1,000	Fond., SL	3000	800
1,8432	Fond., AT	800	400
2,00 – 2,999	Fond., AT	400	200
3,00 -3,4999	Fond., AT	150	50
3,57 – 6,999	Fond., AT	60	20
7,00 – 12,999	Fond., AT	30	15
13,0 – 40,000	Fond., AT	20	10
20,0 – 29,999	3 ^{ème} , AT	80	35
30,0 – 105,00	3 ^{ème} , AT	60	30
50,0 – 175,00	5 ^{ème} , AT	150	70

VIII.2.1 Les résonances série et parallèle

A la vue du schéma équivalent on se rend compte que l'on a l'équivalent d'un circuit :

- LC **série** classique constitué des éléments de la branche du dessus L_s, C_s, (amorti par la résistance R_s)

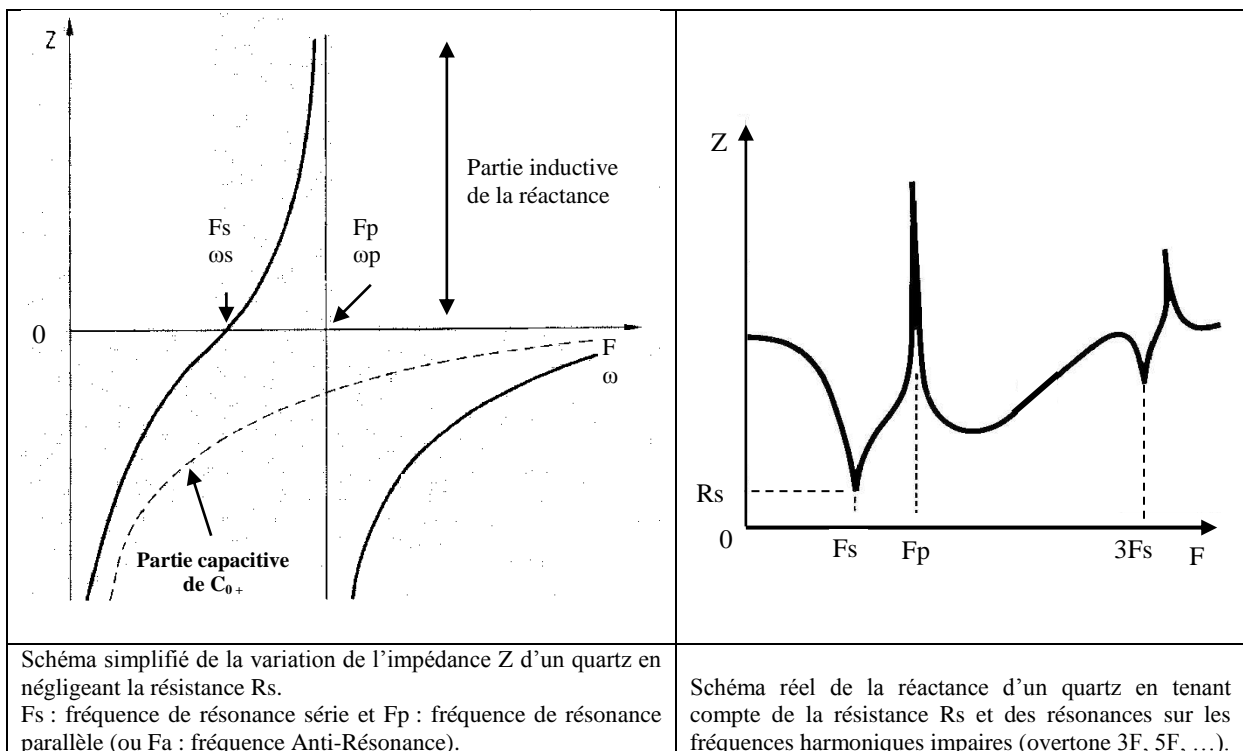
- LC **parallèle** classique (bouchon) constitué des éléments L_s , C_{eq} (équivalent à la mise en série des condensateurs C_s et C_0). Vu les valeurs de C_s et C_0 (voir ci-dessus l'ordre de grandeur), la capacité C_{eq} est presque égale à C_0 (amortie par la résistance R_s).

Remarque : la fréquence de résonance du circuit parallèle est toujours très légèrement supérieure à celle du circuit série.

Tableau récapitulatif

Fréquence de résonance série	$F_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s * C_s}}$
Fréquence de résonance Parallèle	$F_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s * C_{eq}}}$
Avec C_{eq} (équivalent)	$C_{eq} = \frac{C_s * C_0}{C_s + C_0}$
Facteur de qualité	$Q = \frac{2\pi * F_s * L_s}{R_s} = \frac{1}{2\pi * F_s * C_s * R_s}$
Ratio des capacités	$R_t = \frac{C_0}{C_s}$
Figure de mérite	$M = \frac{Q}{R} = \frac{1}{2\pi * F_s * C_0 * R_s}$

VIII.2.2 Schémas de la variation de la réactance (impédance)d'un quartz



La moitié du haut représente la partie inductive de la réactance (ce comportement du quartz est situé entre la fréquence de résonance série (F_s) et parallèle (F_p)).
La courbe en pointillés montre la réactance de la capacité C_0 si elle était seule.

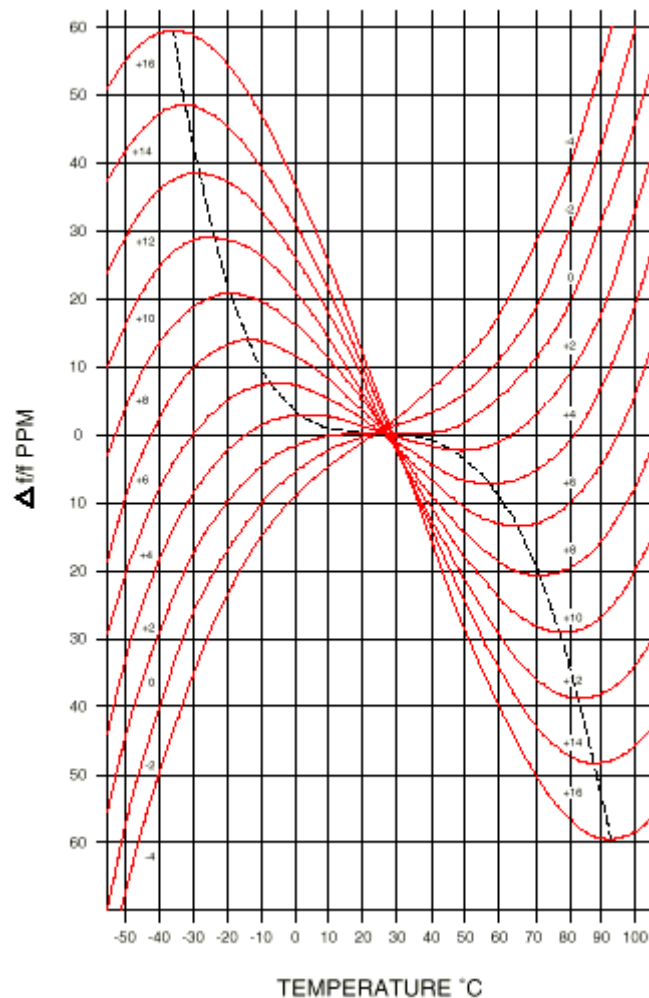
Lors de l'utilisation d'un quartz dans un montage oscillateur ou autre, il faut sélectionner le quartz approprié pour une résonance "série ou parallèle" à indiquer au fabricant.

Influence de la température

Coupe DT

Coupe AT

Les courbes $\Delta f/f$ dépendent de l'angle de coupe. Toutes les courbes passent par 0 entre 20° et 30° . Si on désire placer le quartz dans une enceinte thermo statée, on choisit en général une température de 65° à 75° .



Extrait de la documentation Hy-Q International

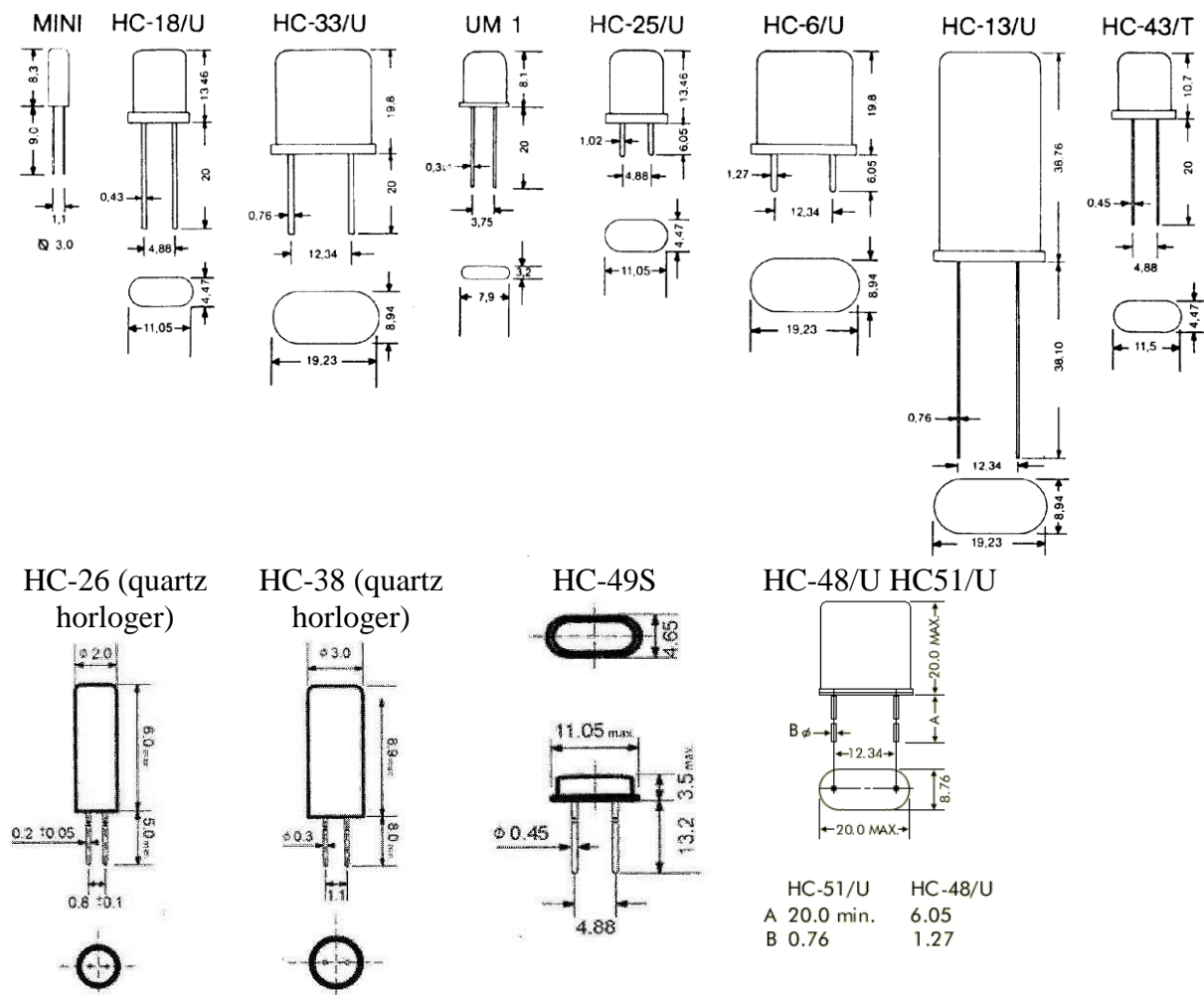
VIII.3 Dérive dans le temps, vieillissement

La dérive dans le temps de la fréquence est très faible (voir les caractéristiques données par un fabricant dans le tableau ci-dessus : $< \pm 5$ ppm la première année). Cette dérive de la fréquence dans le temps est connue sous le terme Anglais « Aging ». Elle est liée à la technologie utilisée, le quartz perd quelques impuretés, de la matière, les électrodes et fils de connexions se modifient. Il est important de respecter la puissance maximale d'entraînement de la lame au risque d'une perte de matière ou même de casse. Si le quartz est enfermé dans une enceinte remplie de gaz, quelques molécules peuvent se fixer sur la lame. C'est pourquoi on enferme le quartz dans une enceinte hermétique remplie de gaz inerte ou mieux sous vide.

VIII.4 Les différents boîtiers

Les boîtiers de quartz sont normalisés (ou déposés) par (auprès de) l'EIA (Electronic Industries Association) RS-417 et MIL-STD-683. Les boîtiers les plus connus sont pour :

- les hautes fréquences HC-18/U, HC-25/U, HC-45/U et HC-49/U
- les basses fréquences HC-6/U, HC-13/U, HC-33/U et HC-32/U
- et actuellement d'autres boîtiers au format CMS (composants montés en surface)



VIII.5 L'oscillateur à quartz

VIII.5.1 L'oscillateur à éléments discrets

L'oscillateur à quartz à éléments discrets utilise un ou des transistor(s) ou circuit(s) intégré(s), des condensateurs et bobine(s).

Pour élaborer le montage, le concepteur choisit le type d'oscillateur (Colpitts, Pierce, etc..) en fonction de son cahier des charges : utilisation de la résonance série ou parallèle du quartz, stabilité, bruit, disponibilité des éléments, réglages, reproductibilité, coûts, etc. Le choix de montage effectué, il faut sélectionner le quartz approprié (résonance série ou parallèle, précision sur la fréquence, capacité de charge (indiquée par le constructeur)).

Les 2 conditions à remplir pour obtenir une oscillation dans un circuit en boucle fermée est :

- Le gain de la boucle fermée doit être supérieur ou égal à 1,
- Le déphasage le long de la boucle fermée est de $N * 360^\circ$ ($N = \text{un entier}$)

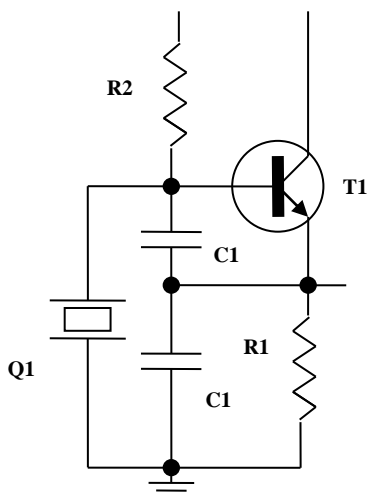
Remarque : le bruit du circuit doit être suffisant (mais pas trop) pour démarrer l'entrée en oscillation du circuit.

Dans le cas d'un oscillateur à quartz, il faut respecter le niveau d'entraînement (# puissance dissipée) du quartz qui est très faible en général de $500\mu\text{W}$ à 1mW pour les quartzs standards et de l'ordre de $1\mu\text{W}$ pour les plus petits et fragiles (quartz horloger).

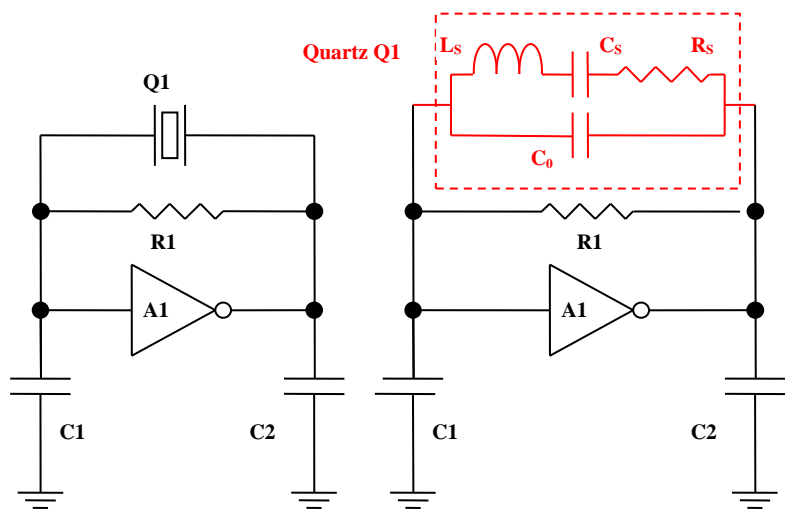
Il faut respecter aussi la capacité de charge indiquée par le fabricant faute de quoi, la fréquence indiquée ne pourra pas être obtenue (en général de 7 pf à 30 pf suivant les modèles, coupe, résonance).

Exemples d'oscillateur :

L'oscillateur de Colpitts, Pierce, Hartley, ...



Oscillateur à quartz à transistor (Colpitts)



Oscillateur à quartz à porte logique (Hartley) et son schéma équivalent
La résistance R1 permet de linéariser la porte A1 en amplificateur.

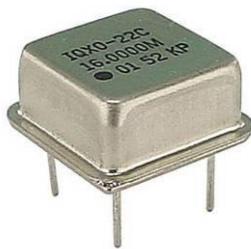
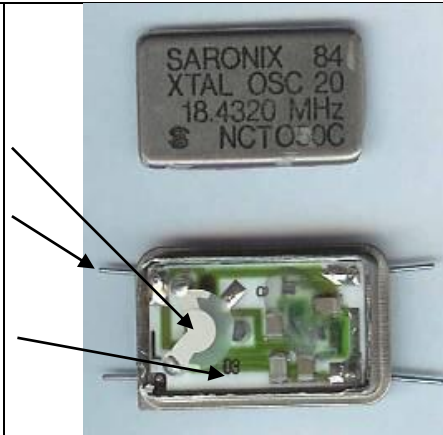
VIII.5.2 L'oscillateur à quartz standard

L'oscillateur à quartz standard est un oscillateur hybride (voir photo ci-dessous) fabriqué par l'industrie pour remplacer un montage classique à base de transistors, résistances et

condensateurs. En général, il se présente sous la forme d'un boîtier hermétique au format DIL8 ou DIL14 (Dual in Line) avec 4 connexions externes.

Exemple d'un oscillateur standard à quartz en boîtier DIL14, on aperçoit :

- la lame de quartz qui est ronde et très fine adaptée à la fréquence de 18,4320 MHz,
- L'une des 4 connexions externes sous le boîtier,
- le circuit électronique avec les composants montés en surface sur un substrat en céramique.



Boîtier au format DIL 8

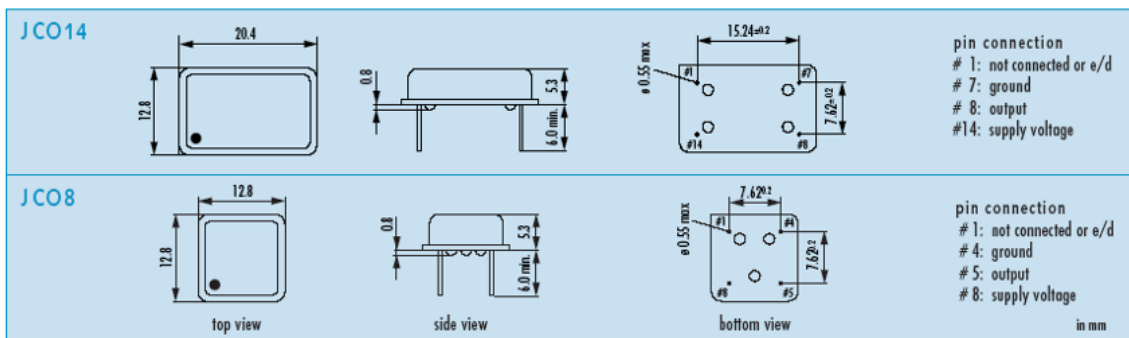


Boîtier au format DIL14

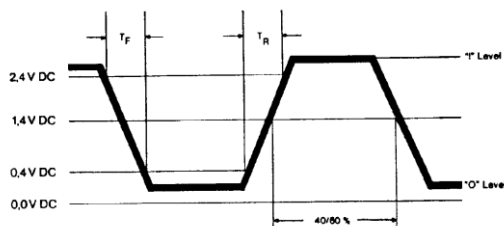
Caractéristiques techniques principales : alimentation : 5V (15 à 60mA), sortance 10 charges TTL, gamme de température 0° à 70°, stabilité ±10 ppm entre 0° et 70°, temps de montée et de descente : 10ns, vieillissement 100ppm sur ans.

Remarque : actuellement, l'utilisateur a le choix des tensions entre 5V et 3.3V.

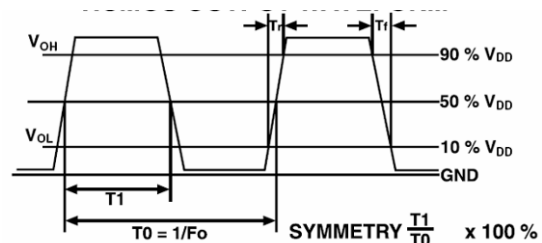
Brochage extrait de la documentation Jauch Quartz gmbh :



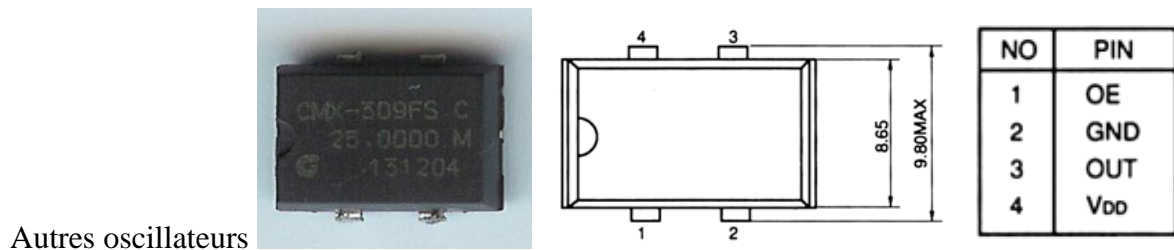
Le signal en niveau TTL



en niveau HCMOS



Remarques Les oscillateurs à quartz récents ont des tensions d'alimentation adaptées aux nouvelles technologies, par exemple 3.3V.



Autres oscillateurs

VIII.5.3 Les oscillateurs à quartz haute stabilité

La fréquence d'un oscillateur à quartz dérive en fonction de la variation de la température et de son vieillissement, due en partie au quartz. Pour minimiser la dérive, les fabricants fournissent des oscillateurs compensés en température et vieillis ; plusieurs techniques sont mises en œuvre en fonction des critères et des coûts à obtenir.

- **ATCXO** — oscillateur à cristal à température contrôlée analogiquement,
- **CDXO** — double oscillateur à cristal calibré,
- **MCXO** — oscillateur à cristal à température contrôlée par microcontrôleur,
- **VCXO** — oscillateur à cristal dont la fréquence est contrôlée par la tension,

TCXO : oscillateur à quartz compensé en température (**T**emperature **C**ompensated **X**-tal (Crystal)**O**scillator). La compensation est soit analogique soit numérique et elle utilise une diode à capacité variable pour corriger la dérive de la fréquence de l'oscillateur en fonction de la température. Pour une meilleure compensation, on utilise la compensation numérique (**DTCXO** (**D**igital **T**emperature **C**ompensated **X**tal (Quartz)**O**scillator), envoyée à la diode varicapp par l'intermédiaire d'un convertisseur Numérique/Analogique.

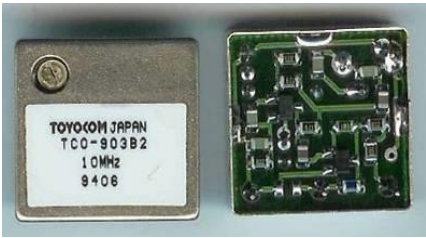
TCVCXO : oscillateur à quartz compensé en température (**T**emperature **C**ompensated **V**oltage **X**-tal (Crystal) **O**scillator), dont la fréquence est contrôlée par la tension,

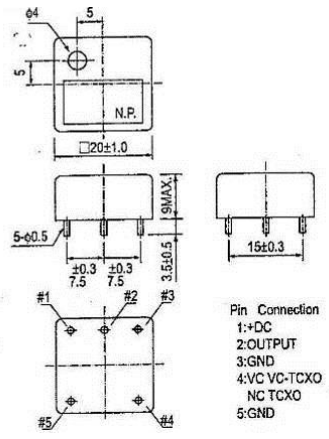
OCXO : oscillateur à quartz thermostaté (**O**ven **C**ontrolled **X**-tal (Crystal) **O**scillator). La lame de quartz est enfermée dans une enceinte isolée dont la température (70° à 90°) est régulée par un élément de chauffe et une sonde de température. Ce procédé améliore la stabilité en fréquence du quartz par un facteur de dix (ou plus).

OCVCXO : oscillateur à quartz thermostaté (**OCXO**) à fréquence contrôlée par la tension.

RbXO : pour une plus grande stabilité et précision, l'industrie fabrique des oscillateurs au Rubidium RbXO (**R**ubidium **X**-tal (Crystal) **O**scillators), c'est un oscillateur à cristal (par exemple un MCXO) synchronisé par une source rubidium.


Quelques exemples d'oscillateurs TCXO, VCTCXO, OCXO,

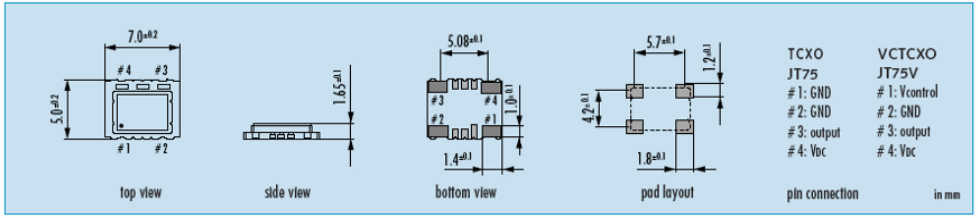




Pin Connection
 1:+DC
 2:OUTPUT
 3:GND
 4:VC VC-TCXO
 NC TCXO
 5:GND

Oscillateur TCXO 10 MHz
 Alimentation : 5V
 Stabilité : 3 ppm de -10° à 60°
 Réglage de la fréquence sur le dessus
 Sortie : sinus écriêté 1V
 Impédance de charge : 20 kΩ




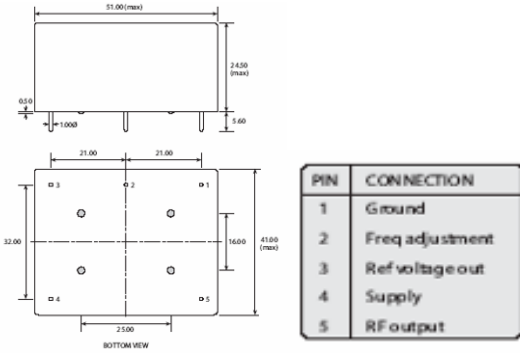


TCXO VCTCXO
 JT75 JT75V
 #1: GND #1: Vcontrol
 #2: GND #2: GND
 #3: output #3: output
 #4: Vcc #4: Vcc

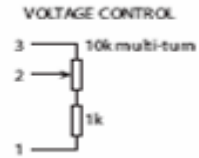
in mm

La version VCTCXO permet d'effectuer un réglage fin de la fréquence d'oscillation
 Extrait de la documentation Jauch Quartz GmbH





PIN	CONNECTION
1	Ground
2	Freq adjustment
3	Ref voltage out
4	Supply
5	RF output



VOLTAGE CONTROL

Stabilité de 0.01ppm à 0.003ppm Alimentation de 12V
 Extrait de la documentation Golledge

VIII.6 Le testeur de quartz

Dans le domaine amateur, il est possible de vérifier le bon fonctionnement d'un quartz grâce à un testeur de quartz. Le principe de test est le suivant : le quartz à tester est insérer dans un montage oscillateur tel que décrit plus haut (oscillateur de Colpitts, etc..) et de vérifier/mesurer que l'oscillation fonctionne, par exemple en détectant sa présence par une diode et un condensateur et un millivoltmètre classique (ou par mesure au fréquencemètre ou à l'oscilloscope).

VIII.7 Le filtre à quartz

Le filtre à quartz est un choix optimisé pour des applications qui nécessitent une bande passante étroite en (très) hautes fréquences avec des flancs très abruptes. C'est dû en partie au coefficient de surtension (qualité Q) très élevé et à l'étroitesse de la bande passante de l'ordre de 0,01% à 0,5% et cela avec une perte d'insertion faible.

Le filtre à quartz peut être choisi directement dans le catalogue d'un fabricant ou réalisé à la demande par celui-ci en fonction du cahier des charges fourni. Il peut aussi être réalisé par l'amateur en éléments discrets : mise en série de plusieurs quartz de même fréquence associés à des condensateurs.

Rappels de termes concernant le filtre :

La fréquence de référence (ou centrale) (Centre Frequency) est définie dans les spécifications. Les autres fréquences sont référencées par rapport à celle-ci. En général, c'est la fréquence centrale du filtre ou la fréquence de la porteuse dans les filtres pour bande latérale unique (BLU).

L'atténuation relative est la différence entre l'atténuation à une fréquence donnée et l'atténuation minimale à l'intérieur de la bande passante ou l'atténuation à la fréquence de référence.

La bande passante est une gamme de fréquences de largeur B (exprimée en Hz ou kHz) à l'intérieur de laquelle l'atténuation relative est égale ou inférieure à une valeur spécifiée A (exprimée en dB).

La largeur de la bande passante (Pass Band width) est la différence des fréquences entre lesquelles l'atténuation relative est égale ou inférieure à une valeur spécifiée A (exprimée en dB).

L'ondulation à l'intérieur de la bande passante R (Ripple) (exprimée en dB) est la différence entre l'atténuation maximale et minimale à l'intérieur de la bande passante.

La perte d'insertion L (Insertion loss) exprimée en dB, à une fréquence donnée est l'atténuation résultant de l'insertion du filtre dans le système de transmission. C'est le logarithme du ratio de la puissance délivrée à la charge avant insertion du filtre par la puissance délivrée à la charge après insertion du filtre. Ce terme est souvent employé en référence à la valeur minimale de l'atténuation du filtre à l'intérieur de la bande passante.

La fréquence de coupure (Cut Off Frequency) est la fréquence de la bande passante spécifiée à 3dB ou 6dB

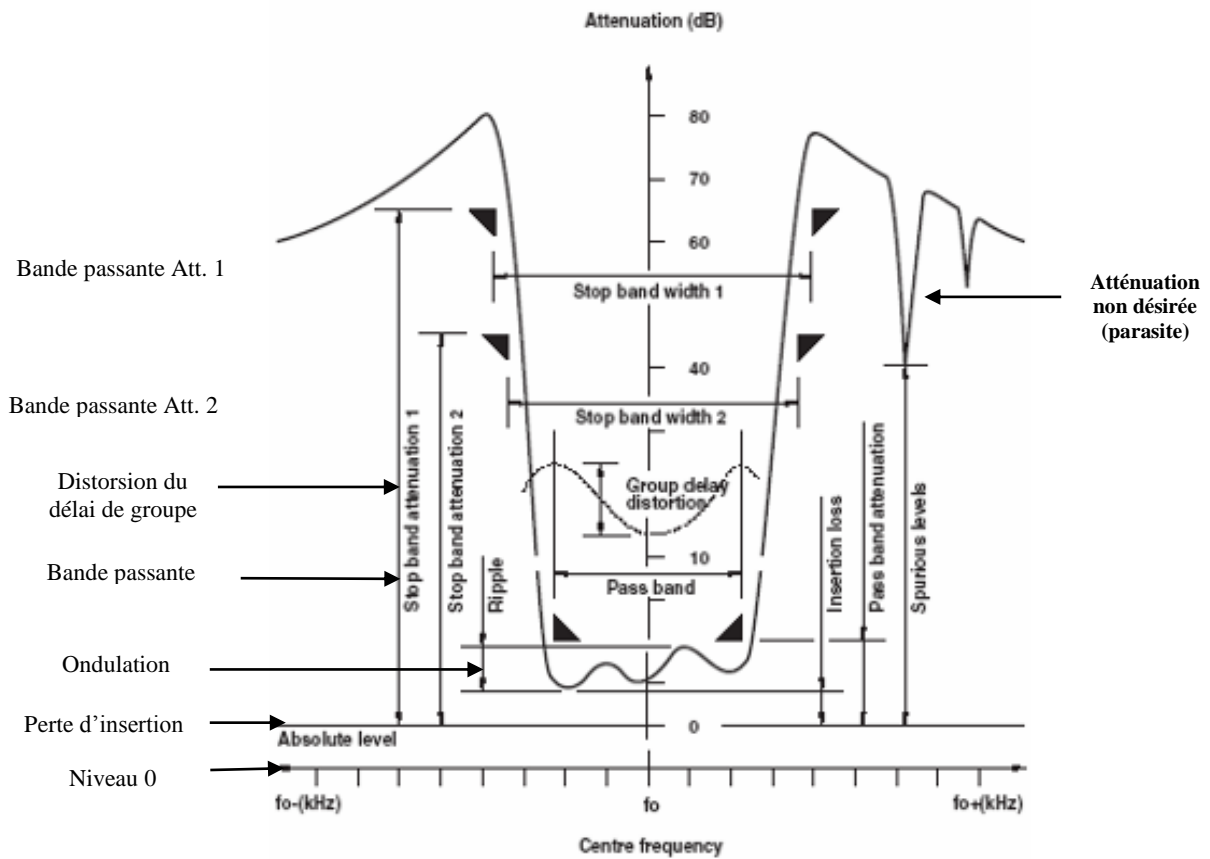
La bande de blocage (Stop Band) : bande (s) de fréquences dans laquelle l'atténuation relative est égale ou supérieure à la valeur minimale spécifiée.

Réponse d'atténuation parasite (Spurious Response Attenuation) : l'atténuation minimale A₄(dB) garantie pour la réponse parasite dans la bande de blocage. Les réponses parasites se produisent en général à des fréquences supérieures à la fréquence centrale.

L'atténuation garantie (Guaranteed Attenuation) est l'atténuation minimale garantie dans la gamme spécifiée de fréquences.

Les impédances de terminaison (Input/Output Impedance) sont celles présentées au filtre en entrée et en sortie, ces impédances sont en général égales et exprimées en termes d'une combinaison de résistance et condensateur en parallèle.

Courbe d'atténuation d'un filtre avec la représentation des différents termes utilisés

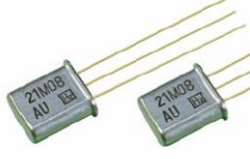
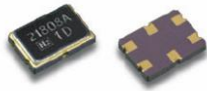
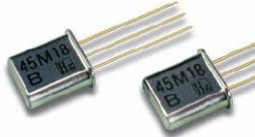


Extrait de la documentation TFC

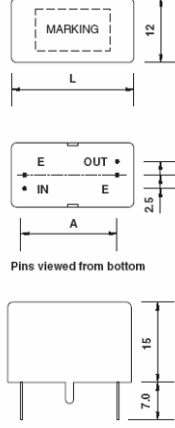
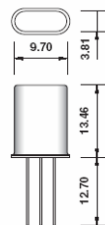
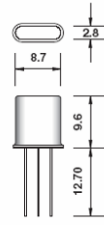
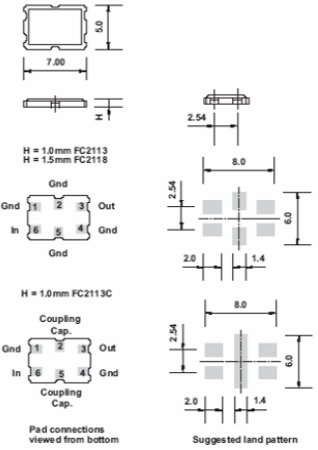
VIII.7.1 Le filtre à quartz de l'industrie

Exemples de filtres à quartz (extrait de la documentation TFC)

Model	Passband		Stopband				Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type
	(dB)	$\pm(kHz)$	(dB)	$\pm(kHz)$	(dB)	$\pm(kHz)$					
10M08C	6	3.75	45	8.75	60	12.5	2.0	3.0	1500/2	6	M-104
10M08CM	6	3.75	45	8.75	60	12.5	2.0	3.0	1500/2	6	UM-2 x 3
10M12C	6	6.00	45	14.0	65	20.0	2.0	3.0	3000/1	6	M-104
10M15C	6	7.50	45	17.50	65	25.0	2.0	3.0	3000/1	6	M-104
10M15CM	6	7.50	45	17.50	65	25.0	2.0	2.0	3000/1	6	UM-2 x 3
10M20C	6	10.00	45	23.0	65	30.0	2.0	3.0	3300/0.5	6	M-104
10M08D	6	3.75	65	8.75	90	12.5	2.0	4.0	1500/2	8	M-105
10M12D	6	6.00	65	14.0	90	20.0	2.0	4.0	3000/1	8	M-105
10M15D	6	7.50	65	17.50	90	25.0	2.0	4.0	3000/1	8	M-105
10M20D	6	10.00	65	23.0	90	30.0	2.0	4.0	3300/0.5	8	M-105

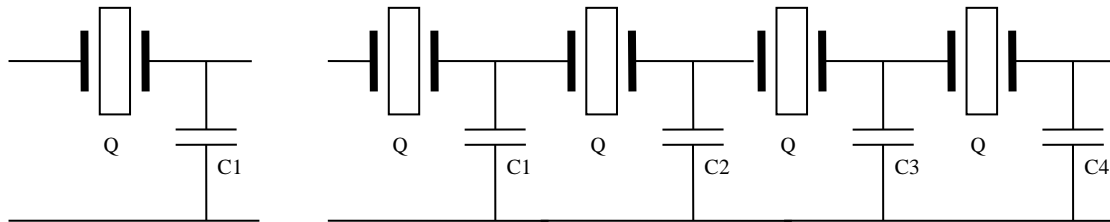
 <p>Filtres 21,40 MHz monolithique</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Passband (dB) ±(kHz)</th> <th>Stopband (dB) ±(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>21M08A</td><td>3 3.75</td><td>18 14.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/4</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21M08AU</td><td>3 3.75</td><td>18 14.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/7</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21M08B</td><td>3 3.75</td><td>40 14.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1300/2</td><td>4</td><td>HC-49/U x 2</td></tr> <tr><td>21M08BU</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>900/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M08B5</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>900/2</td><td>4</td><td>UM-5 x 2</td></tr> <tr><td>21M8LBU</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M15A</td><td>3 7.50</td><td>18 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/5</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21M15AU</td><td>3 7.50</td><td>20 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21M15A5</td><td>3 7.50</td><td>20 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>2</td><td>UM-5</td></tr> <tr><td>21M15B</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1000/2</td><td>4</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21M15BU</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M15BU1</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>1000/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M15B5</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-5 x 2</td></tr> <tr><td>21M12AU</td><td>3 6.00</td><td>20 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/2</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21M12BU</td><td>3 6.00</td><td>40 20.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M20A</td><td>3 10.00</td><td>18 33.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>900/4</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21M20AU</td><td>3 10.00</td><td>18 35.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>2200/1</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21M20B</td><td>3 10.00</td><td>40 35.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1200/1</td><td>4</td><td>HC-49/U x 2</td></tr> </tbody> </table>	Model	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type	21M08A	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/4	2	HC-49/U	21M08AU	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/7	2	UM-1	21M08B	3 3.75	40 14.0	1.0	2.0	1300/2	4	HC-49/U x 2	21M08BU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-1 x 2	21M08B5	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-5 x 2	21M8LBU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2	21M15A	3 7.50	18 25.0	0.5	2.0	900/5	2	HC-49/U	21M15AU	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-1	21M15A5	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-5	21M15B	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1000/2	4	HC-49/U	21M15BU	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2	21M15BU1	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1000/2	4	UM-1 x 2	21M15B5	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1500/1	4	UM-5 x 2	21M12AU	3 6.00	20 25.0	0.5	2.0	900/2	2	UM-1	21M12BU	3 6.00	40 20.0	1.0	2.0	1500/2	4	UM-1 x 2	21M20A	3 10.00	18 33.0	1.0	2.0	900/4	2	HC-49/U	21M20AU	3 10.00	18 35.0	1.0	2.0	2200/1	2	UM-1	21M20B	3 10.00	40 35.0	1.0	2.0	1200/1	4	HC-49/U x 2
Model	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																		
21M08A	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/4	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21M08AU	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/7	2	UM-1																																																																																																																																																		
21M08B	3 3.75	40 14.0	1.0	2.0	1300/2	4	HC-49/U x 2																																																																																																																																																		
21M08BU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M08B5	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-5 x 2																																																																																																																																																		
21M8LBU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M15A	3 7.50	18 25.0	0.5	2.0	900/5	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21M15AU	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-1																																																																																																																																																		
21M15A5	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-5																																																																																																																																																		
21M15B	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1000/2	4	HC-49/U																																																																																																																																																		
21M15BU	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M15BU1	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1000/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M15B5	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1500/1	4	UM-5 x 2																																																																																																																																																		
21M12AU	3 6.00	20 25.0	0.5	2.0	900/2	2	UM-1																																																																																																																																																		
21M12BU	3 6.00	40 20.0	1.0	2.0	1500/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M20A	3 10.00	18 33.0	1.0	2.0	900/4	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21M20AU	3 10.00	18 35.0	1.0	2.0	2200/1	2	UM-1																																																																																																																																																		
21M20B	3 10.00	40 35.0	1.0	2.0	1200/1	4	HC-49/U x 2																																																																																																																																																		
 <p>Montage en surface profil bas type 2113 2218 Fréquence 21,40MHz à 90MHz</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Nominal Frequency</th> <th>Passband (dB) ±(kHz)</th> <th>Stopband (dB) ±(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Attenuation (f~910)kHz (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>21408A1</td><td>21.40MHz</td><td>3 3.75</td><td>15 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>850/6.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21808A1</td><td>21.80MHz</td><td>3 3.75</td><td>15 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>850/6.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21415A1</td><td>21.40MHz</td><td>3 7.50</td><td>18 28.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1500/2.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21715A1</td><td>21.70MHz</td><td>3 7.50</td><td>18 28.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1500/2.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>22011B1</td><td>22.05MHz</td><td>3 5.50</td><td>30 30.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>80</td><td>1600/2.0</td><td>4</td><td>FC2113x2</td></tr> <tr><td>29020A1</td><td>29.00MHz</td><td>3 10.0</td><td>10 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1800/1.5</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>44211B1</td><td>44.25MHz</td><td>3 5.50</td><td>30 30.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>80</td><td>430/4.0</td><td>4</td><td>FC2113x2</td></tr> <tr><td>45015A1</td><td>45.00MHz</td><td>3 7.50</td><td>15 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>560/6.0</td><td>2</td><td>FC2118</td></tr> <tr><td>45030A1</td><td>45.00MHz</td><td>3 15.0</td><td>15 60.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1200/1.8</td><td>2</td><td>FC2118</td></tr> <tr><td>70020B1</td><td>70.05MHz</td><td>3 10.0</td><td>20 25.0</td><td>1.0</td><td>4.5</td><td>70</td><td>2500/-1.0</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> <tr><td>73313B1</td><td>73.35MHz</td><td>3 6.50</td><td>30 20.0</td><td>1.0</td><td>4.0</td><td>65</td><td>1700/-0.6</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> <tr><td>90015B1</td><td>90.00MHz</td><td>3 7.50</td><td>30 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>80</td><td>1500/2.0</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> </tbody> </table>	Model	Nominal Frequency	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Attenuation (f~910)kHz (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type	21408A1	21.40MHz	3 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	850/6.0	2	FC2113	21808A1	21.80MHz	3 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	850/6.0	2	FC2113	21415A1	21.40MHz	3 7.50	18 28.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113	21715A1	21.70MHz	3 7.50	18 28.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113	22011B1	22.05MHz	3 5.50	30 30.0	1.0	3.0	80	1600/2.0	4	FC2113x2	29020A1	29.00MHz	3 10.0	10 25.0	1.0	2.0	70	1800/1.5	2	FC2113	44211B1	44.25MHz	3 5.50	30 30.0	1.0	3.0	80	430/4.0	4	FC2113x2	45015A1	45.00MHz	3 7.50	15 25.0	1.0	2.0	70	560/6.0	2	FC2118	45030A1	45.00MHz	3 15.0	15 60.0	1.0	2.0	70	1200/1.8	2	FC2118	70020B1	70.05MHz	3 10.0	20 25.0	1.0	4.5	70	2500/-1.0	4	FC2113Cx1	73313B1	73.35MHz	3 6.50	30 20.0	1.0	4.0	65	1700/-0.6	4	FC2113Cx1	90015B1	90.00MHz	3 7.50	30 25.0	1.0	3.0	80	1500/2.0	4	FC2113Cx1																						
Model	Nominal Frequency	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Attenuation (f~910)kHz (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																
21408A1	21.40MHz	3 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	850/6.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21808A1	21.80MHz	3 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	850/6.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21415A1	21.40MHz	3 7.50	18 28.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21715A1	21.70MHz	3 7.50	18 28.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113																																																																																																																																																
22011B1	22.05MHz	3 5.50	30 30.0	1.0	3.0	80	1600/2.0	4	FC2113x2																																																																																																																																																
29020A1	29.00MHz	3 10.0	10 25.0	1.0	2.0	70	1800/1.5	2	FC2113																																																																																																																																																
44211B1	44.25MHz	3 5.50	30 30.0	1.0	3.0	80	430/4.0	4	FC2113x2																																																																																																																																																
45015A1	45.00MHz	3 7.50	15 25.0	1.0	2.0	70	560/6.0	2	FC2118																																																																																																																																																
45030A1	45.00MHz	3 15.0	15 60.0	1.0	2.0	70	1200/1.8	2	FC2118																																																																																																																																																
70020B1	70.05MHz	3 10.0	20 25.0	1.0	4.5	70	2500/-1.0	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
73313B1	73.35MHz	3 6.50	30 20.0	1.0	4.0	65	1700/-0.6	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
90015B1	90.00MHz	3 7.50	30 25.0	1.0	3.0	80	1500/2.0	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
 <p>Filtre 45 MHz fondamentale</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Nominal Frequency</th> <th>Passband (dB) ±(kHz)</th> <th>Stopband (dB) ±(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>45M08B1</td><td>45.00</td><td>3 3.75</td><td>30 12.5</td><td>1.0</td><td>4.0</td><td>330/7</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M10B1</td><td>45.00</td><td>3 5.0</td><td>30 18.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>390/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M12B1</td><td>45.00</td><td>3 6.0</td><td>30 12.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>390/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M13B1</td><td>45.00</td><td>3 6.5</td><td>35 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>390/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M15A1</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>15 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>470/6</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>45M15B1</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>30 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>470/3</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M15C1</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>60 25.0</td><td>2.0</td><td>5.0</td><td>470/3</td><td>6</td><td>M-107</td></tr> <tr><td>45M18A1</td><td>45.00</td><td>3 9.0</td><td>15 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>470/6</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>45M18B1</td><td>45.00</td><td>3 9.0</td><td>30 30.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>500/3</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M35B1</td><td>45.00</td><td>3 17.50</td><td>35 50.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>1000/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>47M20A1</td><td>47.450</td><td>3 10.0</td><td>15 35.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>560/5</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>47M20B1</td><td>47.450</td><td>3 10.0</td><td>35 35.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>560/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> </tbody> </table>	Model	Nominal Frequency	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type	45M08B1	45.00	3 3.75	30 12.5	1.0	4.0	330/7	4	UM-1 x 2	45M10B1	45.00	3 5.0	30 18.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2	45M12B1	45.00	3 6.0	30 12.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2	45M13B1	45.00	3 6.5	35 25.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2	45M15A1	45.00	3 7.5	15 25.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1	45M15B1	45.00	3 7.5	30 25.0	1.0	3.0	470/3	4	UM-1 x 2	45M15C1	45.00	3 7.5	60 25.0	2.0	5.0	470/3	6	M-107	45M18A1	45.00	3 9.0	15 30.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1	45M18B1	45.00	3 9.0	30 30.0	1.0	3.0	500/3	4	UM-1 x 2	45M35B1	45.00	3 17.50	35 50.0	1.0	3.0	1000/1	4	UM-1 x 2	47M20A1	47.450	3 10.0	15 35.0	0.5	2.0	560/5	2	UM-1	47M20B1	47.450	3 10.0	35 35.0	1.0	3.0	560/2	4	UM-1 x 2																																			
Model	Nominal Frequency	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																	
45M08B1	45.00	3 3.75	30 12.5	1.0	4.0	330/7	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M10B1	45.00	3 5.0	30 18.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M12B1	45.00	3 6.0	30 12.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M13B1	45.00	3 6.5	35 25.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M15A1	45.00	3 7.5	15 25.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1																																																																																																																																																	
45M15B1	45.00	3 7.5	30 25.0	1.0	3.0	470/3	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M15C1	45.00	3 7.5	60 25.0	2.0	5.0	470/3	6	M-107																																																																																																																																																	
45M18A1	45.00	3 9.0	15 30.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1																																																																																																																																																	
45M18B1	45.00	3 9.0	30 30.0	1.0	3.0	500/3	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M35B1	45.00	3 17.50	35 50.0	1.0	3.0	1000/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
47M20A1	47.450	3 10.0	15 35.0	0.5	2.0	560/5	2	UM-1																																																																																																																																																	
47M20B1	47.450	3 10.0	35 35.0	1.0	3.0	560/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	

Exemples de boîtiers

 <p>MARKING</p> <p>12</p> <p>L</p> <p>E OUT</p> <p>IN E</p> <p>A</p> <p>2.5</p> <p>Pins viewed from bottom</p> <p>15</p> <p>7.0</p> <p>Pin diameter Ø</p> <p>Lugs are (4 x 1.5 x 0.3)mm</p>	 <p>9.70</p> <p>3.81</p> <p>13.46</p> <p>12.70</p> <p>4.90</p> <p>Ø = 0.43</p> <p>11.05</p> <p>4.70</p>	 <p>2.8</p> <p>8.7</p> <p>9.6</p> <p>12.70</p> <p>4.90</p> <p>Ø = 0.40</p> <p>9.5</p> <p>3.5</p>	 <p>5.0</p> <p>7.00</p> <p>H</p> <p>H = 1.0mm FC2113</p> <p>H = 1.5mm FC2118</p> <p>Gnd</p> <p>1 2 3</p> <p>In E 4 Gnd</p> <p>Out</p> <p>2.54</p> <p>8.0</p> <p>6.0</p> <p>2.0</p> <p>1.4</p> <p>H = 1.0mm FC2113C</p> <p>Coupling Cap.</p> <p>Gnd</p> <p>1 2 3</p> <p>In E 4 Gnd</p> <p>Out</p> <p>2.54</p> <p>8.0</p> <p>6.0</p> <p>2.0</p> <p>1.4</p> <p>Pad connections viewed from bottom</p> <p>Suggested land pattern</p>
<p>Boîtiers M-104 et M-105</p> <p>Enclosure L A Ø</p> <p>M-104 15.0 9.00 0.43</p> <p>M-105 18.50 13.4 0.43</p>	<p>HC49/U</p>	<p>UM/2</p>	

VIII.7.2 Le filtre à quartz à éléments discrets

Le concepteur « amateur » peut se constituer un filtre à quartz en éléments discrets en considérant la bande passante à obtenir, la raideur des flancs et la fréquence centrale. La bande passante va permettre de déterminer approximativement le nombre de cellules (ou de pôles) à mettre en série 2, 4, 6 ou 8 pôles (voir le schéma ci-dessous). Le concepteur commence par approvisionner un nombre de quartzs supérieur à celui nécessaire (nombre de pôles). Il va ensuite tester les quartzs et noter leur fréquence. Il sélectionne ensuite les quartzs dont la fréquence est très proche. Le calcul des différents éléments peuvent se trouver sur le Net.



Filtre à quartz à 1 cellule

Filtre à quartz à 4 cellules

L'ondulation dans la bande passante est due aux différents pôles et à leurs couplages.

Remarques sur les filtres à quartz de réalisation amateur et industriel (en général) :

Si on augmente le nombre de cellules (pôles) :

- le facteur de forme s'améliore,
- l'atténuation dans la bande passante augmente,
- les flancs sont plus raides.

Si la fréquence individuelle des quartz sélectionnés diffère :

- l'atténuation dans la bande passante augmente,
- l'atténuation hors de la bande passante diminue.

IX Le radiateur ou dissipateur thermique

IX.1 Généralités

Le radiateur ou dissipateur thermique (Heatsink en Anglais) n'est pas un composant électronique au sens strict du terme mais plutôt un accessoire utilisé pour favoriser la dissipation de la chaleur générée par les diodes, circuits intégrés, résistances, thyristors, triacs et transistors évitant ainsi leurs destructions.

Tous les composants (résistances, diodes, transistors, thyristors, triacs et circuits intégrés, ...) lorsqu'ils sont traversés par un courant produisent un dégagement de chaleur. La puissance de ce dégagement de chaleur dépend de l'intensité du courant. Si la puissance générée (chaleur) est faible, le composant « arrive » à la transférer au milieu ambiant et cela d'autant plus rapidement que la différence de température entre le composant et le milieu ambiant est importante. En cas de forte puissance, il est nécessaire d'utiliser un radiateur ou dissipateur thermique qui facilitera le transfert de la chaleur au milieu ambiant. Cette facilité à transférer la chaleur au milieu ambiant ou proche correspond à la notion de résistance thermique.

Schéma simplifié du montage d'un transistor en boîtier TO3 sur un radiateur :

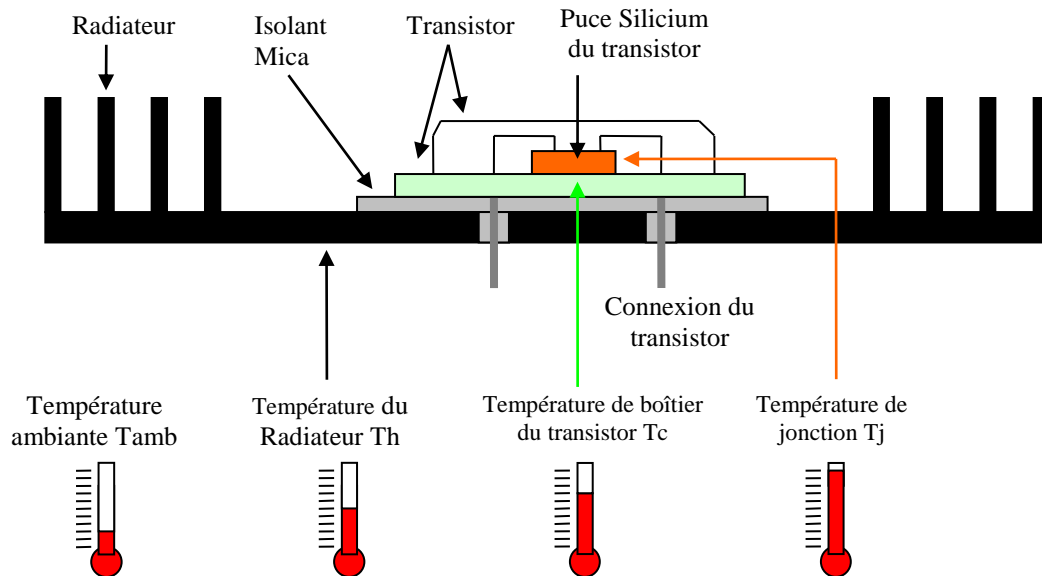
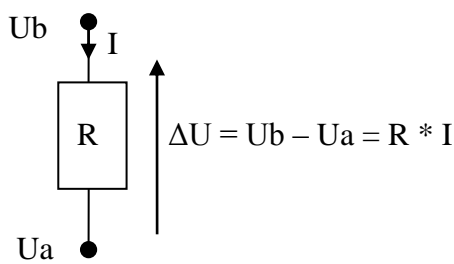
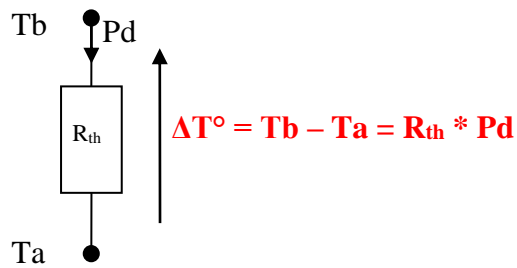


Photo d'un transistor de type TO-3 (coupé) monté sur un radiateur avec une isolation.

Analogie entre la résistance électrique et la résistance thermique :



Loi d'Ohm classique
 R : résistance électrique
 Ua : tension au point a
 I : intensité du courant

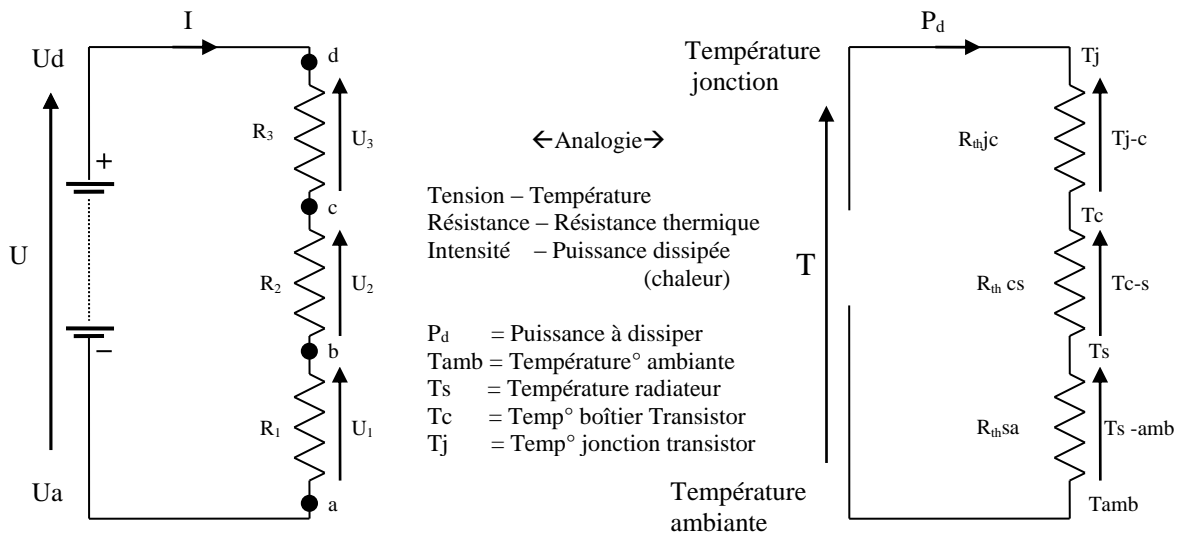


Loi d'Ohm thermique'
 R_{th} : résistance thermique exprimée en C°/W
 Ta : température au point a
 Pd : flux thermique = puissance à dissiper

On peut exprimer ainsi la loi d'ohm thermique :

Le passage du flux thermique (Pd : puissance à dissiper) produit à travers la résistance thermique R_{th} et donc à ses extrémités, une différence de température ayant pour valeur ΔT.

Analogie entre la loi d'ohm classique et la loi d'ohm thermique : cas des résistances en série



Dans ce chapitre on conserve les notations anglaises / américaines des éléments pour plus de facilité d'utilisation des caractéristiques des catalogues de fabricants.

Ts : température du radiateur (le caractère s correspond à heatsink (dissipateur thermique)),
 Tc : température du boîtier (le caractère c correspond à case (boîtier en anglais)) (on trouve aussi Tmb (mb = mounting base)).

Tj-c : différence de température entre la jonction (j) et le boîtier (c =case),

Tc-s : différence de température entre le boîtier (c =case) et la radiateur (s = heatsink),

Ts-a : différence de température entre le radiateur (s = heatsink) et le milieu ambiant,

R_{th} (ou R_θ) = résistance thermique de l'élément considéré exprimée en °C/W (à ne pas confondre avec la résistance classique),

R_{th,jc} : résistance thermique entre la jonction et le boîtier

$R_{th\ cs}$: résistance thermique entre le boîtier et le radiateur, en général résistance thermique de la graisse thermique et éventuellement de la plaquette isolante (mica, etc.).

$R_{th\ sa}$: résistance thermique du radiateur et le milieu ambiant.

La figure de gauche montre trois résistances montées en série. La différence de tension aux bornes des résistances R_1 à R_3 est égale à la différence des tensions entre les points d et a, ce qui s'exprime par la formule $U = U_d - U_a = U_1 + U_2 + U_3 = I * (R_1 + R_2 + R_3) = I * R_{totale}$. Et $R_{totale} = R_1 + R_2 + R_3$.

La figure de droite montre trois résistances thermiques montées en série (cas du transistor monté sur un radiateur dans un milieu ambiant à la température T_{amb}). Elle permet de comprendre l'analogie entre la résistance électrique et la résistance thermique. Si on remplace dans la figure de gauche la température par la tension, la résistance par la résistance thermique et l'intensité du courant par la puissance à dissiper (chaleur) on obtient alors la figure de droite. Ainsi la loi d'Ohm de la figure de gauche : $U = U_d - U_a = R_{totale} * I$ s'écrit dans la figure de droite $T_{j-amb} = T_j - T_{amb} = T_{j-c} + T_{c-s} + T_{s-amb} = Pd * (R_{thjc} + R_{thcs} + R_{thsa})$. Et $R_{thtotale} = R_{thjc} + R_{thcs} + R_{thsa}$.

La valeur de la résistance thermique caractérise la valeur du flux thermique qui traverse la résistance thermique. Ce flux thermique correspond à la quantité de Puissance Pd à dissiper sous forme de chaleur. Ainsi l'unité de la valeur de la résistance thermique est le °C/W.

La valeur de la résistance thermique du radiateur se calcule de la manière suivante :

$$R_{thtotale} = \frac{(T_j - T_{amb})}{Pd} \Rightarrow R_{thsa} = \frac{(T_j - T_{amb})}{Pd} - (R_{thjc} + R_{thcs})$$

En général on prend $T_j = 160^\circ$ et $T_{amb} = 40^\circ$.

IX.2 Inertie / temps de réactivité du transfert thermique

Le transfert thermique (évacuation de la chaleur) de la jonction du composant vers le radiateur et afin vers le milieu ambiant n'est pas instantané, il existe un laps de temps (une inertie) pendant laquelle la jonction va supporter une élévation de température. Ce temps est fonction de la masse du radiateur qui doit absorber la quantité de chaleur avant d'atteindre son point de stabilisation. Ce phénomène (inertie/temps de réactivité thermique) est appelé « **capacité thermique** », par analogie à la charge d'un condensateur au travers d'une résistance qui met un certain temps avant que la tension à ses bornes n'atteigne la tension de charge.

Ainsi un radiateur bien dimensionné peut ne pas protéger correctement le composant contre une « surcharge (ponctuelle) importante » (voir les explications plus complètes sur les sites des fabricants).

IX.3 Les principaux fabricants de radiateurs

On peut trouver sur le marché plusieurs fabricants dont les plus connus sont :

Fisher, Thermshield, Redpoint, Seifert, Thermalloy.

Ils disposent d'un catalogue fourni avec des documents clairs mais aussi des outils pour calculer le radiateur nécessaire (évidemment avec une référence de leur catalogue).

IX.4L'Isolation électrique : le but et son montage

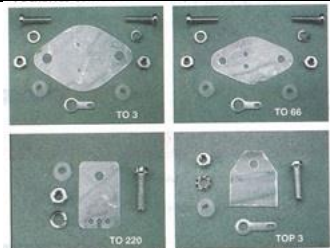




IX.4.1 Le but de l'isolation électrique

Le but de l'isolation du boîtier d'un composant par rapport au radiateur est nécessaire lorsque la jonction (puce électronique) est reliée au boîtier. En effet dans les composants de puissance (transistorssouvent anciens, etc) la puce est directement collée sur le boîtier du composant (voir la photo du transistor coupé page précédente) pour permettre une évacuation plus efficace de la chaleur produite. Ainsi, sans isolation du boîtier, la jonction serait électriquement reliée au radiateur lui-même qui est fixé au coffret de l'appareil relié à la terre ou la masse.

Et comme dans la plupart des cas la jonction collée correspond au collecteur (cas du transistor bipolaire) ou drain (Mosfet) ou anode / cathode (diode) qui est reliée au côté « chaud » (de l'alimentation ou du signal) cela réaliserait un court-circuit avec la masse ou la terre avec de potentiels dégâts ou dysfonctionnements aléatoires.

IX.4.2 Le montage de l'Isolation électrique et de la conduction thermique

Pour effectuer l'isolation électrique d'un composant de puissance par rapport au radiateur, il faut disposer d'un kit composé d'isolants en mica ou souple (Keratherm/Kapton, à base de céramique, silicone, polyamide, silicone/fibre de verre offrant une conductibilité thermique et une rigidité diélectrique exceptionnelles) adaptés aux composants, de rondelles/canons isolants et de graisse au silicone dans le cas du mica.

Kit isolation mica pour boîtier : TO3 TO66	Isolant céramique (3 mm épaisseur)	Keratherm / kapton (couleur bleu/vert, gris,..)
		
TO220 TOP3	pour TO220 TOP03	
Canons isolants polyamide de couleur blanche ou noire		Tube de graisse thermique silicone
		
		Pâte de couleur blanche ou transparente

Pour assurer une meilleure conduction thermique, il est conseillé de mettre de la graisse au silicone entre le boîtier du composant et le radiateur et/ou des 2 côtés de la plaquette d'isolation mica. La graisse au silicone est inutile dans le cas de l'utilisation Keratherm / kapton (ou autres)

IX.4.3 Résistances thermiques de boîtiers usuels et de l'isolation électrique

Le tableau ci-dessous indique la résistance thermique de quelques boîtiers usuels :

$T_{th\ j - a}$: résistance thermique de la jonction à l'air ambiant (boîtier à l'air libre)

$T_{th\ j - c}$: résistance thermique de la jonction au boîtier (boîtier monté sur un radiateur)

<i>Boîtier (case)</i>	<i>$R_{th\ j-a}$ (*C/W)</i>	<i>$R_{th\ j-c}$ (*C/W)</i>
TO-3	40	1,5
TO-18	500	200
TO-92	250	150
TO-39	200	12,5
TO-126	100	5
TO-220	70	2

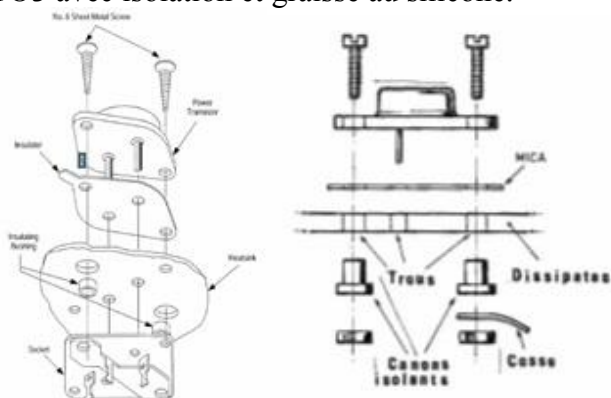
Isolant électrique

<i>Isolant /ou non</i>	<i>$R_{th\ cs}$ (*C/W)</i>
Direct sans graisse	0,3
Direct avec graisse	0,2
Mica 50 μ sans graisse	1,25
Mica 50 μ avec graisse	0,4
Mica 100 μ sans graisse	1,5
Mica 100 μ avec graisse	0,6
Keratherm	1,4

IX.5 Montage de transistors sur radiateur

Ce chapitre montre quelques exemples de montages de transistors sur radiateur avec ou sans isolation électrique en fonction du type de boîtier du transistor. (extrait d'un document Motorola).

Montage d'un boîtier TO3 avec isolation et graisse au silicone.



Montage de boîtiers TO220 non isolé et full pack isolé et DPack



Figure 5-14. Mounting Arrangements for the Full Pak as Compared to a Conventional TO-220

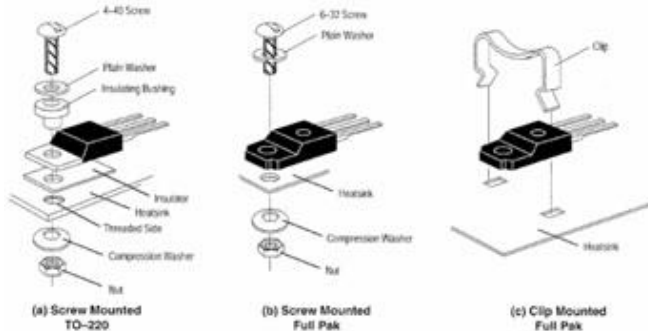
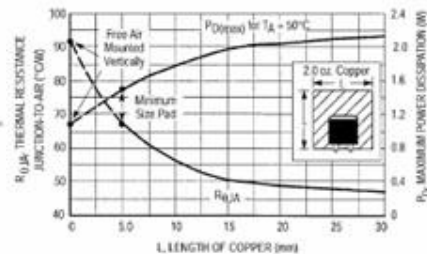


Figure 5-15. Surface Mounted DPAK Packages



Figure 5-16. Effect of Footprint Area on Thermal Resistance of DPAK Mounted on a Glass-Epoxy Board



IX.6 Calcul d'un radiateur – exemple concret

Un transistor de puissance de type 2N3055 installé dans une alimentation stabilisée (dont la tension de sortie est réglable de 0V à 25V et capable de fournir une intensité maximale du courant de 2A) doit dissiper dans le cas le plus défavorable une puissance de 50W (ne jamais prendre la puissance maximale permise). Le transistor est monté sur le radiateur avec une isolation électrique type plaque de mica de 50 μm et enduite de graisse thermique au silicone pour assurer une meilleure conductivité thermique. Si on se réfère à la feuille des données (datasheet) du transistor : on trouve les données nécessaires au calcul des caractéristiques du radiateur (~ sa résistance thermique).

Température de la jonction de -65° à $+200^{\circ}\text{C}$.

En général on peut prendre une température maximale de jonction $T_j = 160^{\circ}$ et une température ambiante de $T_{\text{amb}} = 40^{\circ}\text{C}$.

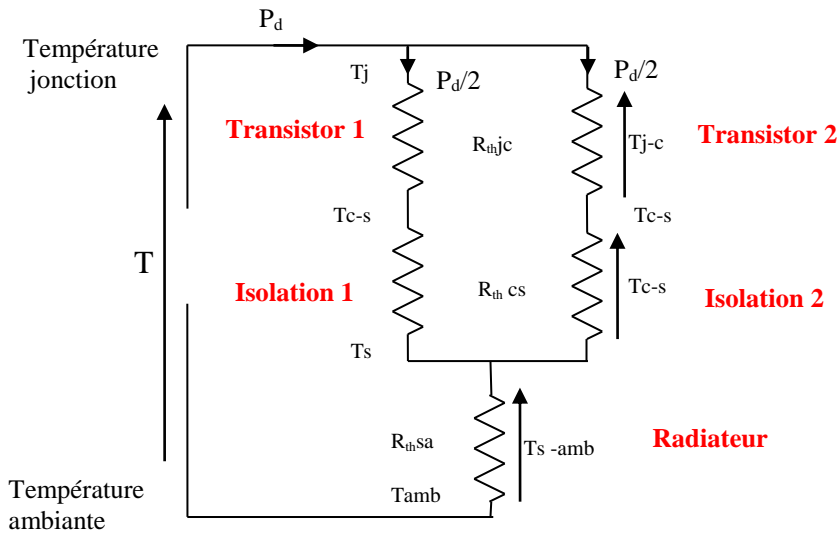
$$R_{\text{thsa}} = \frac{(T_j - T_{\text{amb}})}{P_d} - (R_{\text{thjc}} + R_{\text{thcs}}) = \frac{(160 - 40)}{50} - (1,52 + 0,4) = 2,4 - (1,92) = 0,48^{\circ}\text{C/W}$$

Il ne reste plus qu'à sélectionner le bon radiateur dans le catalogue des fabricants. Dans notre cas le radiateur choisi aura des dimensions importantes et sera onéreux. Parfois le calcul donne une valeur si faible qu'il est impossible de trouver un radiateur, il arrive aussi de trouver une valeur négative, il est alors indispensable de revoir les hypothèses de départ.

C'est pourquoi il est souvent préférable de monter 2 ou plusieurs transistors (composants) en parallèle pour diminuer les dimensions du radiateur et souvent le coût global de l'ensemble (voir le chapitre suivant : montage de plusieurs composants en parallèle sur le même radiateur.)

IX.7 Montage de composants montés en parallèle sur le même radiateur

Le problème est assez simple à traiter puisque cela revient au calcul de résistances (thermiques) montées en parallèle. Prenons le cas de 2 transistors de même référence montés sur le même radiateur (par exemple 2 transistors 2N3055 en //) et refaisons le schéma.



Si on se rappelle que la résistance équivalente à 2 résistances R mises en parallèle est R/2, alors on peut calculer la résistance thermique du radiateur de l'exemple du chapitre précédent :



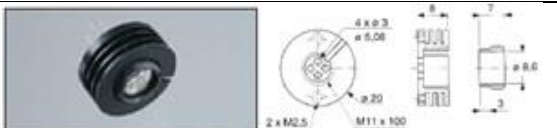
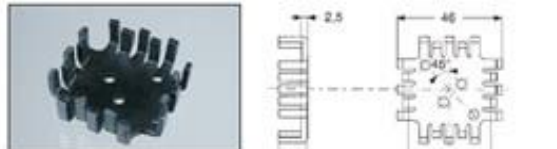
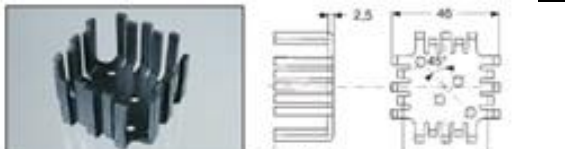
$$R_{th\ sa} = \frac{(T_j - T_{amb})}{P_d} - \frac{(R_{th\ jc} + R_{th\ cs})}{2} = \frac{(160 - 40)}{50} - \frac{(1,52 + 0,4)}{2} = 2,4 - (1,92) = 1,44 \text{ } ^\circ\text{C/W.}$$





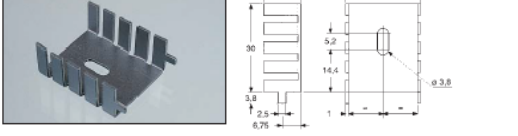
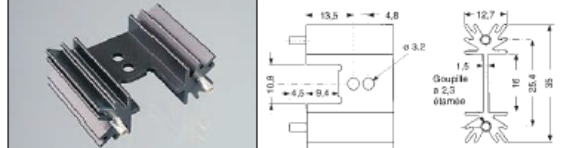
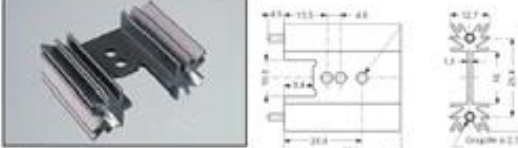
Ainsi la résistance thermique du radiateur est passée de

- 0,48 °C/W (cas avec 1 transistor)
- à 1,44°C/W (cas avec 2 transistors montés en parallèle)




La radiateur choisi aura des dimensions beaucoup plus réduites et sera d'un coût inférieur.

IX.8 Différents modèles de radiateurs

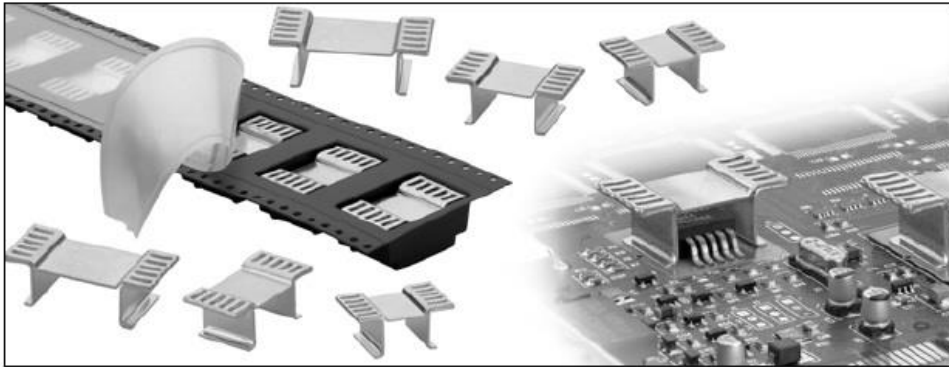
	
<p>Boitier TO18 → dissipateur ML68 $R_{th\ sa} = 77 \text{ } ^\circ\text{C/W}$</p>	<p>TO5 → dissipateur ML61 $R_{th\ sa} = 45 \text{ } ^\circ\text{C/W}$</p>
	
<p>TO5 → dissipateur CO215 $R_{th\ sa} = 45 \text{ } ^\circ\text{C/W}$</p>	
	
<p>TO3 → dissipateur CO865 $R_{th\ sa} = 7 \text{ } ^\circ\text{C/W}$</p>	<p>TO3 → dissipateur CO867 $R_{th\ sa} = 6 \text{ } ^\circ\text{C/W}$</p>

	
<p>TO3 → dissipateur CO1534 $R_{thSa} = 12 \text{ °C/W}$</p>	<p>TO3 → dissipateur CO1536 $R_{thSa} = 9 \text{ °C/W}$</p>
	
<p>TO 3P → dissipateur CO2546 $R_{thSa} = 3,5 \text{ °C/W (H=63mm)}$ 5 °C/W (H=38mm)</p>	
	
<p>TO202 TO220 → dissipateur RA37 1, 2, 3 $R_{thSa} = 18 \text{ °C/W}$</p>	<p>TO220 → dissipateur CO2253 $R_{thSa} = 20 \text{ °C/W}$</p>
	
<p>TO202 TO220 → dissipateur CO2245 1 $R_{thSa} = 14 \text{ °C/W}$</p>	<p>TO202 TO220 → dissipateur CO2245 2 $R_{thSa} = 11 \text{ °C/W}$</p>

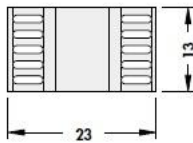
Pour boîtier TO3 TO66

 <p>TO 3 FK 201 / SA FK 201 / SA.3 FK 201 / SA.9.66 FK 201 / SA.CB 6,0 K/W</p> <p>CB Oberfläche schwarz eloxiert</p> <p>SOT 9 + TO 66 FK 202 / SA FK 202 / SA.3 FK 202 / SA.9.66 FK 202 / SA.CB 8,0 K/W</p>	<p>Radiateur ML25 pour TO3</p>  <p>$R_{th} : 2,4 \text{ °C/W}$ pour 100mm - Longueur : 40mm</p> <p>Radiateur ML25 pour 2xTO3</p>  <p>$R_{th} : 2,4 \text{ °C/W}$ pour 100mm - Longueur : 75mm</p>
---	---

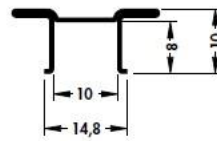
Dissipateur pour boîtier Dpak (augmentation de la surface de dissipation d'un circuit imprimé (extrait du catalogue fischer)



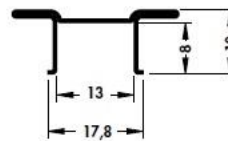
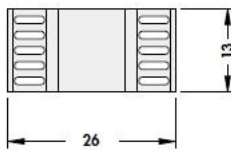
FK 244 D PAK 25 K/W
FK 244 D PAK TR
 - Gurt und Spule
 - Gurtbreite: 44 mm
 - Spulendurchmesser: 330 mm
 - Stückzahl: 200



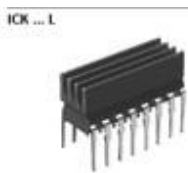
FK 244 D PAK TR
 - Tape and Reel
 - tape width: 44 mm
 - reel diameter: 330 mm
 - pieces: 200



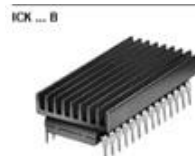
FK 244 D PAK TR
 - ruban et bobine
 - largeur de la bande: 44 mm
 - diamètre du rouleau: 330 mm
 - pièces: 200



Boîtier Circuit intégré



Art. Nr.	Gehäuse	Maße [mm]	
		L	KW
ICK 6/8 L	6/8 polig	8,5	8,3
ICK 14/16 L	14/16 polig	19,0	46
ICK 20 L	20 polig	25,0	34
ICK 1000 L	-	1000,0	-



Art. Nr.	Polzahl	Maße [mm]	
		L	KW
ICK 14/16 B	14/16 polig	6,3	50,0
ICK 24 B	24 polig	33,0	13,0
ICK 28 B	28 polig	37,0	11,5
ICK 36 B	36 polig	47,0	9,5
ICK 40 B	40 polig	51,0	8,5
ICK 1000 B	-	1000,0	-



	Dimensions (mm)				R.th	
K 150	150	x	70	x	26	1,5°C/W
K 150	150	x	100	x	26,5	1,3°C/W
K 213	213	x	70	x	26,5	0,7°C/W
K 300	300	x	70	x	40	0,5°C/W

X Le régulateur de tension intégré

X.1 Généralités

Le régulateur de tension intégré est un composant important qui ne doit pas être négligé puisqu'il va participer au bon fonctionnement de l'appareil ou d'une partie de celui-ci. En cas de mauvais fonctionnement du régulateur de tension (sous dimensionnement, bruit, mauvais câblage, non respect des préconisations du fabricant) le dysfonctionnement de l'appareil sera très difficile à analyser.

On peut classer les régulateurs de tension en 2 grandes catégories :

- Le régulateur de tension linéaire,
- Le régulateur de tension à découpage.

Ce chapitre n'abordera pas les autres types de régulateurs.

X.2 Le régulateur de tension linéaire

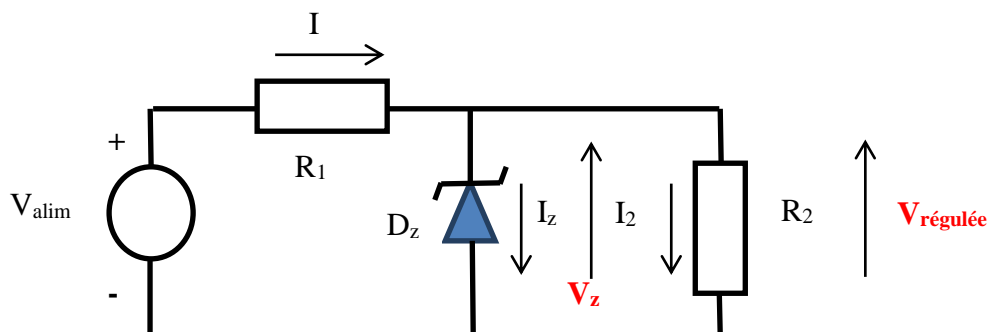
Le régulateur de tension linéaire est basé sur un composant actif travaillant dans sa zone linéaire ou sur un composant passif tel que la diode Zener qui va fonctionner dans sa zone inverse.

On classe en 2 catégories les régulateurs de tension linéaire à partir de leur mode de fonctionnement :

- Mode shunt (parallèle) tel que la zener,
- Mode série.

X.3 Le régulateur de tension linéaire shunt

Dans ce mode de fonctionnement, l'élément régulateur est monté en parallèle sur la charge et absorbe une intensité de courant plus ou moins grande de la source d'alimentation au travers d'une résistance ce qui permet de maintenir la tension fixe au niveau de la charge. Ce type de fonctionnement est à réserver aux petites intensités de courant du fait de son mauvais rendement. Le fonctionnement de ce mode de régulation est expliqué à partir de l'exemple simple de la diode zener.



Les différents éléments du schéma ci-dessus : R_1 = résistance chutrice, R_2 = charge utile, D_z = diode zener montée en inverse, V_{alim} = tension d'alimentation non régulée et $V_{\text{régulée}}$ = tension régulée au niveau de la charge utile et V_z = tension zener = $V_{\text{régulée}}$. Et $I = I_z + I_2$.

La tension Zener permet de stabiliser la tension de sortie. La résistance R_1 fournit le courant Zener I_z ainsi que le courant de sortie I_2 circulant dans la résistance R_2 représentant la charge utile. Lorsque la charge absorbe un courant I_2 constant, R_1 peut être calculée de la façon suivante :

Pour diminuer l'énergie perdue, on optimise l'intensité du courant I_z traversant la diode en prenant comme valeur, le courant minimal de polarisation de la diode (tension zener) après le coude. Lorsque la charge consomme un courant variable, R_1 est calculée avec la valeur maximum d' I_2 ; lorsque l'intensité du courant de charge est inférieure à cette valeur, la diode Zener va drainer l'excès de courant.

Ce mode de régulation est utilisé pour de faibles consommations. Les performances de ce mode de régulation sont limitées, la stabilité de la tension de sortie dépendant de la variation du courant Zener et de la résistance dynamique de la diode zener. Le courant Zener varie en fonction de la tension V_{alim} et des variations du courant de la charge. La tension Zener dépend des variations de température sauf pour celles d'environ 6,2V.

Il faut tenir compte de la puissance dissipée par la résistance chutrice et la diode zener vers le milieu ambiant.

Pour améliorer les performances du régulateur linéaire shunt simple basé sur l'utilisation d'une diode zener, on a recours à des « super diodes zener » qui sont en réalité des circuits intégrés composés de plusieurs composants dont en général une référence à barrière de potentiel (Band Gap) précise et stable en température en général de 1,250 V ou 2,50 V.

Dans cette catégorie de « super diodes zener », on trouve les AD580 / 581, ICL8069, LM399 (zener chauffée), LM385, TL431 (uA431), REF01, REF02, .

Le branchement de ce type de composant est analogue à celui d'une diode zener mais avec des caractéristiques beaucoup plus intéressantes : meilleure précision de la tension de référence et de la stabilité de la tension régulée. Voir les sites des fabricants pour les connexions.

Exemple du LM385 :

Le LM285/LM385 est disponible en boîtier « bas coût » dans 2 versions de tension : 1,235V et 2,5V dans une gamme de température -40° à $+85^\circ$ (LM285) et 0° à $+70^\circ$ (LM385)

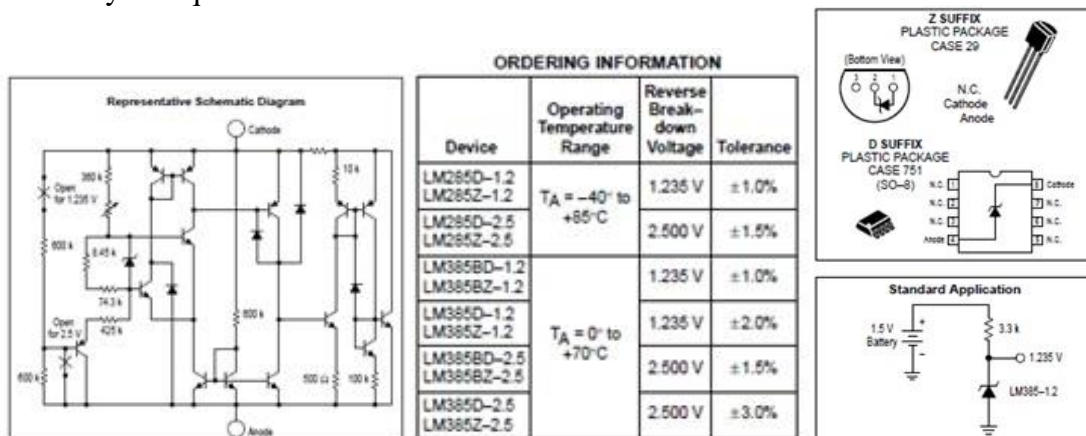
Caractéristiques :

Intensité du courant : 10uA à 20mA

Précision : 1%, 1,5%, 2% et 3% (fonction du coût)

Coefficient de température très bas,

Résistance dynamique : 1Ω

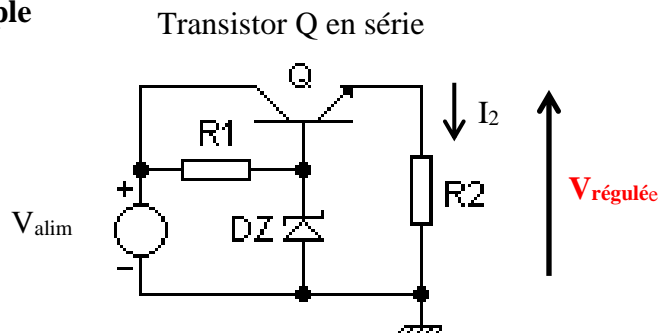


Exemple du TL431 : Voir le chapitre sur les diodes zener

X.4 Le régulateur de tension linéaire série

X.4.1 Généralités – Principes

Le régulateur série simple

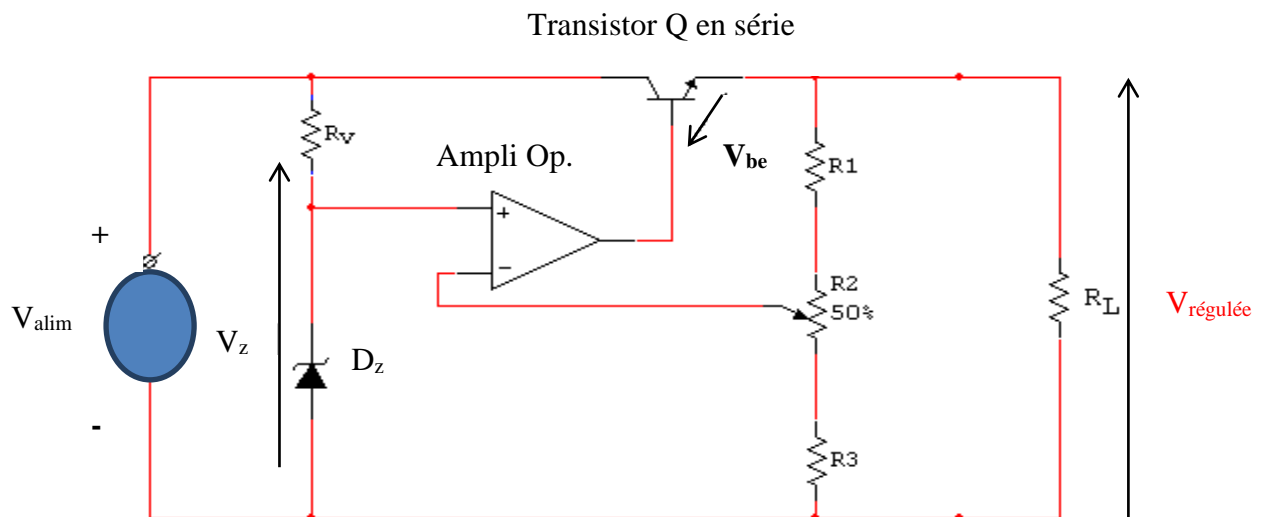


Dans le mode de régulation de tension linéaire série, un transistor est inséré (~ en série) entre la tension d'alimentation non régulée et la charge utile (et donc la tension régulée). Le transistor Q gère le courant de sortie I_2 qui peut être variable et « absorbe » les variations de V_{alim} . La résistance R_1 fournit le courant Zener I_Z et le courant de base du transistor.

Ce mode de fonctionnement améliore les performances de la régulation par rapport à celle d'une simple diode Zener en effet le courant de base du transistor ne charge presque pas la diode Zener, limitant ainsi les variations de la tension Zener dues aux variations de charge. La tension de sortie sera inférieure de $0,65\text{ V}$ à la tension de référence V_Z en raison de la tension Base-Émetteur V_{BE} du transistor. L'amélioration des performances du régulateur linéaire série sont de l'ordre du gain en courant du transistor par rapport au régulateur shunt simple à diode zener.

Le régulateur de tension linéaire avec boucle de contre-réaction

Pour améliorer les performances et la facilité de réglage de la tension régulée de sortie on rajoute une boucle de contre-réaction pour asservir la tension régulée de sortie. C'est toujours une régulation linéaire en mode série puisque le transistor Q est en série avec la charge utile R_L .



Sur le schéma ci-dessus, l'asservissement de la tension de sortie $V_{\text{régulée}}$ est réalisé par l'amplificateur opérationnel et le pont diviseur de tension constitué des résistances R_1 , R_2 et R_3 . Le pont diviseur de tension fournit une fraction de la tension de sortie $V_{\text{régulée}}$ à l'amplificateur opérationnel sur son entrée inverseuse (= contre réaction). Le principe de la contre réaction peut se résumer ainsi : si la tension de sortie $V_{\text{régulée}}$ augmente, la tension sur

l'entrée inverseuse augmente ce qui implique que la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel diminue et par conséquent la tension de sortie $V_{\text{régulée}}$ diminue et se soustrait de l'augmentation à l'origine du processus, il y a ainsi une stabilisation. La tension de référence V_z sur l'entrée non inverseuse n'a pas changée.

Pour régler la tension de sortie $V_{\text{régulée}}$ il suffit de faire varier la fraction de tension ramenée par le pont diviseur de tension en réglant le potentiomètre R_2 .

Tous ces types de régulateurs de tension linéaire nécessitent d'avoir une tension d'entrée supérieure à la tension régulée de sortie au minimum de quelques volts (souvent 2V) ou à une fraction de volt (souvent 0,6V) pour les régulateurs à faible tension de chute / déchet (low dropout).

Cette tension de chute multipliée par le courant absorbé par la charge va générer une puissance à évacuer sous forme de chaleur par le régulateur qui pourra être installé sur un dissipateur de chaleur (radiateur) pour en faciliter le transfert au milieu ambiant.

Les performances de ce schéma de principe ont été améliorées par l'ajout/modification de composants : remplacement de la diode zener par une « super diode zener ou référence à barrière de potentiel plus précise et stable en température, remplacement du transistor Q par un transistor darlington NPN-NPN (ou NPN – PNP), MosFet pour augmenter les capacités de l'intensité du courant de sortie, limitation de courant (pour éviter la destruction en cas de court-circuit de la sortie), limitation de la puissance de sortie lorsque le transistor « chauffe », limitation en température, intégration de tous les composants dans un régulateur tripode, etc.

On peut classer les régulateurs de tension linéaire série en 2 catégories :

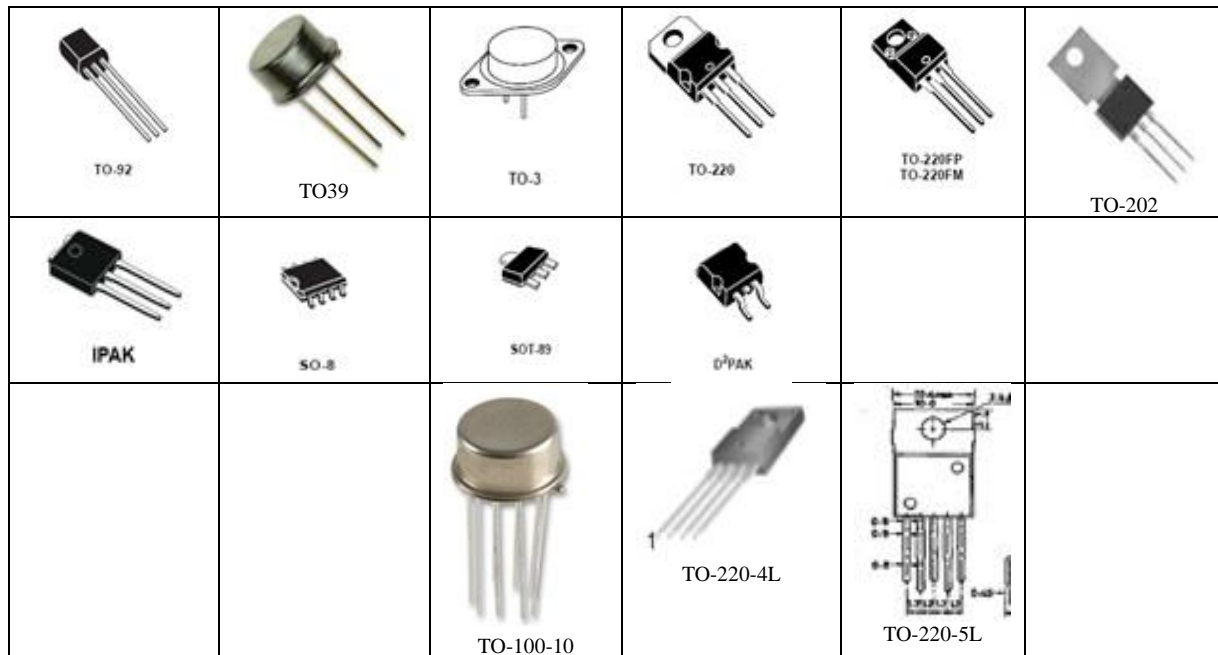
1. le régulateur de tension fixe,
2. le régulateur de tension réglable/ajustable.

X.4.2 Le régulateur intégré de tension fixe (linéaire série)

Ce type de régulateur est d'un coût modique, facile à approvisionner, stable, précis et robuste si on respecte les préconisations du fabricant. On le retrouve dans la majorité des appareils amateurs ou professionnels depuis plusieurs décennies. On a le choix concernant les différentes tensions de sortie, la polarité (positive ou négative), l'intensité maximale du courant de sortie et le type de boîtier.

X.4.3 Le boîtier du régulateur de tension fixe

Les images des boîtiers sont extraites des documents de ST, National Semiconductor et autres



X.4.4 Le classique – le régulateur de tension fixe tripode

Le régulateur intégré de tension fixe tripode dispose de 3 connexions extérieures nommées :

1. « entrée » (ou Input en Anglais) à relier à la tension d'entrée non régulée,
2. « sortie » (ou Output en Anglais) à relier à la tension de sortie régulée,
3. « commun » (ou Ground en Anglais) à relier au commun.

Il est fabriqué par de multiples fabricants sous des dénominations différentes :

Par exemple le régulateur 5V → SFC2109, 7805, μ A7805, LM7805, MC7805, LM340 5.0, LM342P, 78L05, 78M05, AMC1117, S1117, etc

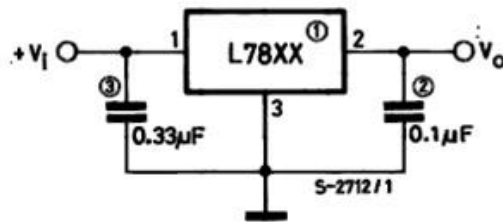
Les premiers régulateurs ont été intégrés dans les boîtiers usuels de l'époque TO39 et TO3 puis sont arrivés les boîtiers TO220, ... puis les boîtiers au format CMS.

X.4.5 Conseils de montage du régulateur de tension tripode

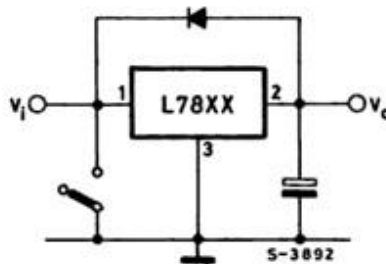
Le montage de ce type de régulateur est simple mais il faut quand même respecter quelques préconisations :

- 1) Il faut disposer d'une tension d'entrée inférieure à la tension d'entrée maximale indiquée par le fabricant et plus élevée que la tension de sortie régulée d'un minimum mentionné dans les caractéristiques du régulateur à savoir environ 1,5V à 2,5V pour les régulateurs classiques et 0,6V à 1V pour le régulateur à faible tension de chute (Low Dropout ou LDO).

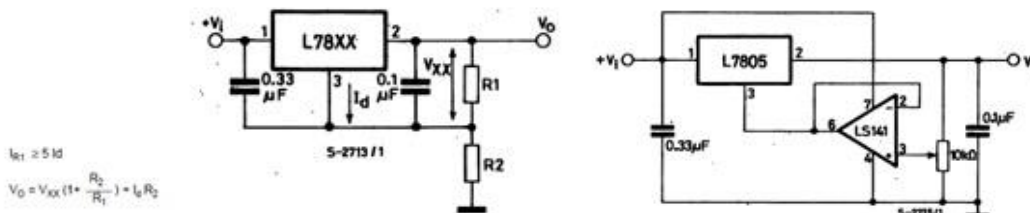
- 2) Il faut tenir compte de la chaleur dégagée par le régulateur et si nécessaire prévoir de l'installer sur un dissipateur thermique adéquat. D'autre part, du fait de la chaleur dégagée ne pas placer les condensateurs de filtrage électrochimique/électrolytique d'entrée et de sortie près du régulateur pour éviter un vieillissement prématuré de ces condensateurs.
- 3) Si le régulateur est éloigné des condensateurs de lissage / découplage il faut installer au plus près du régulateur un condensateur en entrée et en sortie pour éviter les éventuelles oscillations ou parasites.



- 4) Dans le cas où la tension sortie (plus de 6V) filtrée par un condensateur dont la capacité est plus importante que celle du condensateur d'entrée, le phénomène transitoire suivant peut survenir lors de l'arrêt de l'appareil : la tension de sortie devient bien supérieure à celle d'entrée et polarise ainsi le(s) transistor(s) du régulateur en inverse et peut conduire à leur destruction. La protection consiste à installer une diode en inverse entre les connexions d'entrée et de sortie.



- 5) Dans le cas où l'on ne dispose pas d'un régulateur de tension fixe adapté aux besoins, il est possible d'utiliser l'un des 2 montages ci-dessous.





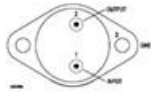
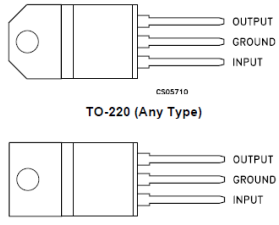
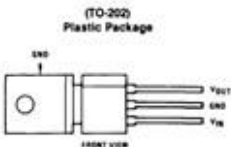
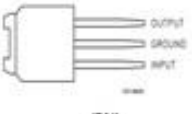
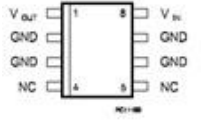
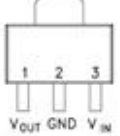
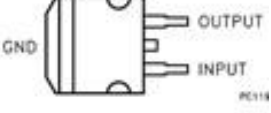
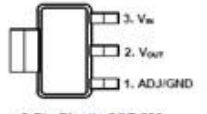
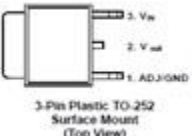
$$I_{d1} \geq 5 I_d$$

$$V_0 = V_{XX} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = I_d R_2$$

X.4.6 Le brochage du régulateur tripode positif


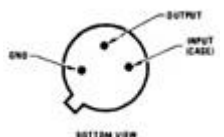
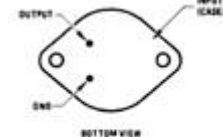
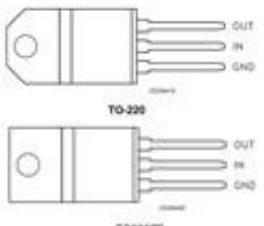
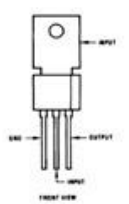
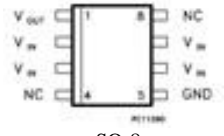
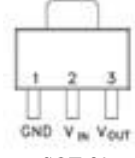
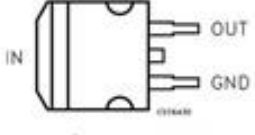
Le brochage du régulateur positif est extrait des différents catalogues des fabricants (Thomson, ST, National Semiconductor, Motorola, On semiconductor, Fairchild, etc.).

Il est à noter que certains fabricants n'existent plus sous cette dénomination.

 <p>PC11200 PIN 1 = V_{out} PIN 2 = GND PIN 3 = V_{in}</p> <p>TO-92 BOTTOM VIEW</p>	 <p>(TO-39) Metal Can Package</p> <p>INPUT OUTPUT GND</p> <p>CASE IS GND BOTTOM VIEW</p>	 <p>INPUT OUTPUT GND</p> <p>TO-3 Vu du haut</p>	 <p>OUTPUT GROUND INPUT</p> <p>CS05710 TO-220 (Any Type)</p> <p>OUTPUT GROUND INPUT</p> <p>CS05700 TO-220FP/TO-220FM</p>	 <p>(TO-220) Plastic Package</p> <p>GND V_{out} GND V_{in}</p> <p>FRONT VIEW</p>
 <p>OUTPUT GROUND INPUT</p> <p>IPAK</p>	 <p>V_{out} GND GND NC</p> <p>1 8 4 5</p> <p>V_{In} GND GND NC</p> <p>PC11200 SO-8</p>	 <p>1 2 3</p> <p>V_{out} GND V_{In}</p> <p>PC12100 SOT-89</p>	 <p>GND INPUT OUTPUT</p> <p>PC1118 D²Pak</p>	 <p>3. V_{in} 2. V_{out} 1. ADJ/GND</p> <p>3-Pin Plastic SOT-223 Surface Mount (Top View)</p>
 <p>3. V_{in} 2. V_{out} 1. ADJ/GND</p> <p>3-Pin Plastic TO-252 Surface Mount (Top View)</p>				

Remarque : les boîtiers sont soit vus du dessous (Bottom view) soit vus du dessus (Top view) soit vus de devant (Front view).

X.4.7 Le brochage du régulateur tripode négatif

 <p>PC11200 PIN 1 = GND PIN 2 = V_{in} PIN 3 = V_{out}</p> <p>TO-92 BOTTOM VIEW Vu du dessous</p>	 <p>OUTPUT INPUT (CASE) GND</p> <p>TO-39 (vu du dessous)</p>	 <p>OUTPUT INPUT (CASE) GND</p> <p>Steel Metal Can Package TO-3 (K) BOTTOM VIEW</p>	 <p>OUT IN GND</p> <p>CS05700 TO-220</p> <p>OUT IN GND</p> <p>CS05700 TO-220FP</p>	 <p>INPUT GND OUTPUT</p> <p>TO-220 Power Package (P) FRONT VIEW</p>
	 <p>V_{out} V_{in} V_{in} NC</p> <p>1 8 4 5</p> <p>V_{In} GND GND NC</p> <p>PC11200 SO-8 Vu du dessous</p>	 <p>1 2 3</p> <p>GND V_{in} V_{out}</p> <p>SOT-89 Vu du dessous</p>	 <p>IN GND OUT</p> <p>CS10400 D²PAK (any type)</p>	

X.4.8 Caractéristiques de régulateurs intégrés tripode de tension fixe

Les caractéristiques principales des régulateurs intégrés tripode de tension fixe sont la tension de sortie régulée, l'intensité maximale du courant de sortie, la tension minimale et maximale d'entrée, la régulation en fonction des changements de la tension d'entrée, la régulation en fonction de la variation de l'intensité du courant absorbé par la charge et le bruit.

Liste non exhaustive des différentes tensions de sortie des régulateurs de tension positive et négative :

Les usuelles : 3,3V; 5V; 6V; 8V; 9V; 10V; 12V; 15V; 18V; 20V; 24V,

Les plus rares/anciennes : 2V, - 5,2V (pour la logique ECL),

Liste non exhaustive des différentes intensités de courants maximales :

100mA, 500mA, 1A, 1,5A et 3A et plus.

Tableau récapitulatif des caractéristiques principales de quelques tensions de sortie positives

Référence	Tension de sortie	Tension d'entrée mini	Tension d'entrée maxi	Courant Sortie maxi	Régulation Ligne charge	Bruit	Boitier
LM309H	+5V	7,40V	25V	200mA	50mV	40uV	TO-39
LM309K SFC2309	+5V	7,40V	25V (35v)	1A	50mV	40uV	TO-3
LM323	+5V	7,5V	20V	3A – 5A	5mV 25mV	40uV	TO-3
78L05	+5V	7V	20V	100mA	100mV – 60mV	40uV	TO-92
78M05	+5V	7V	25V	500mA	100mV – 100mV	40uV	TO-220 D-PAK
7805CK	+5V	7V	25V	1A	50mV – 50mV	40uV	TO-3
7805CT	+5V	7V	25V	1A	50mV – 50mV	40uV	TO-220
78S05	+5V	8V	25V	2A	50mV – 80mV	40uV	TO-220
LM2931T- 5.0 (LDO)	+5V	6V	26V	100mA	10mV – 30mV	500uV	TO-220 TO-263 TO-92 SOIC 8
AMC1117 -5.0 CMS	+5V Low drop 0,8V	6,5V	7V	1A	6mV – 10mV	40uV	SOT-223 SOT-252
AMC7585 Low dropout	+5V Low drop 1,1V	6,5V	7V	5A	0,2% 0,3%		TO-220 SOT-252 SOT-263
7808	+8V	10V	25V (35V)	1A	40mV – 40mV	40uV	TO-3 TO-220 D-PAK
7812	+12V	14,5V	30V	1A	60mV – 60mV	40uV	TO-3 TO-220 D-PAK
L037	+15V		27V	> 450mA	0,16% 0,3%	180uV	TO-3

7815	+15V	17,5V	30V	1A	75mV – 75mV	40uV	TO-3 TO-220 D-PAK
7824	+24V	27V	38V	1A	120mV – 120mV	40uV	TO-3 TO-220 D-PAK

Les caractéristiques principales des régulateurs tensions intégrés de sortie négatives sont en grande partie analogues à ceux positifs.

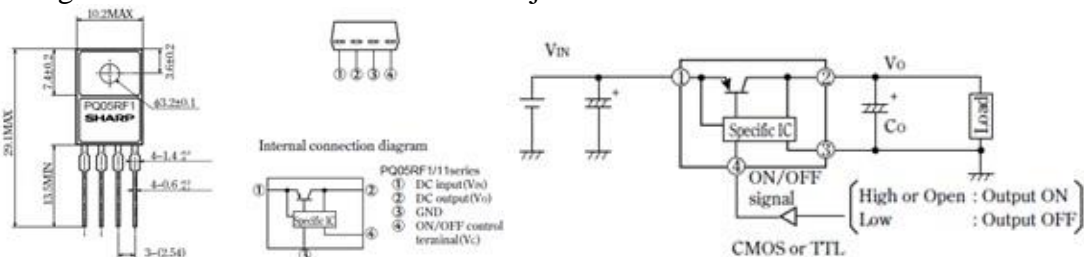
X.4.9 Le Régulateur de tension fixe – les cas particuliers

A la demande de constructeurs d'appareils commerciaux les fabricants de composants ont proposé des régulateurs avec l'ajout de fonctions supplémentaires :

- une connexion pour le marche/arrêt du régulateur,
- une régulation de tension double / symétrique (utile pour alimenter les amplis opérationnels),
- une régulation de multiples tensions, etc.

Le régulateur de tension fixe avec une connexion pour gérer la mise en marche et l'arrêt en boîtier TO-220F-4L (4 pins = connexion) :

Le **PQ05RF1 (series)** fabriqué par Sharp est un régulateur de tension fixe (5V, 9V ou 12V) faible chute de tension (LDO) muni d'une connexion supplémentaire qui gère le marche/arrêt du régulateur. Il existe aussi une version ajustable.

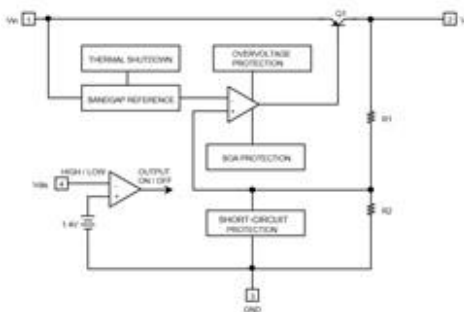


Le KA78R05 fabriqué par Fairchild est analogue au PQ05RF1.

TO-220F-4L



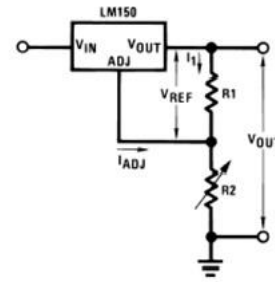
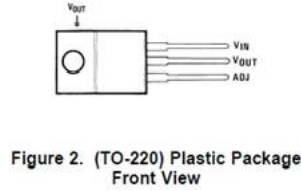
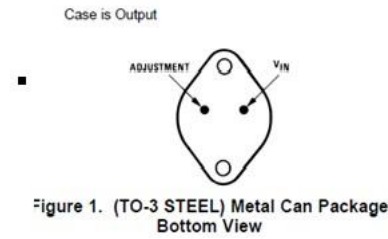
1. Vin 2. Vo 3. GND 4. Vdis



LM350 (3A)

La tension de sortie est donnée par la formule :

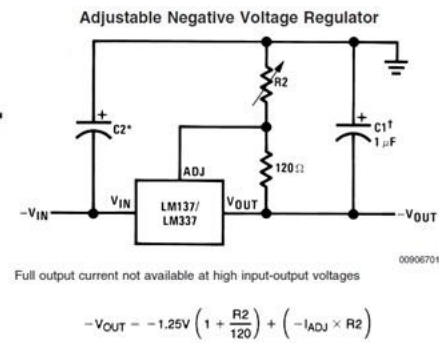
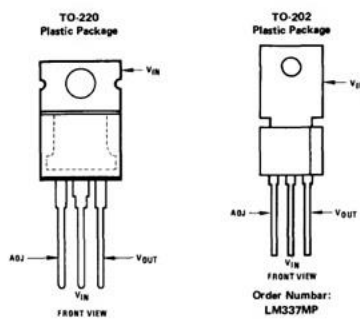
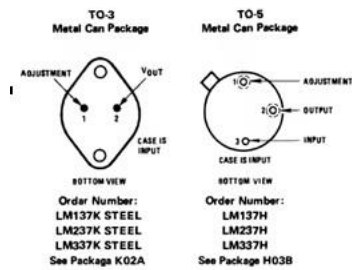
$$V_{out} = V_{ref} (1 + R_2/R_1) + I_{adj} * R_2 \text{ avec } V_{ref} = 1,25V$$



Le régulateur de tension ajustable négatif

LM337 (1,5A) : brochage (catalogue de National Semiconductor) et son montage.

Connection Diagrams

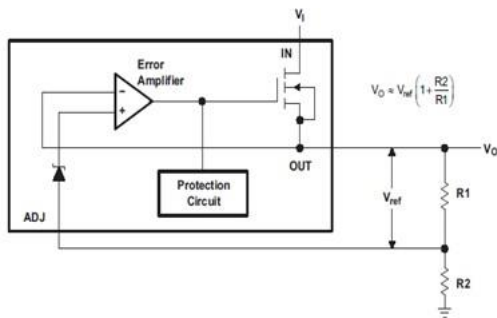


X.4.10.3 Le régulateur de tension ajustable haute tension TL783C

Ce régulateur est ajustable par un pont diviseur (R_1 et R_2) pour obtenir une tension de sortie réglée de 1,25V à 125V à une intensité maximale du courant de 700mA.

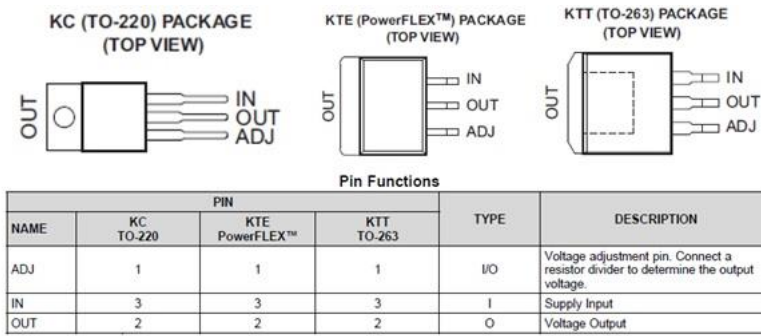
Voir ci-dessous le schéma simplifié extrait d'un document Texas Instrument.

La tension de référence est de 1,27V typique.



0.001%/V Typical Input Voltage Regulation
0.15% Typical Output Voltage Regulation
76-dB Typical Ripple Rejection

Il se présente sous la forme de 3 boîtiers différents :



X.4.10.4 Le régulateur de tension ajustable L200

Ce type de régulateur à 5 connexions permet de réaliser une alimentation stabilisée ajustable de 2,85V à 35V d'une intensité maximale de 2A. Il est muni de protection thermique et d'une limitation d'intensité du courant ajustable. On le trouve dans une majorité d'alimentations stabilisées commerciales à faible coût avec des transformateurs classiques 50Hz.

Il se présente sous la forme de 2 boîtiers avec un brochage vu du dessus :

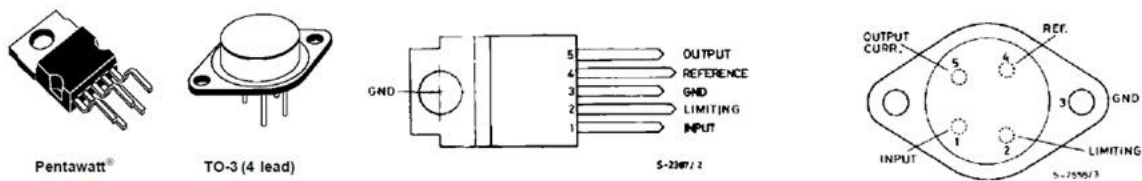


Figure 1. Programmable Voltage Regulator with Current Limiting

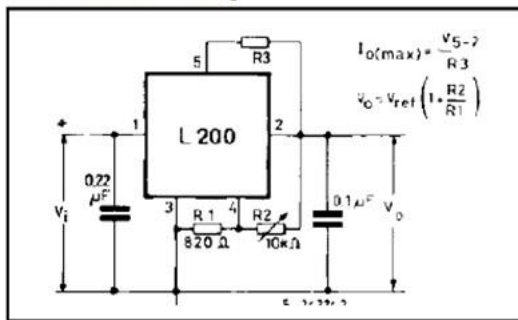
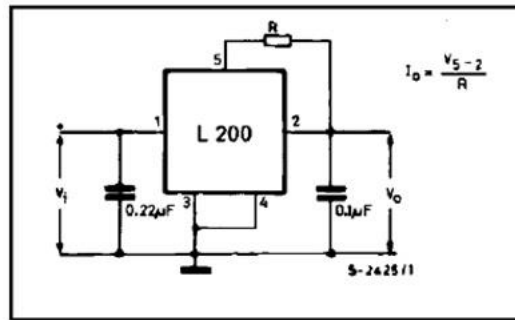


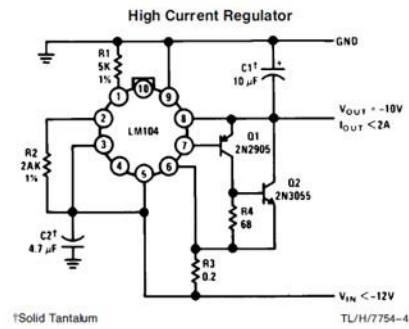
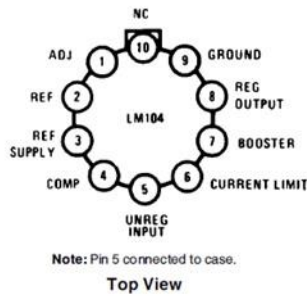
Figure 2. Programmable Current Regulator.



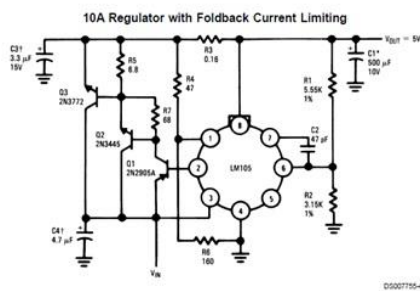
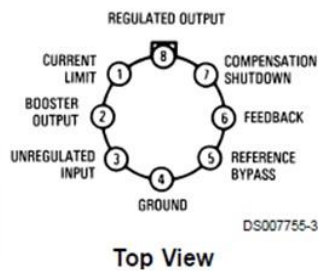
X.4.10.5 Un autre classique – le régulateur ajustable 8/10/14 connexions

Ce type de régulateur permet de réaliser une alimentation stabilisée réglable de faible intensité ou plus puissante avec l'ajout de transistors « ballast » externes. On trouve dans cette gamme les classiques LM723, les LM304 et LM305 installés dans une majorité d'alimentations stabilisées commerciales anciennes telles celles destinées à la CB ou au radioamateur avec des transformateurs classiques 50Hz.

Le LM304 (LM104, LM204) permet de réaliser des alimentations régulées négatives.



Le LM305 (LM105, LM205) permet de réaliser des alimentations régulées positives.



Le LM723 (boîtier rond ou DIL-14) est très souple pour réalisation d'alimentation régulée

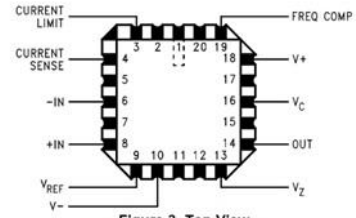
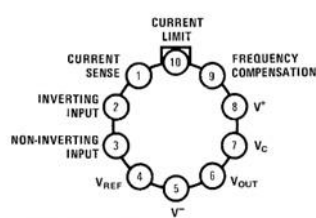
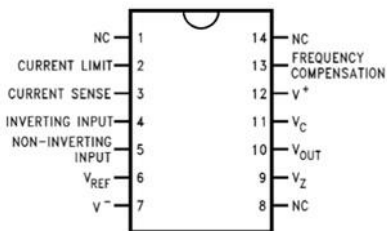


Figure 3. Top View See Package NAJ0020A

Boîtier DIL-14

Rond TO-100 (5)

<p>Régulateur de tension positive Tension de sortie : + 15 v Régulation en ligne ($\Delta V_{in} = 3V$) : 1,5 mV Régulation en charge ($\Delta I_l = 1A$) : 15 mV</p>	<p>Régulateur de tension négative Tension de sortie : - 15 v Régulation en ligne ($\Delta V_{in} = 3V$) : 1 mV Régulation en charge ($\Delta I_l = 1A$) : 2 mV</p>

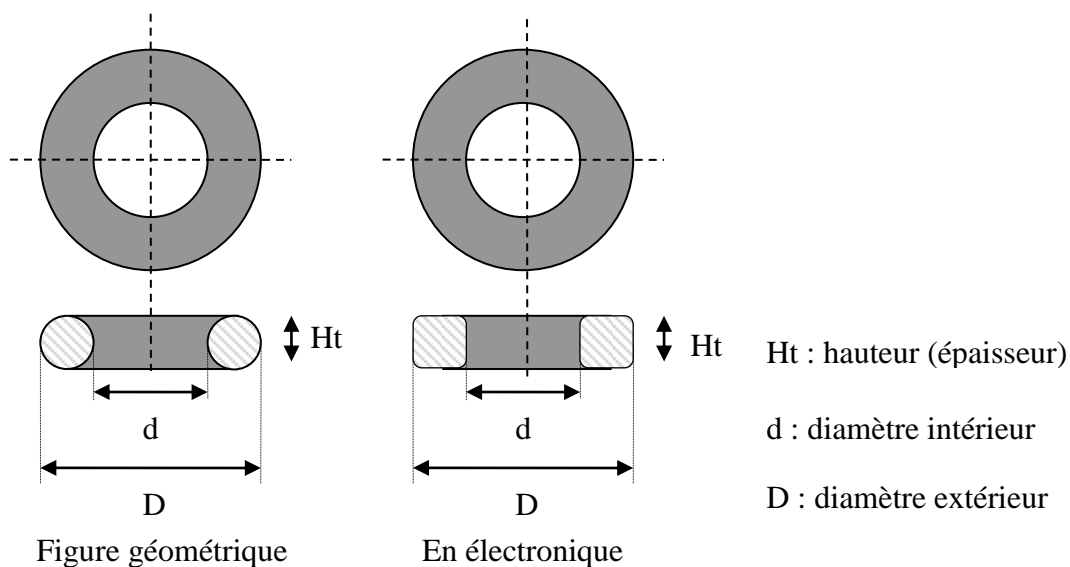
X.5 Le régulateur de tension à découpage (A venir)

XI Le tore magnétique

XI.1 Généralités (A compléter)

Le tore tire son nom de sa forme géométrique s'apparentant à un anneau épais ou tube courbé refermé sur lui-même. En géométrie, un tore désigne un solide de révolution de l'espace obtenu à partir d'un cercle ou sa surface.

En électronique, pour des raisons pratiques de fabrication et de bobinage, la section du tore (partie hachurée sur la figure ci-dessous) est un rectangle aux angles arrondis pour ne pas blesser l'isolant du fil du bobinage sur des arêtes vives lorsque le fil est bien tendu (ce qui est recommandé).



En électronique, le tore est caractérisé par ses dimensions (diamètres intérieur et extérieur et sa hauteur (épaisseur)) et le matériau le constituant.

La puissance admissible par la bobine ou le transformateur réalisé en enroulant un ou plusieurs fils sur le tore est proportionnelle à la section du tore (partie hachurée). Pour augmenter la puissance admissible, il est possible d'empiler plusieurs tores de même référence pour former un « pseudo-tore » plus épais, ce qui revient à augmenter la section du circuit magnétique.

XI.2 Les diverses utilisations

Le tore sert de support de fabrication pour certains types de bobines et de transformateurs. On le rencontre depuis les basses fréquences dans les alimentations à découpage et les filtres antiparasites (ou autres) jusqu'aux très hautes fréquences dans les circuits sélectifs ou à large bande, les transformateurs et les baluns.

La classification des principaux matériaux

Caractéristiques du matériel (à venir)

XII Le thyristor – Le triac(à venir)

XIII Le transistor(à venir)

XIV Le transformateur

XIV.1 Le transformateur – l'induction mutuelle – généralités

Rappel du cours :

Le transformateur est un composant passif, non polarisé, composé d'au moins deux enroulements bobinés autour d'un même circuit magnétique. Ce circuit magnétique est composé, par ordre croissant de la fréquence du courant, d'un empilement de tôles minces, de ferrite ou d'air (pas de circuit magnétique représenté). Le transformateur est un cas particulier de bobines couplées. L'énergie est appliquée sur le **primaire** et est récupérée sur le ou les **secondaires**. Un transformateur ne transforme que des courants alternatifs (et si possible sinusoïdaux). Un transformateur possède plusieurs caractéristiques : le **nombre de spires** de ses enroulements (n_p pour le primaire et n_s pour le secondaire) donne le rapport de transformation $N = n_s / n_p$ (si $N > 1$, le transformateur est élévateur, sinon il est abaisseur) ; la **puissance utile** délivrée au(x) secondaire(s) du transformateur est exprimée en Volt-Ampères (VA) et non pas en watts car ils'agit d'une puissance délivrée sur le secondaire et non pas consommée comme le ferait une simple résistance ; le **rendement** η (lettre grecque eta minuscule) est le rapport en % obtenu en divisant la puissance à la sortie du ou des secondaires (P_s) par la puissance d'entrée (P_p). Un transformateur parfait (ou idéal) a un rendement de 100% : toute l'énergie présente sur le primaire est transférée sur le ou les secondaires.

N = Rapport de transformation = n_s / n_p

Puissance utile : $P_s = U_s \cdot I_s = U_p \cdot I_p = P_p$ $\eta = 100\%$

$U_s = U_p \cdot N$ ou $U_p = U_s / N$

$N = U_s / U_p$ ou $N = I_p / I_s$

$I_s = I_p / N$ ou $I_p = I_s \cdot N$

$Z_s = Z_p \cdot N^2$ ou $Z_p = Z_s / N^2$ ou $N = \sqrt{Z_s / Z_p}$

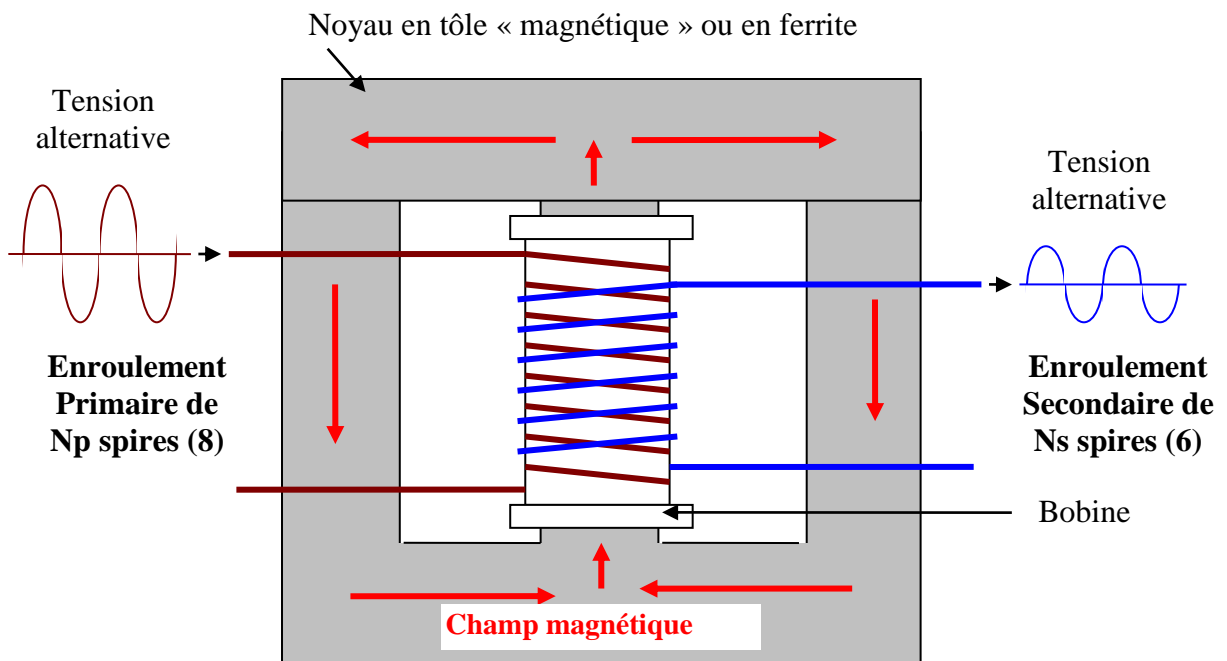
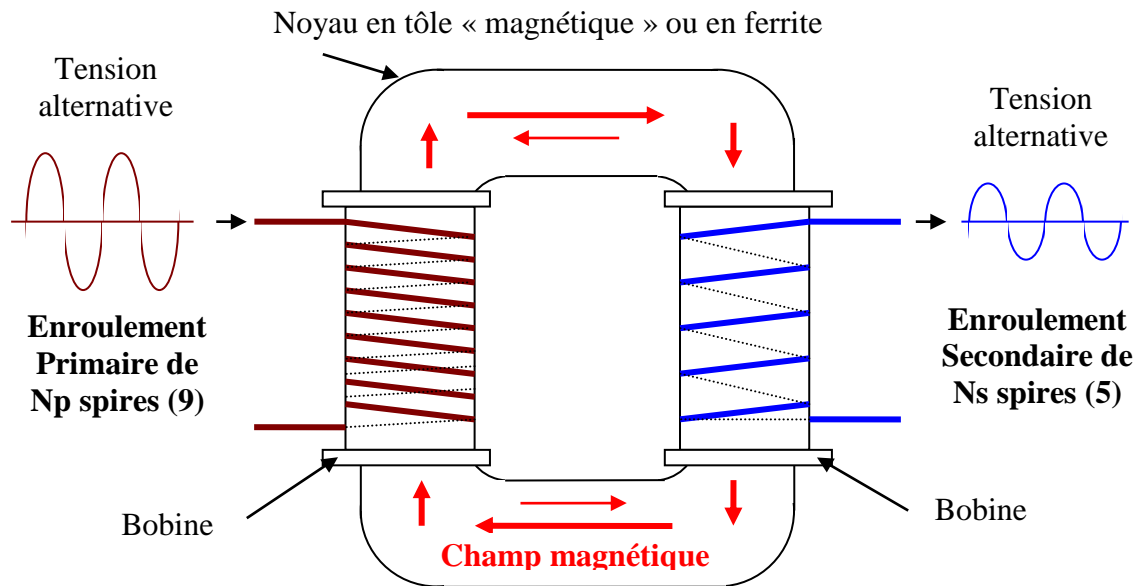
La taille du noyau (sa section) est proportionnelle à la puissance admissible du transformateur et dépend du matériau le constituant.

Le courant de Foucault :

Le courant alternatif dans l'enroulement primaire engendre dans le circuit magnétique un flux alternatif. Ce flux variable engendre un courant alternatif dans le secondaire mais aussi dans la tôle du circuit magnétique. Ces courants induits sont dits courants de Foucault et provoquent l'échauffement de la tôle, donc des pertes. Pour limiter ces pertes, le circuit magnétique sera feuilleté et chaque élément (en forme de E ou de I) sera isolé par vernissage ou par une couche d'oxyde. Les pertes par courants de Foucault sont proportionnelles au carré de la fréquence, ce qui justifie la diminution de l'épaisseur des tôles quand la fréquence augmente. Pour les fréquences élevées (au delà de la B.F.), le feuilletage ne suffit plus, des poudres ferromagnétiques (ferrite) sont alors employées.

Schéma du principe de fonctionnement de quelques transformateurs

Exemple d'un transformateur abaisseur $N_p > N_s$ ($9 > 5$)
Avec un noyau, un seul enroulement primaire et secondaire



Noyau avec un empilement de tôles magnétiques en forme de E et de I (alternées)

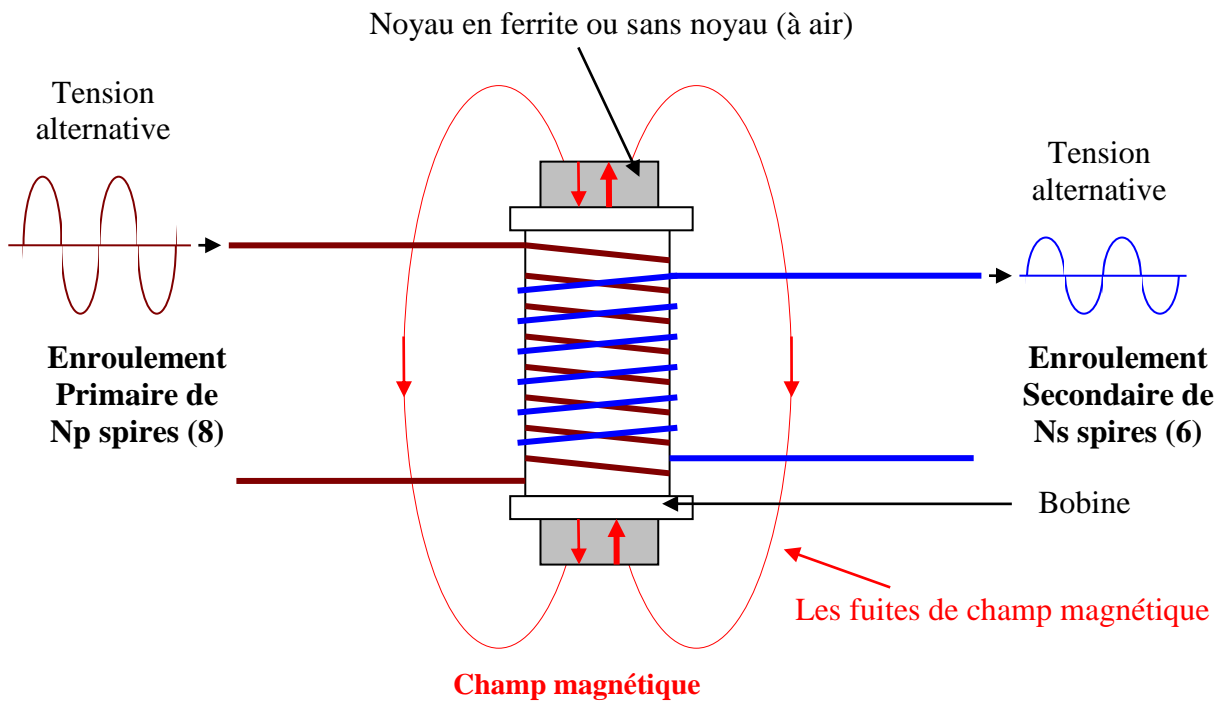
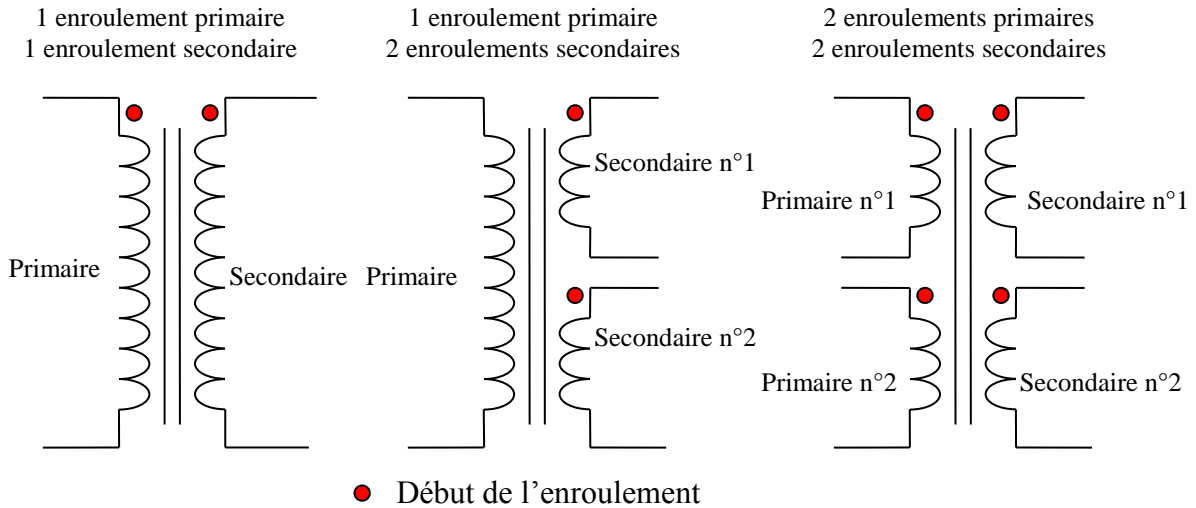
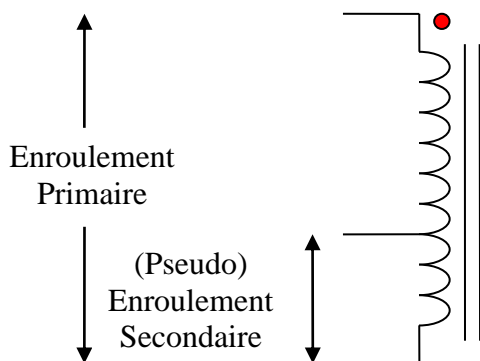


Schéma de différents types de transformateurs



L'autotransformateur

L'autotransformateur possède un enroulement primaire avec une connexion supplémentaire (prise intermédiaire) sur cet enroulement. Cette connexion est une des 2 connexions du pseudo enroulement secondaire. Le positionnement de cette connexion dépend du rapport de transformation souhaité soit pour adapter l'impédance entrée / sortie soit pour avoir une tension de sortie d'un certain niveau.



- Début de l'enroulement

XIV.2 Caractéristiques techniques d'un transformateur

Les caractéristiques principales d'un transformateur fournis par le fabricant sont :

- La puissance nominale exprimée en Volt Ampère (VA) qu'il peut fournir. Elle varie de 1 VA à quelques Kilo VA ou même à des centaines de KVA en milieu industriel. Il faut tenir compte des pertes dues au transformateur, il faut choisir la puissance en VA du transformateur supérieure de 5% à 30% à la puissance consommée par la charge (en fonction des caractéristiques données par le fabricant (perte dans les tôles du noyau, etc...)).
- Le nombre de tensions secondaires séparées ou ayant un point commun,
- L'intensité maximale de chaque tension secondaire,
- Le rendement : rapport de la puissance utile sur la puissance consommée (entre 95% et 70%) (due aux pertes : résistances des fils (échauffement par effet joule, pertes dans le noyau par courant de Foucault, etc...)),
- Le rapport entre la tension de sortie à vide et en charge,
- Le matériau constituant le noyau quand il existe.

Exemple :

Un transformateur de 120 VA ayant 2 enroulements secondaires de 12 V peut débiter 5A par enroulement, en effet $I = P / U$ d'où $I = \frac{120}{12 * 2} = 5 A$

Remarques :

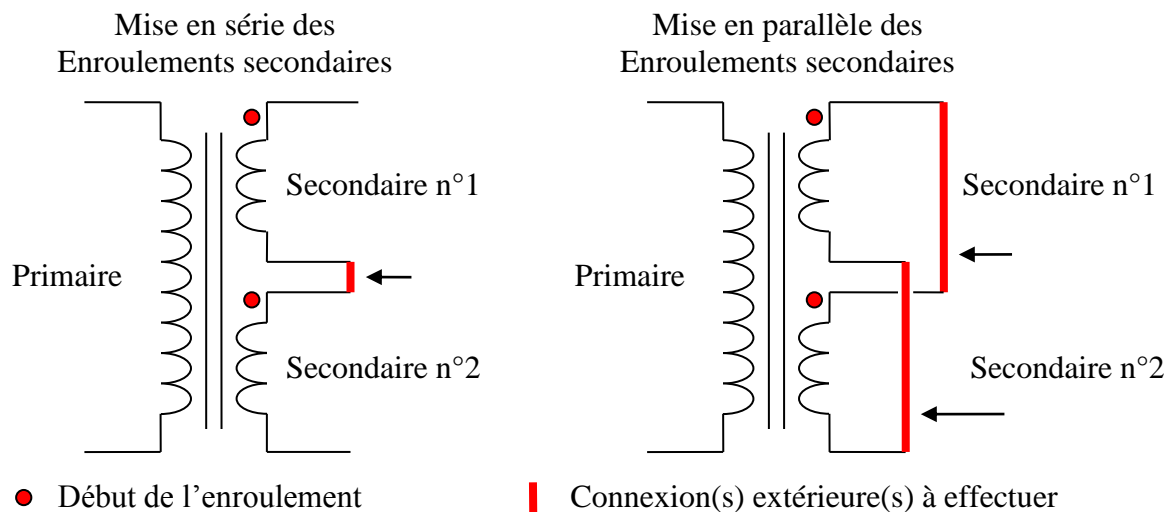
- Les caractéristiques mentionnées ci-dessus ne sont pas toujours fournies à l'utilisateur,
- la puissance en VA est la puissance apparente d'un appareil obtenue par la formule $P = U * I$. Elle est différente du Watt sauf pour le cas des charges résistives idéales (pas d'inductance ni capacité). Le Watt est utilisé pour la puissance consommée en courant continu et en courant alternatif en tenant compte du déphasage entre le courant et la tension (Cosinus(φ)).

XIV.3 Combinaison des enroulements

Il est possible de combiner les enroulements primaires ou secondaires en respectant le sens des enroulements (le même sens), la tension et l'intensité de chacun des enroulements qui doivent être (en général) égaux :

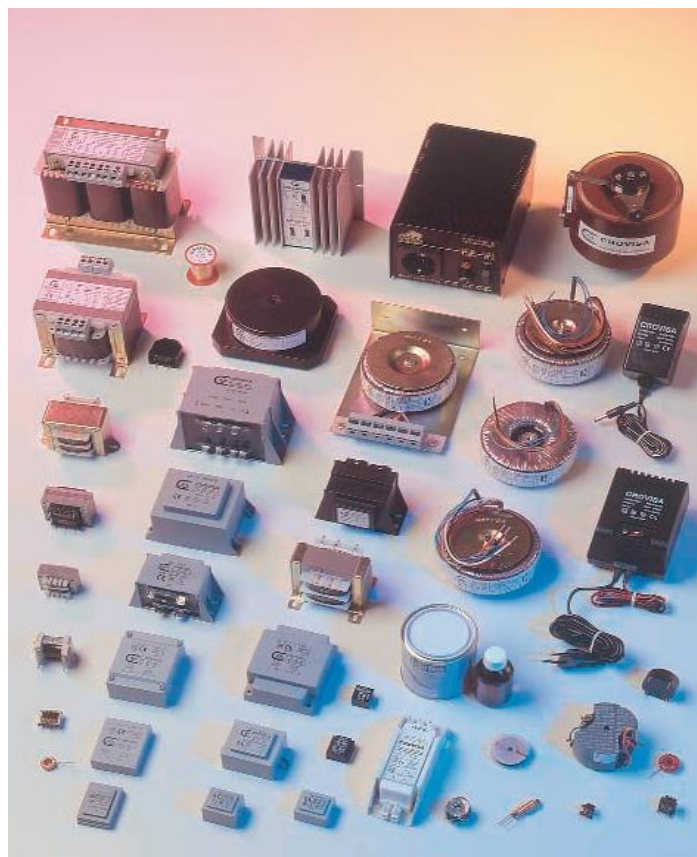
- en série pour obtenir une tension plus importante (somme des tensions en série). Par exemple, 2 enroulements secondaires en série de 9V (chacun) fournissent une tension totale de 18V,
- en parallèle pour obtenir une intensité plus importante (somme des intensités en parallèle). Par exemple, 2 enroulements secondaires (de même tension) en parallèle de 1A (chacun) fournissent une intensité totale de 2A.

Remarque importante : il est impératif de respecter le sens des enroulements pour ne pas détruire le transformateur.



Le type de raisonnement ci-dessus pour les enroulements secondaires est valable pour les enroulements primaires (ex : 2 enroulements primaires de 110V chacun sont mis en série pour être alimentés en 220 V).

XIV.4 Les différents transformateurs



Extrait de la documentation Crovisa

XIV.5 Le transformateur à alimentation secteur

Ce type de transformateur dispose d'un enroulement primaire branché directement sur le secteur (en France : la tension efficace est de 220 V et la fréquence de 50 Hertz). Dans le cas d'un transformateur international disposant de 2 enroulements primaires de 110 V chacun, il suffit de combiner en série les 2 enroulements primaires pour le branchement sur 220 V (ce type de transformateur est adapté pour un raccordement sur 110 V ou 220 V).

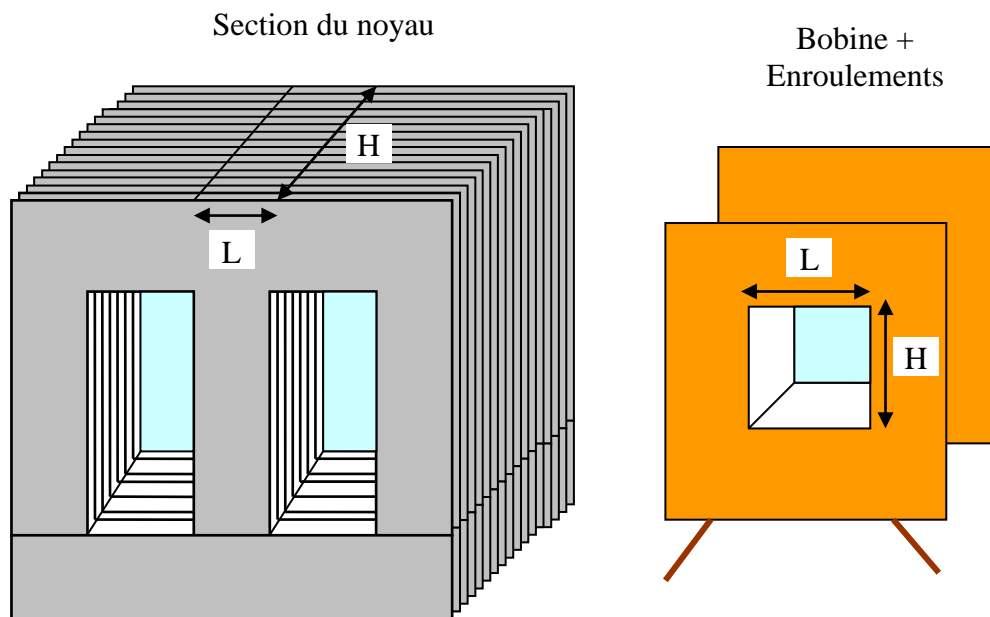
XIV.5.1 Le transformateur sur carcasse et étrier



XIV.5.2 Calcul de la section du noyau et du nombre de spires par volt

Les dimensions du transformateur et du noyau varient selon la puissance maximale que peut délivrer le transformateur (plus la puissance augmente plus les dimensions du transformateur augmentent). Les dimensions dépendent aussi du matériau utilisé pour fabriquer le circuit magnétique.

Pour diminuer les courants de Foucault dans les tôles magnétiques ont introduit du silicium qui augmente la résistance électrique et la perméabilité magnétique.



La section brute du noyau est calculée par la formule : $S = L * H$ en mm^2 .

La section nette magnétique « utile » est calculée par la formule $S_n = S * 0,95$ pour tenir compte de l'enrobage des tôles magnétiques (vernis, couche d'oxydation, etc..) utilisé pour éviter les pertes par courant de Foucault(soit 5% de pertes ou plus).

$$\text{Puissance en VA} = \frac{S_n^2 * \text{Perm Weber}^2}{140}$$

Type de lame	Rendement	Perm Weber	Nombre de spires par volt (NS/V)
Silicium standard	0,80	1,10	4100/Sn
Silicium de qualité moyenne	0,82	1,15	3910/Sn
Silicium de qualité supérieure	0,84	1,20	3750/Sn
Silicium à grains orientés	0,86	1,25	3600/Sn
Silicium pour noyau en C	0,88	1,30	3470/Sn

Si on ne connaît pas les caractéristiques du tableau ci-dessus :

On peut utiliser une des 2 formules approximatives :

$$P(\text{VA}) = (0,83 * S_n^2) / 13500$$

$$S_n = 1,2 \sqrt{P}$$

Le nombre de spires par Volt est proportionnel à la puissance du transformateur et il est calculé par la formule suivante :

$$NS/V = \frac{10000}{(0,0444 * F * S_n * \text{Perm Weber})}$$

F est la fréquence en Hertz, S_n la section nette, Perm Weber est donnée dans le tableau ci-dessus.

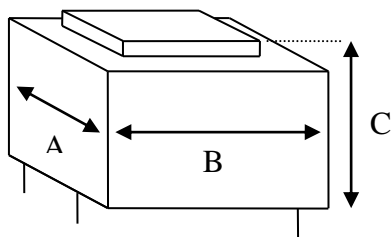
XIV.5.3 Le transformateur moulé

Ce type de transformateur est actuellement entièrement moulé et bénéficie d'une protection totale contre les courts circuits (double isolation, classe de protection II, tension de contrôle 4000V, Classe d'isolation T40/E, Norme VDE 0551). Il est muni de connexions extérieures au pas de 5,08 mm (2/10 inch) à souder directement sur le circuit imprimé.

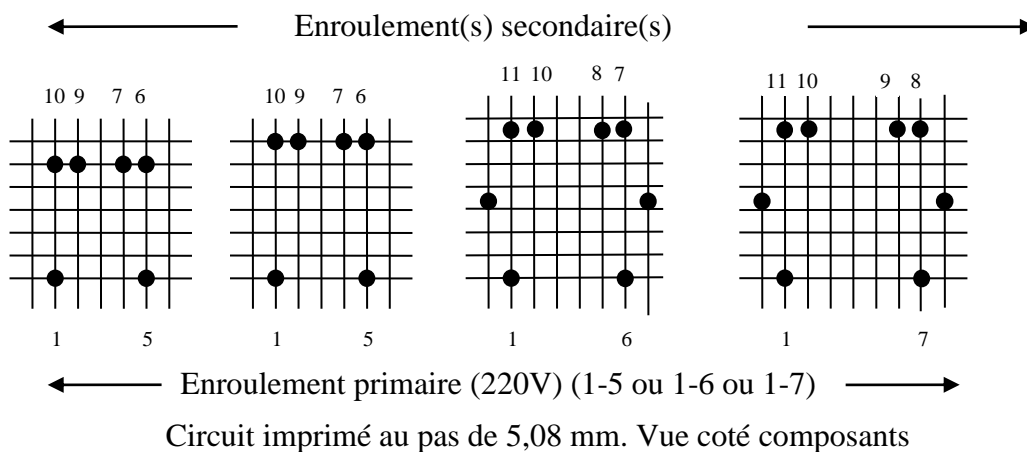
Fabricant : Myrra Série 44000, Crovisa, Orbitec,



Dimensions



Dim / P	1 VA	2 VA	3,2 VA	5 VA	10 VA	15 VA	30 VA
A (mm)	27,5	27,5	35	37	42,5	47	
B (mm)	32,5	32,5	41	45	50	56	
C (mm)	21,8	27,5	28	32,5	34,8	38,8	



Brochage des connexions des enroulements

	1VA à 5 VA	10 VA	16 VA	30 VA
--	------------	-------	-------	-------

Primaire	1 - 5	1 - 6	1 - 7	1 - 8
1 Secondaire	7 - 9	8 - 11	9 - 13	
2 secondaires	6 - 7 / 9 - 10	7 - 8 / 11 - 12	8 - 9 / 13 - 14	9 - 10 / 15 - 16

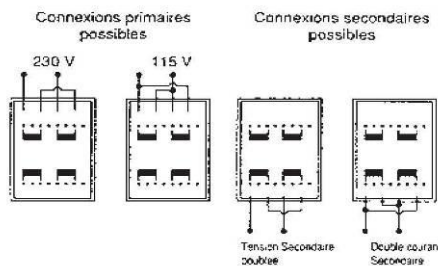
Le transformateur (sur)moulé (extra) plat Bas profil

Ce type de transformateur est utilisé lorsque la hauteur est un élément primordial. Il est fabriqué avec 2 enroulements primaires de 110 V chacun. Pour un raccordement sur le secteur (220 V) il faut combiner les 2 enroulements primaires en série.

Fabricant : Myrra Série 45000, Schaffner, Crovisa, ...)



Transformateur plat Myrra Série 45000



Dimensions

06 VA = 44 x 53 x 22 mm
 10 VA = 44 x 53 x 28 mm
 14 VA = 57 x 68 x 24 mm
 18 VA = 57 x 68 x 27 mm
 24 VA = 57 x 68 x 31 mm
 30 VA = 57 x 68 x 35 mm

Dimensions

3,5 VA = 54 x 42 x 20 mm
 07 VA = 68 x 54 x 24 mm
 20 VA = 72 x 55 x 35 mm



Transformateur extra plat pour montage à faible épaisseur

Puissance : 6 VA

2 enroulements primaires de 115 V

2 enroulements secondaires de 12 V

Remarque : le début des enroulements est noté 0.

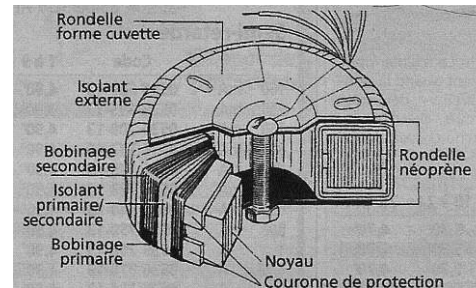
XIV.5.4 Le transformateur torique

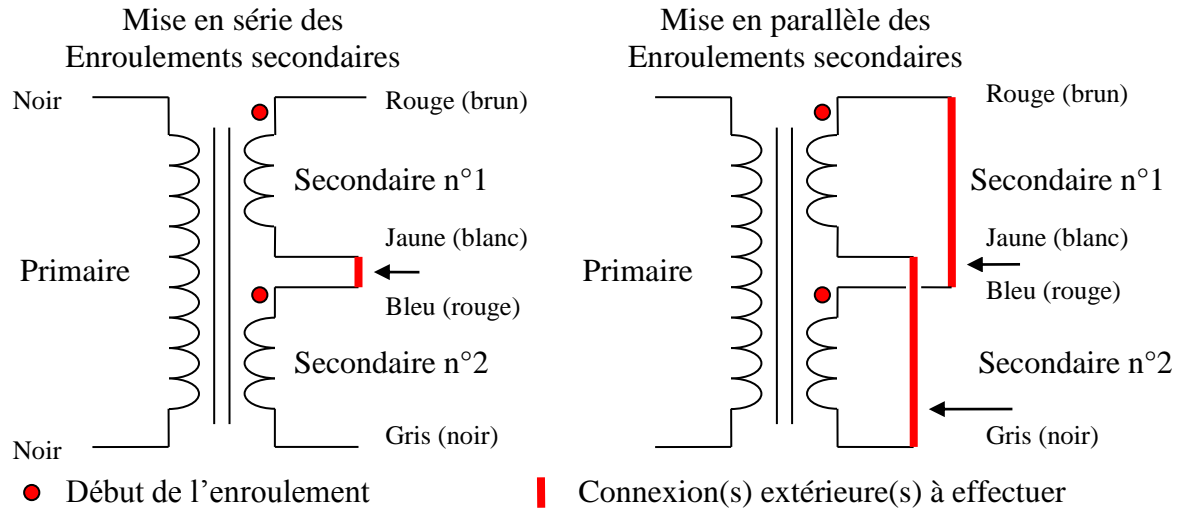
Le transformateur torique présente plusieurs avantages par rapport au transformateur classique à tôles magnétiques : plus petit et plus léger, fuites du champ magnétique plus faible, absence de vibration mécanique, rendement plus élevé, échauffement négligeable et fixation rapide par une vis et écrou sur une coupelle métallique espacée par une rondelle néoprène.

Fabricants : Arabel, Amveco, Crovisa, Ilp, Intelecsa, Nordtek Danmark, etc..

Les transformateurs toroïdaux CROVISA sont homologués par VDE d'après la norme VDE 0570 / EN 61558. Ils sont composés d'un noyau en forme d'anneau à faible pertes d'entrefer sur lesquels sont placés les enroulements de fil émaillé classe H (180° C) et des isolements appropriés.

Il existe aussi des transformateurs toriques extra plat lorsque l'épaisseur du transformateur est un élément primordial.





Caractéristiques d'un transformateur torique classique

Puissance En VA	Dimension En mm Ø * H (± 3)	Poids En Kg	Réglage Vide/charge
15	58 * 30	0,30	20%
30	70 * 35	0,50	15%
50	83 * 40	0,75	15%
80	92 * 37	0,95	15%
120	91 * 50	1,20	10%
160	110 * 44	1,90	10%
225	111 * 51	2,20	9%
300	121 * 55	2,20	7%
500	136 * 64	4,40	6%
625	136 * 74	5,20	5,5%
1000	160 * 75	6,90	5%

XIV.6 Le transformateur R

Ces transformateurs offrent des performances intéressantes sous un volume réduit et remplacent avantageusement les transformateurs toriques (coût moindre, encombrement plus faible, excellent taux de régulation, pertes de flux très faibles, faible consommation à vide, échauffement faible et silencieux).



Dimensions

30 VA = 97 x 77 x 42 mm

50 VA = 102 x 90 x 48 mm

80 VA = 125 x 90 x 52 mm

120 VA = 126 x 103 x 55 mm

300 VA = 163 x 128 x 70 mm

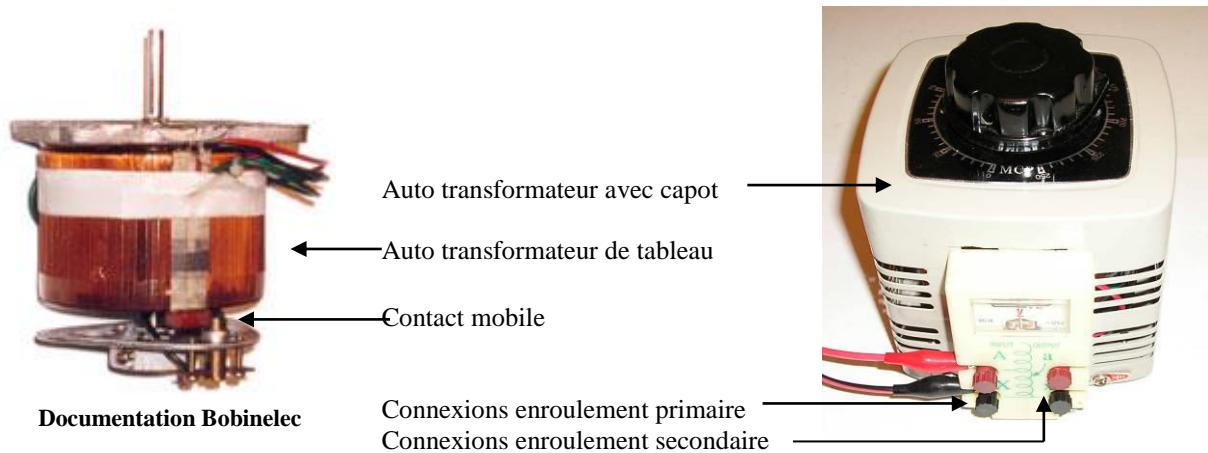
500 VA = 190 x 145 x 85 mm

Extraits du catalogue Selectronic

XIV.7 L'autotransformateur

L'autotransformateur, aussi appelé Variac, est transformateur muni d'un contact supplémentaire mobile sur une partie du bobinage à spires espacées de l'enroulement primaire (220 V) dénudée pour faire contact. Ce contact mobile forme une des 2 connexions de l'enroulement secondaire et permet de faire varier la tension secondaire de 0 à 220 V~.

L'autotransformateur est utilisé par les SAV pour dépanner les alimentations à découpage en injectant une faible tension d'entrée secteur ou pour tester la régulation d'une alimentation linéaire ou à découpage en fonction de la variation de la tension secteur.



Documentation Bobinelec

XIV.8 Le transformateur de mesure du courant

Principe de fonctionnement du transformateur de mesure du courant alternatif BF ou HF

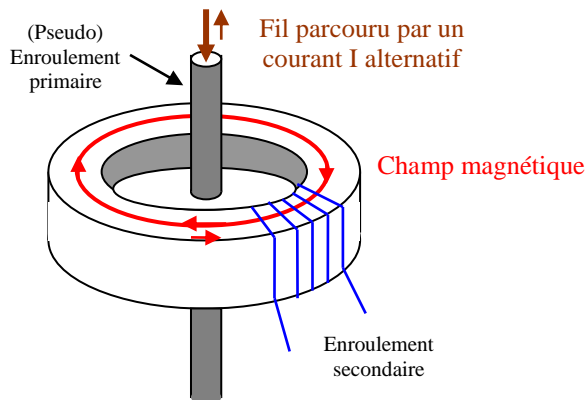


Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur de mesure du courant (Alternatif)



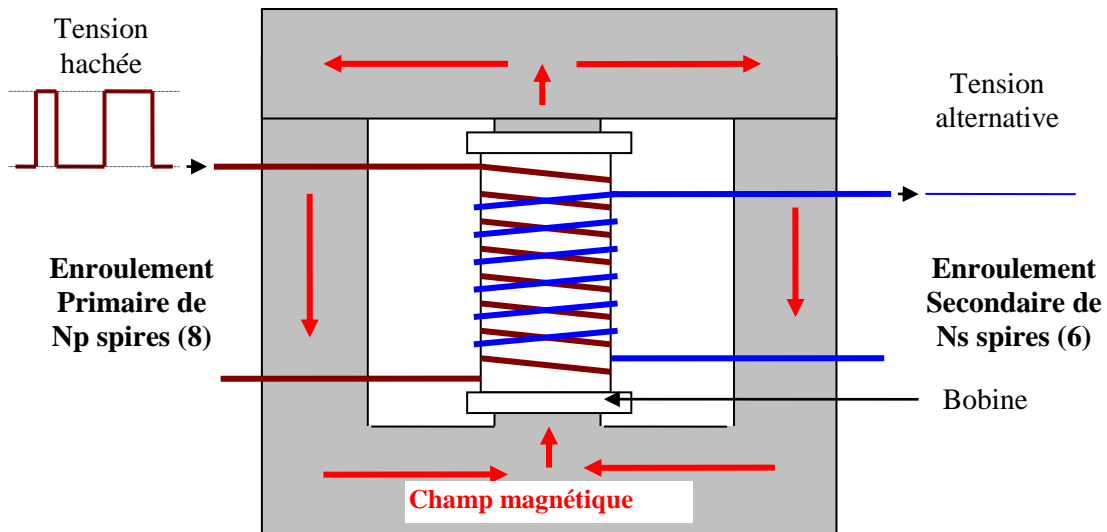
Documentation Chauvin Arnoux

Ce type de transformateur est utilisé pour mesurer le courant alternatif du secteur (220V 50Hz) ou de haute fréquence. Dans les Wattmètre / Tos mètre / Ros mètre radioamateur en ondes décadiques, le fil (coaxial) reliant (dans l'appareil) l'entrée (sortie de l'émetteur) à la sortie (sortie vers l'antenne) traverse un tore de ferrite. La tension de l'enroulement secondaire est redressée d'un côté ou de l'autre pour fournir la tension directe ou réfléchi.

Remarque : l'enroulement secondaire est en général réparti sur tout le tore.

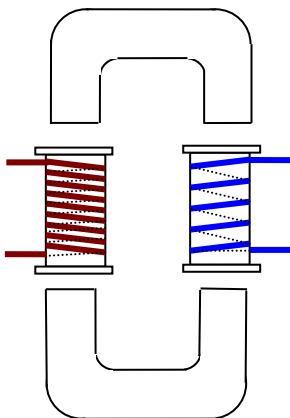
XIV.9 Le transformateur pour alimentation à découpage

Le transformateur pour alimentation à découpage est utilisé pour transformer une tension continue en une ou plusieurs tensions(s) de sortie plus élevée(s) ou plus basse(s) par un système de hachage à haute fréquence (de 10 kHz à 1 Mhz) de la tension continue injectée dans l'enroulement primaire. La largeur des impulsions est variable en fonction de la variation de la tension d'entrée et de la charge raccordée à la sortie. Ce type d'alimentation est plus compact et légère qu'une alimentation classique dite linéaire. De plus, elle possède un meilleur rendement, par contre elle est en général plus bruyante.

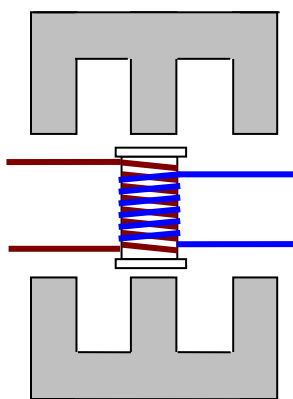


En général, le noyau est en ferrite (utilisée en haute fréquence) en forme de 2 C ou 2 E ou d'un tore.

En forme de 2 C



en forme de 2 E



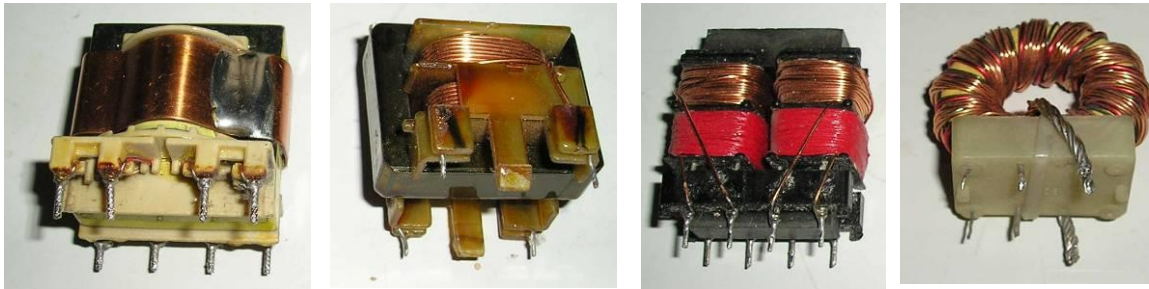
différents types de noyau



Doc TSC Ferrite International

XIV.9.1 Exemples de transformateurs d'alimentation à découpage

Exemple de transformateurs d'alimentation à découpage sur noyau de ferrite.



XIV.9.2 Cas particulier : le transformateur de Très haute tension (THT)

Ce transformateur est utilisé pour produire une très haute tension en sortie (de 1 KV à 15 KV) nécessaires, entre autres, pour le tube cathodique d'une télévision ou d'un oscilloscope.



XIV.1 Le transformateur basse fréquence

Ce type de transformateur est surtout utilisé dans les amplificateurs à tube en audio pour transmettre le son vers le(s) haut (s) parleur(s) et cela dans la gamme de fréquence audio la plus large possible sans distorsion (de 20 Hz à 20 kHz). Les premiers postes radio à transistors ont eux aussi utilisé des transformateurs basses fréquences pour transmettre le son de l'étage de l'amplificateur final au haut-parleur.

Il sert à adapter l'impédance de l'amplificateur de l'ordre du 1 K Ω (ou plus) à celui du haut-parleur de 4 Ω ou 8 Ω ou 16 Ω (Rappel : Z primaire = Z secondaire/ N^2).

Ce type de transformateur est aussi utilisé pour raccorder certains appareils à une ligne téléphonique (rapport de transformation 1/1, impédance $600 \Omega / 600\Omega$, résistance en continu 60Ω , bande passante 0.3kHz à 4 kHz).



Transformateur téléphonique

XIV.2 Le transformateur Haute fréquence

XIV.2.1 Le transformateur de fréquence intermédiaire

Le transformateur de fréquence Intermédiaire (FI) est utilisé dans la plupart des postes de radio de type superhétérodyne (rappel du principe (voir aussi le cours) : la fréquence reçue est mélangée avec la fréquence d'un oscillateur local variable dans un mélangeur qui produit en sortie une fréquence somme et une fréquence différence). Le transformateur FI permet de sélectionner une des deux fréquences grâce à une très bonne sélectivité.

Il comporte en général 4 ou 5 connexions externes (pattes). Les enroulements primaire et secondaire(s) sont constitués de fils isolés très fins (émaillés ou divisés sous protection en coton), car le courant qui les traverse est faible (quelques mA). Les enroulements sont protégés par un blindage métallique léger, qui est en général soudé à la masse du circuit imprimé sur lequel il est monté. Le réglage de la valeur de l'inductance des enroulements du transformateur FI (et donc de la fréquence de résonance) se fait par un noyau plongeur (visen ferrite) qui peut être vissé ou dévissé avec un tournevis en plastique (pour éviter les effets parasites). Un condensateur de faible valeur (de 150 pf à 220 pF) est branché en général sur l'enroulement secondaire, afin de constituer un circuit résonnant sur la fréquence intermédiaire.

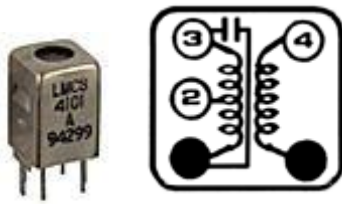
Les principales fréquences intermédiaires sont :

- 455 KHZ pour la réception en modulation d'amplitude des ondes radio PO, GO, OC,
- 5,5 MHz pour la réception en modulation d'amplitude du son de la télévision,
- FI 10,7 MHz pour la réception en modulation de fréquence de la radio en stéréo.

Remarque : il a existé et il existe d'autres fréquences intermédiaires et transformateurs adaptés. Les transformateurs de fréquence intermédiaire sont souvent remplacés par des filtres céramiques ou quartz (plus chers).

Fabricants : Neosid, TDK, Toko, etc...

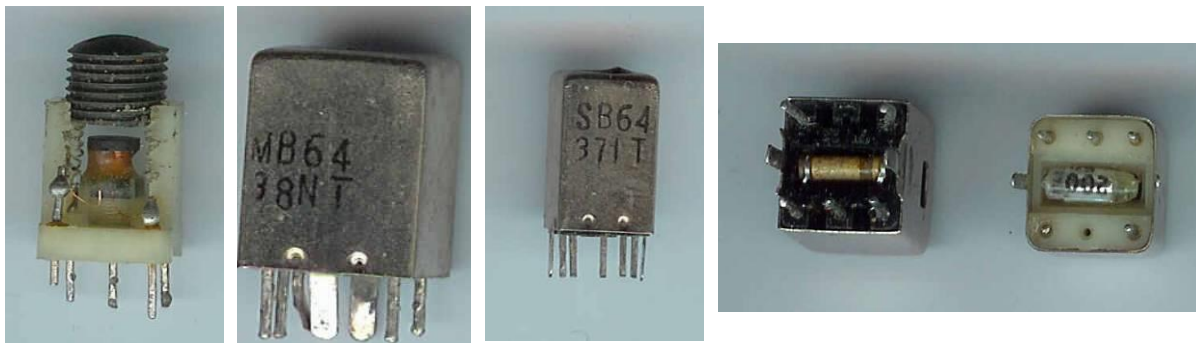
Transformateurs de fréquence intermédiaire 455Khzde TOKO type 7E et 10EZ. Le point noir sur le brochage indique le départ du bobinage.



Nouvelles références:
 LMCS4100A --> A7MCS-10736A
 LMCS4101A --> A7MCS-10737A
 LMCS4102A --> A7MCS-10735A



TYPE	Dimensions	Couleur du noyau ou du marquage sur le transfo	Impédance	Etage
LMCS4100A	7x7	Jaune	50K:500	1
LMCS4101A	7x7	Blanc	30K:500	2
LMCS4102A	7x7	Noir	15k:5k	3
LMCS4200A	7x7	Jaune	15K:150	1
LMCS4201A	7x7	Blanc	35K:150	2
LMCS4202A	7x7	Noir	37k:12k	3



Transformateurs de fréquence intermédiaire 10,7Mde TOKO type 7E et 10K. Le point noir sur le brochage indique le départ du bobinage.

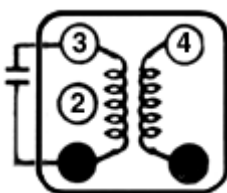


Figure 1

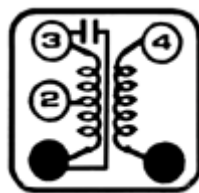


Figure 2

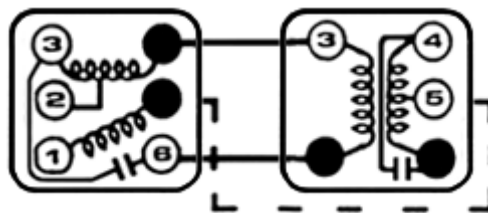


Figure 3 +4



TYPE	Dimensions	Couleur du noyau ou du marquage sur le transfo	Q min	Figure	Etage
85AC-3000A	7 x 7	Orange	105	1	3
85FC-3002SZ	7 x 7	Bleu	105	4	disc. S
85PC-3100PPF	7 x 7	Rose	60	3	disc. P
85FC-1517SZ	7 x 7	Bleu	105	4	disc. S
KACS-1506A	10 x 10	Noir	100	1	1
KACS-6184A	10 x 10	Noir	65	1	1+2+3
KACS-6400A	10 x 10	Orange	80	1	3
KACS-6666SZ	10 x 10	Bleu	90	4	disc. S
KACS-6185PPF	10 x 10	Rose	68	3	disc. P

KACS-6186SZ	10 x 10	Bleu	78	4	disc. S
--------------------	---------	------	----	---	---------

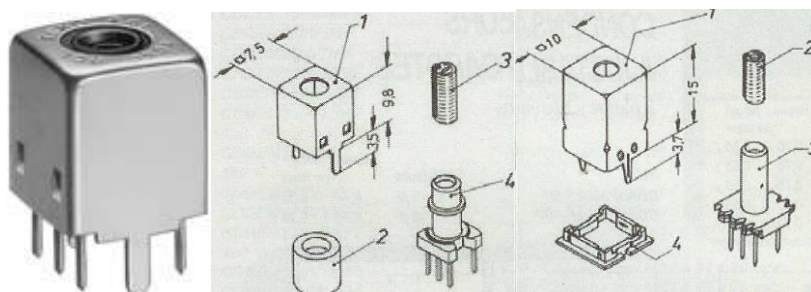
Légende du tableau : Disc. P = discriminateur P. ,Disc. S = discriminateur S. ,Réglage: $\pm 20\%$.

Transformateur FI 455kHz (en vue de côté et en vue de dessus). On remarquera le pas de vis jaune, qui permet l'ajustement du transformateur FI à l'aide d'un petit tournevis.

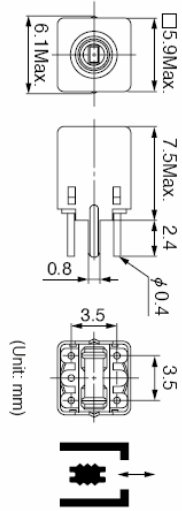
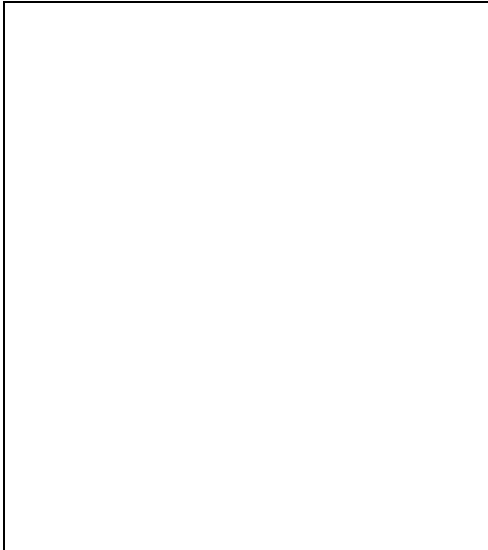
XIV.2.2 Le transformateur haute fréquence :

Ce transformateur est utilisé en haute fréquence depuis quelques dizaines de Kilo Hertz à une centaine de Mhz. Il peut être constitué de plusieurs enroulements séparés électriquement ou non dans le cas de l'autotransformateur, disposé ou non d'une capacité d'accord, d'un blindage.

Exemples de transformateurs HF



Référence Transformateur HF de Toko	Dimensions en mm	Tableau des caractéristiques			
		Toko n° Pièce	Inductance en μH	Q mini	Fréquence de test en Mhz
Toko 5mm TYPE 5KM Gamme de Fréquence : 1~120MHz Gamme d'Inductance: 0.05~10 μH Coefficient de Température: TC (L) 80 $\pm 120\text{ppm}/^\circ\text{C}$ TC (F) 0 $\pm 120\text{ppm}/^\circ\text{C}$ Valeurs Capacité Interne: 5~56pF		369SNS-1646Z	0.10 \pm □5%	35	50
		369SNS-1647Z	0.12 \pm □□5%	35	50
		369SNS-1648Z	0.15 \pm □□5%	35	50
		369SNS-1649Z	0.18 \pm □□6%	35	50
		369SNS-1650Z	0.22 \pm □□6%	35	50
		369SNS-1651Z	0.27 \pm □□6%	35	50
		369SNS-1652Z	0.33 \pm □□6%	35	50
		369SNS-1653Z	0.39 \pm □□6%	35	50



	%		
369SNS-1654Z	0.47±□□6%	35	50
369SNS-1655Z	0.56±□6%	35	50
369SNS-1656Z	0.68±□6%	35	50
369SNS-1657Z	0.82±□6%	35	50
369SNS-1658Z	1.00±□6%	25	7.96
369SNS-1659Z	1.20±□6%	25	7.96
369SNS-1660Z	1.50±□6%	25	7.96

<p>Toko 10mm TYPE 10K Gamme de Fréquences: 2~120MHz Gamme d'Inductance: 0.08~82μH Coefficient de Température: Inductor TC (L) 220 ± 150ppm/°C avec Capacité Interne TC (F) 0 ± 150ppm/°C Valeurs Capacité Interne: 5~100pF</p>	<p>(Unit: mm)</p>	Toko n° pièce	Inductance en μH	Q mini	Fréquence de test en Mhz	Blindé
		BTKENS-T1043Z	0.08±2%	50	75.0	oui
		BTKENS-T1044Z	0.10±6%	60	75.0	oui
		BTKENS-T1045Z	0.15±6%	60	75.0	oui
		BTKENS-T1046Z	0.22±6%	60	75.0	oui
		BTKXNS-T1047Z	0.33±6%	60	45.0	oui
		BTKXNS-T1048Z	0.47± 6%	70	45.0	oui
		BTKXNS-9455HM	0.47± 6%	80	25.2	oui
		TKXNF-9427HM	0.47± 6%	80	25.2	non
		BTKXNS-9454HM	0.56± 6%	80	25.2	oui
		TKXNF-9426HM	0.56± 6%	80	25.2	non
		BTKXNS-T1049Z	0.68± 6%	70	45.0	oui
		BTKXNS-9453HM	0.68± 6%	100	25.2	oui
		TKXNF-9425HM	0.68± 6%	80	25.2	non
		BTKXNS-9452HM	0.82± 6%	100	25.2	oui
		TKXNF-9424HM	0.82± 6%	80	25.2	non
		BTKXNS-T1050Z	1.00± 6%	80	25.2	oui
		TKXN-9451HM	1.0±6%	100	25.2	oui
		TKXNF-9423HM	1.0±6%	80	25.2	non
		BTKANS-9450HM	1.2±6%	60	7.96	oui
		TKANF-9422HM	1.2±6%	50	7.96	non
		BTKANS-9449HM	1.5±6%	60	7.96	oui
		TKANF-9421HM	1.5±6%	55	7.96	non
		TKAN-9448HM	1.8±6%	60	7.96	oui
		TKANF-9420HM	1.8±6%	60	7.96	non
BKTANS-9447HM	2.2±6%	60	7.96	oui		
TKANF-9419HM	2.2±6%	65	7.96	non		
BTKANS-9446HM	2.7±6%	70	7.96	oui		
TKANF-9418HM	2.7±6%	65	7.96	non		
BTKANS-9445HM	3.3±6%	70	7.96	oui		

XIV.2.3 Le transformateur monté en surface

Ce type de transformateur fait partie des composants montés en surface.
Fabricants : IVT Technology limited, Microspire, Xixing



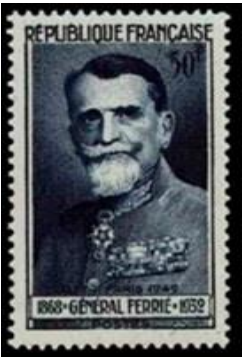
XVLe transistor

XVI La philatélie en rapport avec l'électricité, la radio,...

La philatélie est un sujet vaste et passionnant qui permet de constituer des collections thématiques sur l'électricité, l'électronique (avec ses composants), la radio et (même) le monde des radioamateurs. Les quelques pages ci-dessous montrent succinctement quelques thématiques en rapport avec le monde de la radio et du radio amateurisme (OM) et cela dans le but d'éveiller la curiosité de quelques-uns et de peut-être faire naître une passion complémentaire !!!

XVI.1 Quelques personnages célèbres

Les quelques personnages mentionnés ci-dessous ont un rapport avec l'électricité et les débuts de la TSF (télégraphie sans fil).

		
<p>Timbre de 1936 : A. M. Ampère fait d'importantes découvertes dans le domaine de l'électromagnétisme, découvre les bases de l'électronique de la matière, invente de nombreux dispositifs et appareils tels que le solénoïde, le télégraphe électrique et l'électroaimant. Il est le créateur du vocabulaire de l'électricité et invente les termes de <i>courant</i> et de <i>tension</i> et son nom a été donné à l'unité internationale de l'intensité du courant électrique : l'ampère (Wikipédia)</p>	<p>Timbre de 1949 : Gal Ferrié En 1903, il perfectionne la télégraphie sans fil (TSF) en inventant un nouveau récepteur électrolytique ; la même année il propose l'installation d'une antenne au sommet de la tour Eiffel. Il conduit ses travaux avec trois officiers de marine : Camille Tissot, Maurice Jeance et Victor Colin. La portée de l'émetteur, d'abord de 400 km, passe en 1908 à près de 6 000 km. (Wikipédia)</p>	<p>Timbre de 1944 : E. Branly Grâce à la découverte par Branly du radioconducteur et ses travaux sur le principe de la radio conduction, Guglielmo Marconi effectue en 1899 les liaisons radiotélégraphiques qui marquent la naissance de la télégraphie sans fil. Quelques années plus tard, Édouard Branly découvre le principe de la télémechanique, qui est le fondement de la télécommande aujourd'hui. (Wikipédia)</p>

XVI.2 La radio au service des humains et handicaps



Timbre de 1938 : la radio aux aveugles 1967 : la radio et la télévision éducatives

XVI.3 Les salons / expositions

Les images ci-dessous montrent quelques oblitérations de salons et foires exposition concernant la TSF, les transmissions et les composants électroniques.



salon des composants électroniques de 1966



Congrès des transmissions de 1954 et 1956



Salon de la TSF de 1938 et 1939 à Bruxelles

XVI.4 Les taxes et redevances sur la radio, ...

Rien de bien nouveau sous le soleil depuis le début de l'humanité grâce à l'esprit inventif des gouvernants quant aux taxes et redevances dans le but d'améliorer le quotidien de la majorité des concitoyens mais qui n'est pas toujours bien perçus par nos petits esprits mesquins !!!

Ci-dessous une oblitération Anglaise datée de 1959 rappelant aux sujets de sa majesté de ne pas oublier de payer la redevance Radio / TV !!!



Ci-dessous 3 timbres Français émis par le ministère des PTT pendant 3 ans (1935 – 1937) matérialisant la taxe à la charge des possesseurs d'appareil de radiodiffusion.



XVI.5 L'organisation des télécommunications UIT

L'union internationale des télécommunications (UIT) fondée en 1865 est commémorée par cette enveloppe « premier jour » de la république Centrafricaine en 1965.



L'union Africaine et Malgache des Postes de Télécommunications commémorée par cette enveloppe « premier jour » de la république du Tchad en 1963.



XVI.6 Les satellites de télécommunications, météo,

La France a émis en 1965 un tryptique de timbres pour commémorer le lancement de son premier satellite A1 (Astérix) par la fusée Diamant à partir de la base de lancement « Hammaguir » située dans le Sahara Algérien.



Et le satellite D1 en 1966



Satellite de météorologie en 1983

Cette thématique est vaste et bien documentée par la philatélie.

XVI.7 Les composants

Ce timbre émis en 1981 montre les avancées du C.N.E.T. sur la microélectronique et les microprocesseurs.



XVI.8 La philatélie et le radio amateurisme

Ci-dessous une carte QSL datée du 14 décembre 1948 de OK1AW habitant la Tchécoslovaquie destinée à un autre radioamateur W2QFV habitant New-York (récupérée dans un vide grenier).



Ci-dessous une lettre en provenance des Terres Australes et Antarctiques Françaises datée du 10 avril 2016 commémore l'expédition Radioamateur sur l'île de Juan de Nova de mars à avril 2016. Cette lettre est arrivée plusieurs mois plus tard dû à la rotation trimestrielle du bateau ravitailleur « Le Marion Dufresne » qui transporte aussi le courrier (surtout philatélique !).



Et un bloc de 2014 des Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) commémorant les liaisons radioamateurs depuis Tromelin – Iles Eparses



XVII Glossaire

Ω : Ohm, Symbole de l'unité de la valeur de la résistance,

AC : (Anglais : Alternative Current) courant alternatif,

Aging : (Anglais) vieillissement, dérive dans le temps des caractéristiques d'un composant ou d'un appareil,

Capacimètre : appareil de mesure de la capacité d'un condensateur,

Case : (Anglais) boîtier d'un transistor ou d'une diode, etc

CMS : Composant Monté en Surface (SMD en Anglais),

Coil : (Anglais) bobine,

CTN : Coefficient de Température Négatif, résistance à coefficient de température négatif ou aussi thermistance

CTP : Coefficient de Température Positif, résistance à coefficient de température positif ou aussi Thermistance et en Anglais PTC Postive Temperature Coefficient

DC : (Anglais) : DirectCurrent, courant continu,

DEL : Diode Electro Luminescente et en Anglais LED Light Emitting Diode,

DIAC : (Anglais) : DIode for Alternative Current ; un composant électronique à amorçage (bidirectionnel) par la tension à ses bornes.

DIL : (Anglais) Dual In Line, deux rangées en ligne, par exemple le boîtier des circuits intégrés classiques,

DTCXO : (Anglais) Digital Temperature Compensated X-tal (Crystal) Oscillator, en Français, oscillateur à quartz compensé numériquement en température,

Effet de peau : lorsque la fréquence augmente, l'intensité du courant ne passe plus par la totalité de la section d'un fil mais seulement à sa périphérie (= peau du fil),

Heat Sink : dissipateur de chaleur ou plus communément radiateur, permet d'évacuer la chaleur d'un élément électronique transistor, résistance, etc,

INCH : pouce (noté aussi '), valeur de 2,54 cm soit 25,4mm, le 1/10 de pouce est une valeur d'écartement très utilisée en électronique (espacement des pattes d'un circuit intégré classique),

Inductance mètre : appareil de mesure de l'inductance d'une bobine,

Layer : (Anglais) couche,

LCD : (Anglais) Liquid Cristal Display, en Français Afficheur à cristaux liquides,

LDO : (Anglais) **Low Dropout**, en Français faible chute de tension, est employé pour indiquer qu'un régulateur est du type à faible chute de tension entre la tension d'entrée et de sortie régulée (souvent 0,6V),

LDR : (Anglais) **Light Dependent Resistor**, en Français Photo résistance, la valeur de la résistance dépend de l'éclairement du composant,

LED : (Anglais) Light Emitting Diode, en Français DEL Diode Electro Luminescente,

MLCC : (Anglais) Multi Layer Ceramic Capacitor, en Français: condensateur multicouches céramique,

MMIC : (Anglais) MicroWave Monolithic IC (Integrated Circuit), en Français circuit intégré monolithique pour les (très hautes) fréquences. En général amplificateur HF intégré dont les impédances d'entrée et sortie sont adaptées à la valeur normalisée de 50 Ω ,

MOV : (Anglais) **Metal Oxide Varistor, voir Varistance**,

NTC : (Anglais) Negative Temperature Coefficient, CTN en Français, résistance à coefficient de température négatif ou aussi Thermistance,

OCXO : (Anglais) Oven Controlled X-tal (Crystal) Oscillator, en Français, oscillateur à quartz thermostaté. La lame de quartz est enfermée dans une enceinte isolée dont la

température de (70° à 90°) est maintenue par un élément de chauffe et une sonde de température,

OHM : unité de la résistance,

Ohmmètre : appareil de mesure de la valeur de la résistance du composant du même nom,

Package : boîtier

Photo résistance : la valeur de la résistance dépend de l'éclairement du composant,

PPM : **Partie Par Million** et en Anglais **Part Per Million** (soit 1 millionième = 1×10^{-6}),

PTC : (Anglais) **Positive Temperature Coefficient**, CTP en Français, résistance à coefficient de température positif ou aussi Thermistance

Rail to rail : se dit surtout pour les AOP dont la tension d'entrée ou de sortie a une excursion de l'alimentation positive (rail positif) à l'alimentation négative (rail négatif),

Ripple : (Anglais) ondulation, par exemple la variation de la tension secteur redressée puis filtrée par un condensateur,

Shunt : résistance de faible valeur placée en dérivation sur un galvanomètre (ou autre) pour drainer un courant important,

SIL : (Anglais) **Single In Line**, une rangée en ligne,

SMD : (Anglais) **Surface Mounted Device**, composant monté en surface

Strap : composant (ou morceau de fil conducteur) ayant une valeur de résistance de 0Ω

TCXO : (Anglais) **Temperature Compensated X-tal** (Crystal) **Oscillator**, en Français, oscillateur à quartz compensé en température,

Transistor : **Transfert Resistor**, composant actif dont le rôle est d'amplifier le courant ou la tension,

Trimmer : (Anglais) potentiomètre ajustable,

Varistance : résistance dont la résistance dépend de la tension appliquée à ses bornes, en général la valeur diminue lorsque la tension augmente, peut absorber un courant très important pendant un temps assez court

Variac : (Anglais) : (**Variable AC**) autotransformateur courant alternatif,

Varicap : (Anglais) : (**Variable Capacity**) en général une diode, polarisée dans le sens inverse, dont la capacité varie en fonction de la tension inverse,

Varistor : (Anglais) voir Varistance,

VCO : (Anglais) **Voltage Controlled Oscillator** : oscillateur dont la fréquence est commandée par une tension

VDR : (Anglais) **Voltage Dependant Resistor**, (Français) Varistance, résistance dont la valeur de la résistance dépend de la tension appliquée à ses bornes, en général la valeur diminue lorsque la tension augmente.

Wiper : (Anglais) balai, contact mobile sur la piste d'un potentiomètre,