

Technologie des composants électroniques

Contenu de la matière :

Partie I : Technologie des composants passifs

Chapitre 1 : Les résistances.

Chapitre 2 : Les condensateurs.

Chapitre 3 : Les selfs.

Partie II : Technologie des composants actifs

Chapitre 4 : Les diodes.

Chapitre 5 : Les transistors bipolaires.

Chapitre 6 : Les circuits intégrés logiques.

Chapitre 7 : Les circuits analogiques.

Partie I : Technologie des composants passifs.

Chapitre 1 : Les résistances.

I.1.1. Variétés technologiques

I.1.1.1. Résistances au carbone

Les résistances au carbone sont les plus couramment utilisées. Elles sont divisées en deux grandes catégories :

- ❶ **Résistances au carbone aggloméré** : dite aussi « résistance à couche de carbone aggloméré » ; elles sont constituées par un mélange de carbone, de matière isolante et d'un liant. La valeur de la résistance sera d'autant plus faible que la concentration en carbone du mélange est plus grande. Les fils de sortie ont une partie noyée dans le mélange résistant (Fig. 1).

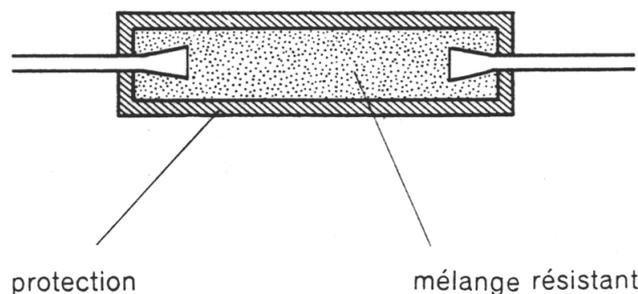


Fig. 1. Constitution d'une résistance au carbone aggloméré.



Fig. 2. Photo des résistances au carbone aggloméré.

Tableau 1. Caractéristiques générales.

Aspect	Elles se reconnaissent par leur forme cylindrique de couleur brune.
Principe de fabrication	Le carbone finement broyé est compressé à chaud au centre d'un cylindre isolant. Le carbone noir se voit à l'intérieur de la résistance.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Elles supportent de brèves surintensités. - Elles sont robustes mécaniquement. - Grande plage de valeur disponible. - Bon marché.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Ces résistances produisent plus de souffle, ou tension de bruit. - Peu précises. - Peu stables. - Ces résistances sont sensibles à l'humidité, c'est pourquoi elles sont généralement isolées par un tube de Bakélite ou de céramique.
Utilisations préférentielles	Résistance d'alimentation supportant des composants qui produisent des surtensions.
Utilisations déconseillées	<ul style="list-style-type: none"> - Dans les circuits petits signaux. - Aux fréquences supérieures à 1MHz.

❷ Résistances à couche de carbone :



Fig. 3. Photo des résistances à couche de carbone.

Tableau 2. Caractéristiques générales.

Aspect	Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords et par leur laque beige/brun clair.
Principe de fabrication	Le carbone est déposé en une fine couche autour d'un cylindre isolant. La valeur est ajustée par des stries visibles en grattant la surface laquée. Une soudure assure la sécurité du contact entre les fils conducteurs et les extrémités de la résistance.
Avantages	- Relativement robustes mécaniquement. - Bon marché.
Inconvénients	Produisent malheureusement du souffle à cause du carbone.
Utilisations préférentielles	Ces résistances ont été les plus répandues durant un grand nombre d'années (technologie 1970 à 1985). Elles se rencontrent encore souvent dans les circuits en réparations actuellement.
Utilisations déconseillées	Dans les circuits petits signaux.

I.1.1.2. Résistances à couche métallique

❶ Résistances à couche de film métallique :

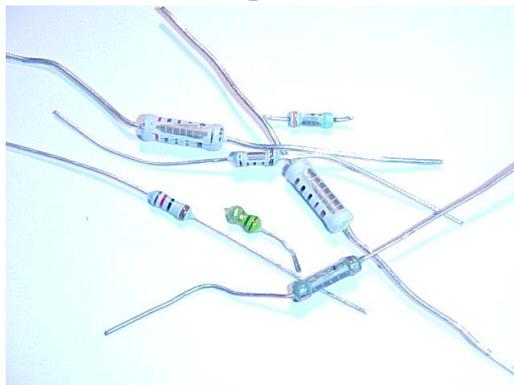


Fig. 4. Photo des résistances à couche de film métallique.

Tableau 3. Caractéristiques générales.

Aspect	Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords. Nous pouvons les rencontrer avec des laques de toutes sortes de couleurs: Vertes clairs, bleu pâle, vert foncé, jaune, etc.
Principe de fabrication	Une fine couche de métal est déposée à la surface d'un support isolant. Les stries visibles, en grattant la laque, permettent l'ajustement de la valeur ohmique.
Avantages	- Elles produisent beaucoup moins de souffle que les résistances au carbone. - Facile à obtenir avec de faibles valeurs ohmiques, et avec de très petites tailles. - Bonne stabilité en température et en temps.
Inconvénients	- Ne supportent pas de brèves surintensités. - Relativement fragiles.
Utilisations préférentielles	Utilisées comme des résistances fusibles.

❷ Résistances à couche d'oxyde métallique :

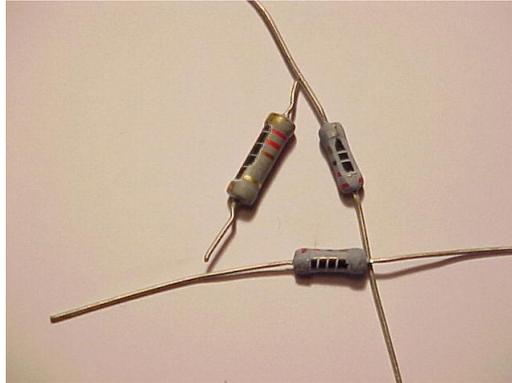


Fig. 5. Photo des résistances à couche d'oxyde métallique.

Tableau 4. Caractéristiques générales.

Aspect	Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords. Leur laque est souvent gris mat.
Principe de fabrication	Une fine couche d'oxyde métallique est déposée à la surface d'un support isolant. Les stries visibles, en grattant la laque, permettent l'ajustement de la valeur ohmique. L'oxyde métallique apparaît alors noir et brillant.
Avantages	Meilleures stabilité et précision que les résistances à couches de film métalliques.
Inconvénients	- Plus chères que les résistances à couches de film métalliques. - Toutes les valeurs ne sont pas disponibles.

I.1.1.3. Résistances métalliques bobinées

❶ **Résistances bobinées de précision** : elles sont constituées généralement de :

- ☞ **Le bobinage** : est généralement un fil en alliage de nickel-chrome ou de nickel-cuivre. Ces alliages sont utilisés pour leur résistivité élevée (de l'ordre de $100 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$) afin que la longueur du fil ne soit pas trop grande et la section suffisante pour l'exécution du bobinage.
- ☞ **Le support** : est en céramique (peu altérable à la température mais sensible aux chocs) ou en matériau plastique (plus altérable à la température mais plus facilement usinable).
- ☞ **La protection** : est obtenue généralement par moulage du bobinage en matière plastique. Les « sorties » (connexions) peuvent être radiales, axiales ou par colliers.

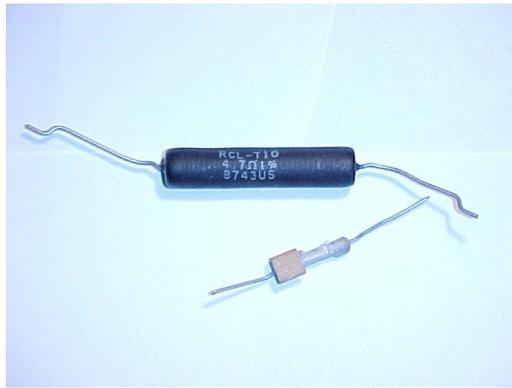


Fig. 6. Photo des résistances bobinées de précision.

Tableau 5. Caractéristiques générales.

Aspect	Divers mais la valeur est souvent inscrite.
Principe de fabrication	Le plus souvent constitué d'un fil enroulé et recouverte d'une couche de protection (vernis, émail, ciment ou verre).
Avantages	- Faibles dépendances à la température avec l'usage d'alliages métalliques. - Bon vieillissement.
Inconvénients	Interdit de l'usage en hautes fréquences.
Utilisations préférentielles	Jusqu'à 10 watts environ.

❷ **Résistances bobinées de puissance** : elles sont constituées généralement de :

- ☞ **Le bobinage** : est généralement un fil en alliage de nickel-chrome ou de nickel-cuivre. Dans le cas particulier des résistances de faible valeur et de forte puissance on utilise un ruban bobiné à plat.
- ☞ **Le support** : isolant, doit résister à des températures élevées. C'est un tube lisse ou nervuré en porcelaine, en stéatite ou en alumine.
- ☞ **La protection** : est constituée :
 - ➔ Soit d'une peinture cuite au four, cette protection sommaire, peu onéreuse, correspond au matériel « grand public ».
 - ➔ Soit d'un ciment ou d'une vitrification. Cette protection, plus efficace, est utilisée généralement pour le matériel « professionnel ».

Les sorties sont assurées :

- ⊗ Par fils pour les résistances de faibles puissances,
- ⊗ Par pattes ou par colliers pour les résistances de fortes puissances.

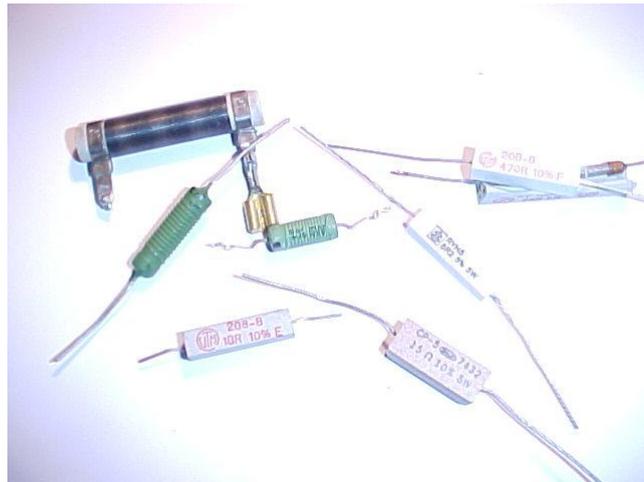


Fig. 7. Photo des résistances bobinées de puissance.

Tableau 6. Caractéristiques générales.

Aspect	Divers mais reconnaissables soit à l'inscription, soit au fil enroulé souvent visible.
Principe de fabrication	Le plus souvent constitué d'un fil enroulé et recouverte d'une couche de protection (vernis, émail, ciment ou verre).
Avantages	- Hautes précisions. - Bon vieillissement.
Inconvénients	Interdit de l'usage en hautes fréquences.
Utilisations préférentielles	Jusqu'à 10 watts environ.

③ Résistances bobinées de puissance (Résistances de charge)



Fig. 8. Photo des résistances bobinées de puissance (Résistances de charge).

Tableau 7. Caractéristiques générales.

Aspect	Se reconnaissent au système de fixation mécanique. La valeur de R et P est généralement inscrite en toute lettre.
Principe de fabrication	Le plus souvent constitué d'un fil enroulé et recouverte d'une

	couche de protection (vernis, émail ou ciment). La forme du boîtier permet une fixation à un radiateur pour augmenter la dissipation de chaleur.
Avantages	
Inconvénients	
Utilisations préférentielles	De 5 à 20 watts environ

I.1.1.4. Gamme des valeurs standards (Valeurs normalisées des résistances)

Les résistances du commerce sont vendues avec des valeurs fixes (standards), c'est à dire normalisées. Il existe plusieurs **séries** nommées : **E3, E6, E12, E21, E48, E96 et E192**. Les valeurs de base d'une série Ex sont alors $R_i \cong 10^{\binom{i}{x}}$; pour i entre 0 et (x-1). Ensuite, il y a tous les multiples de 10 de cette série de base.

La série E12 (plus commune) est constituée des résistances de valeur 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68 et 82 Ohm, deca Ohm, hecto Ohm, kilo Ohm, 10⁴Ohm... (Voir le tableau des valeurs normalisé de l'annexe).

On notera que pour les séries E3 à E24, il n'y a que 2 chiffres significatifs à considérer alors qu'au delà, la précision nécessite 3 chiffres significatifs.

Exemple : les valeurs des résistances de base des séries E12 et E24 (Voir le tableau précédent).

I.1.1.5. Code des couleurs

Les valeurs des résistances sont généralement marquées sur l'échantillon :

- ♣ Soit en clair (valeur numérique exprimée).
- ♣ Soit en code (couleurs conventionnelles).

Le code des couleurs utilise des anneaux de couleur sur le corps des résistances. Le code se lit en regardant la résistance de telle manière que l'anneau le plus près d'un bord de la résistance: soit situé à gauche. Pour les résistances au carbone, ce code utilise quatre anneaux de couleur, les deux premiers anneaux en partant de la gauche représentent les chiffres significatifs, le troisième anneau représente le coefficient multiplicateur et le dernier la tolérance sur la valeur nominale de la résistance. La série E6 (tolérance ± 20 %) n'utilise pas le quatrième anneau. Le code des couleurs est représenté par le tableau 8.

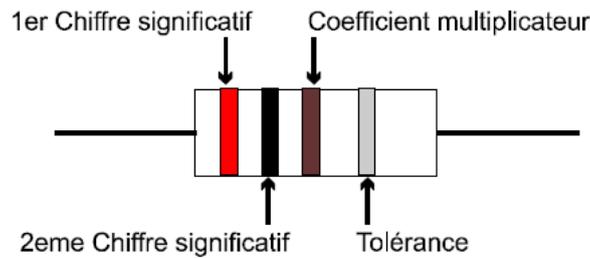


Fig. 9. Code des couleurs d'une résistance au carbone.

Tableau 8. Tableau du code des couleurs.

Couleur	1 ^{er} anneau	2 ^{ème} anneau	3 ^{ème} anneau	4 ^{ème} anneau
Argent			10^{-2}	$\pm 10 \%$
Or			10^{-1}	$\pm 5 \%$
Noir		0	1	
Marron	1	1	10	$\pm 1 \%$
Rouge	2	2	10^2	$\pm 2 \%$
Orange	3	3	10^3	
Jaune	4	4	10^4	
Vert	5	5	10^5	
Bleu	6	6	10^6	
Violet	7	7		
Gris	8	8		
Blanc	9	9		

Exemple : Prenons un exemple particulier (Fig. 10):

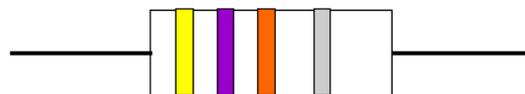
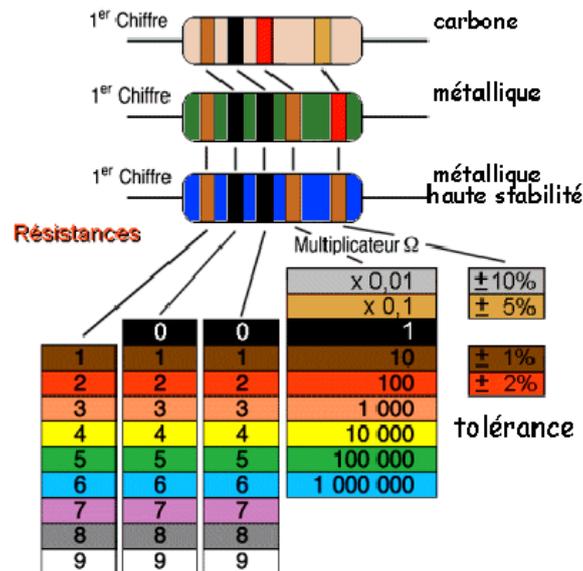


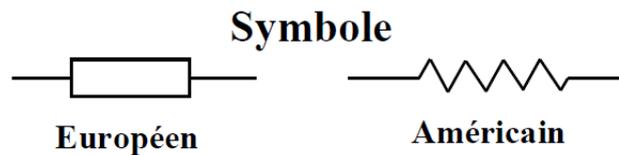
Fig. 10. Résistance au carbone marquée en code de couleurs.

- ✘ Soit le premier anneau de couleur jaune, il correspond à 4.
- ✘ Soit le deuxième anneau de couleur violette, il correspond à 7.
- ✘ Soit le troisième anneau de couleur orange, il un correspond à 103.
- ✘ Soit le quatrième anneau de couleur argent, il correspond à $\pm 10 \%$.

La valeur nominale de la résistance est 47 multiplié par 10^3 , soit 47 k Ω , sa tolérance est de $\pm 10 \%$.



I.1.1.6. Symboles



I.1.1.7. Caractéristiques des résistances

- ❶ **Valeur nominale** : On désigne par **résistance nominale** R_n la valeur de la résistance pour laquelle le composant a été élaboré.
- ❷ **La tolérance** : On désigne par, tolérance absolue, l'écart ΔR maximal admis entre la valeur nominale figurant au catalogue et la valeur réelle de l'échantillon mesurée avec précision, dans des conditions normales d'emploi.

* Considérons deux valeurs nominales normalisées successives R_1 et R_2 , dans la série définie par la tolérance 10 % :

- ♣ R_1 couvre la zone de valeurs probables depuis $0,9 R_1$ jusqu'à $1,1 R_1$,
- ♣ R_2 couvre la zone de valeurs probables depuis $0,9 R_2$ jusqu'à $1,1 R_2$.
- ♣ R_1 et R_2 sont choisies de telle manière que ces deux zones se recouvrent ou soient pratiquement adjacentes.

Toute valeur réelle de résistance R désirée comprise entre R_1 et R_2 sera nécessairement située dans l'une ou l'autre des zones de probabilité :

- ♣ Soit dans celle de R_1 , on prendra R_1 ,

❶ Soit dans celle de R2, on prendra R2.

Dans ces conditions de choix, l'écart entre la valeur nominale prise et la valeur R désirée sera inférieur à 10 %.

Remarque : si R se trouve dans la partie commune où les zones se recouvrent, on pourra prendre R1, ou R2.

Prenons par exemple dans la série 10 %, les résistances normalisées :

R1= 82 kΩ qui couvre de $82 \times 0,9 \cong 74 \text{ k}\Omega$ à $82 \times 1,1 \cong 90 \text{ k}\Omega$;

R2=100 kΩ qui couvre de $100 \times 0,9= 90 \text{ k}\Omega$ à $100 \times 1,1=110 \text{ k}\Omega$.

On désire dans un montage utiliser :

- Soit une résistance R= 87 kΩ, on choisira R1= 82 kΩ.
- Soit une résistance R'= 94 kΩ, on choisira R2=100 kΩ.
- Soit une résistance R" = 90 kΩ, on choisira R1 ou R2.

❷ **Puissance nominale (maximale) :** dans les conditions normales (pression atmosphérique normale, température ambiante normale), la température maximale que peut supporter une résistance, correspond à une puissance absorbée par cette résistance que nous appelons puissance nominale P_n.

❸ **Tension nominale :** La tension nominale U_n est la conséquence de la puissance nominale P_n, elle correspond à la tension qui provoquerait dans cette résistance une dissipation thermique égale à P_n, c'est à-dire :

$$\text{On a : } U = R_n \cdot I_n \text{ et } P_n = U_n \cdot I_n \Rightarrow P_n = R_n I_n^2 \Rightarrow I_n = \frac{P_n}{U_n} \Rightarrow U_n = R_n \cdot \frac{P_n}{U_n} \Rightarrow U_n^2 = R_n \cdot P_n \Rightarrow U_n = \sqrt{R_n \cdot P_n}$$

❹ **Coefficient de température :** Dans des conditions de refroidissement déterminées, lorsque la puissance absorbée par une résistance augmente, la température de celle-ci augmente. La résistance reste-t-elle constante? Non, les variations de résistance sont caractérisées par le coefficient de température.

On appelle coefficient de température la variation relative de la résistance due à une variation absolue de température ambiante de 1°C ; c.à.d. $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$. Ce coefficient s'exprime généralement en 10⁻⁶/°C.

❺ **Facteur de bruit :** L'agitation thermique et le passage du courant (à fréquence variable) créent un bruit. Ce bruit est généralement exprimé en microvolt par volt appliqué à la résistance.

De façon plus imagée, nous pouvons dire : des vibrations désordonnées provenant de l'agitation des charges dans la matière, se traduisent en radiophonie par une perturbation sonore appelée bruit.

I.1.2. Formules de base

I.1.2.1. Loi d'Ohm

Si on applique une ddp de 2V, on mesure le courant soit de 1A. Alors le rapport de la tension au courant est égal : $\frac{E}{I} = 2$

Pour 4V----→ On trouve 2A, donc : $\frac{E}{I} = 2$

Pour 6V----→ On trouve 3A, donc : $\frac{E}{I} = 2$

De ce fait le physicien Allemand **Georg-Simon Ohm** énonça la loi appelé « loi d'Ohm » :

« Le rapport entre la tension appliquée aux bornes d'un conducteur, et le courant qui le parcourt est un nombre constant ».

Ce nombre caractérise une propriété du conducteur ; c'est sa **résistance** où :

$$\frac{E}{I} = R$$

I.1.2.2. Résistivité

La résistance dépend à la fois des dimensions du conducteur et de sa nature. Par exemple, la résistance d'un fil (Fig. 11) est proportionnelle à sa longueur l et inversement proportionnelle à sa section s :

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

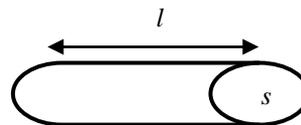


Fig. 11. Résistance d'un fil conducteur.

Le coefficient ρ est caractéristique d'un matériau donné et se nomme résistivité. L'unité de résistivité est l'ohm-mètre ($\Omega.m$) puisque l s'exprime en mètres et s en mètres carrés.

I.1.2.3. Puissance

On peut prouver expérimentalement que la puissance (dégagement de la chaleur par exemple) est directement proportionnelle à la tension E aux bornes de la résistance et au courant I qui la traverse, c.à.d.

$$P = E . I$$

P en Watts [W] ; E en Volt [V] ; I en Ampères [A]

I.1.2.4. Effet Joule

L'effet Joule est le nom d'un phénomène tiré du nom d'un physicien anglais qui a étudié les lois de la chaleur. Une résistance parcourue par un courant consomme une énergie électrique et la transforme en chaleur. La puissance correspondante s'exprime par l'une des trois formules, équivalentes grâce à la loi d'Ohm comme suit:

$$P = E.I = (R.I)I = RI^2 = \frac{E^2}{R}$$

I.1.2.5. Association des résistances en série et en parallèle

I.1.2.5.1. Association en série

On peut brancher deux résistances R_1 et R_2 en série comme montré dans la figure suivante :

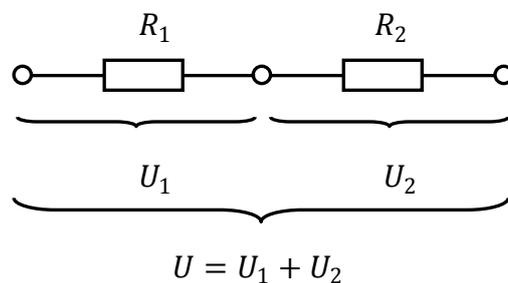


Fig. 12. Association de deux résistances en série.

Le courant est le même dans les deux éléments, mais les tensions à leurs bornes s'ajoutent.

Dans le cas général, pour n résistances, la résistance équivalente est :

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

I.1.2.5.2. Association en parallèle

Dans ce cas la tension est la même pour les deux éléments, mais les courants qui les traversent s'ajoutent. La résistance équivalente pour n résistances est donnée par:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

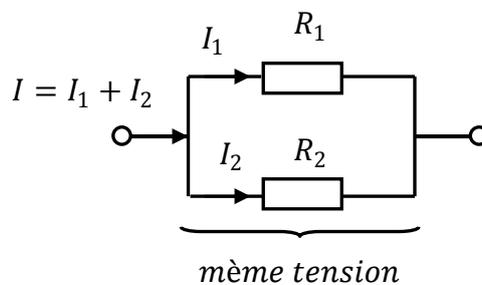


Fig. 13. Association de deux résistances en parallèle.

I.1.3. Utilisations et applications

I.1.3.1. Potentiomètre (Potentiomètres de réglage)

Ces éléments sont utilisés lorsque l'on veut pouvoir régler manuellement un paramètre électrique de façon régulière. Ils sont en général constitués d'un axe relié à un curseur qui se déplace sur une piste de carbone.

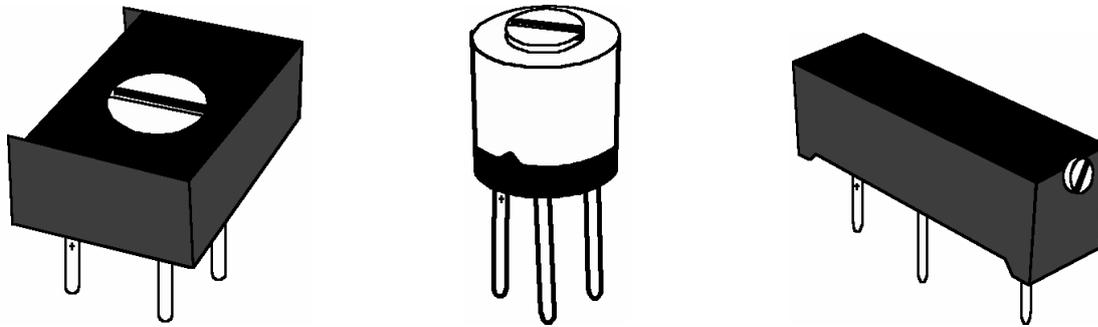


Fig. 14. Différents formes des potentiomètres de réglage.

I.1.3.2. Ajustables (Résistances ajustables)

Les ajustables (résistances ajustables) sont formées d'un curseur qui frotte sur une piste de carbone. Il faut se munir d'un tournevis pour les actionner. De faible encombrement sur les circuits imprimés (souvent 1 cm), les ajustables sont disponibles en deux versions : l'une à câbler horizontalement (solution la moins fragile), l'autre à câbler verticalement (solution la moins encombrante). Les valeurs s'échelonnent entre 100 Ω et 4,7 M Ω . Exemple : les ajustables Cermet.

I.1.4. Test et pannes

I.1.4.1. Test avec un ohmmètre

On peut déterminer la valeur de la résistance d'un corps au moyen d'un ampèremètre et d'un voltmètre et d'une source de courant (est une méthode indirecte), la méthode directe consiste à utiliser un appareil appelé « Ohmmètre ».

La construction de cet appareil dans sa forme la plus simple est constituée d'un milliampèremètre dont l'échelle est calibré de 0 à ∞ , d'une pile sèche de tension E et d'une résistance variable R_0 .

I.1.4.2. Accroissement de la résistance

La résistance d'une substance varie selon la formule suivante : $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ tel que R_t est la résistance à une température t ; R_0 est la résistance à 0°C ; α est un coefficient de température en $1/^\circ\text{C}$. Cette relation démontre que les pertes dans une ligne électrique peuvent être augmentées (par exemple de l'hiver à l'été) et ça c'est un problème.

Chapitre 2 : Les condensateurs

I.2.1. Variétés technologiques

I.2.1.1. Condensateurs au film plastique

❶ Condensateurs au film polyester MKT

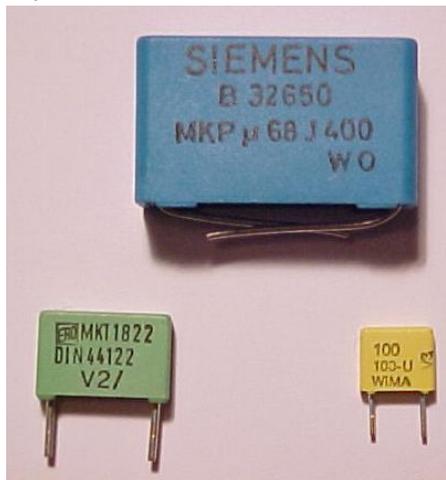


Fig.1. Photo des condensateurs au film polyester MKT.

Tableau 1. Caractéristiques générales.

Capacité [F]	1η → 10μ
Tolérance [%]	+/- 10%
Tension de service [V]	50V → 400V
Caractéristiques générales	Résiste à l'humidité
Utilisations préférentielles	Audio-vidéo, liaison, découplage

❷ Les condensateurs à film polyester MKS2, MKS4, FKS, MKT(X2).

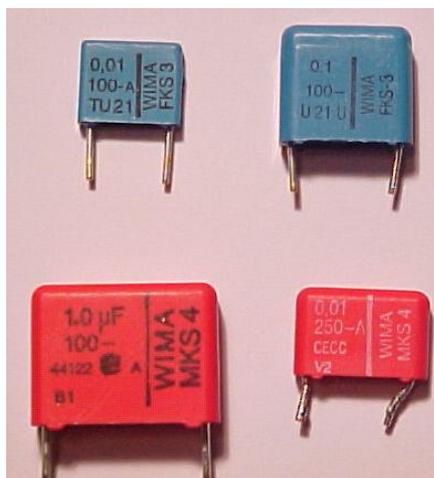


Fig.2. Photo des condensateurs au film polyester MKS2, MKS4, FKS, MKT(X2).

Tableau 2. Caractéristiques générales.

Capacité [F]	$1\eta \rightarrow 2\mu$
Tolérance [%]	+/- 20%
Tension de service [V]	63V \rightarrow 250V
Caractéristiques générales	Charge impulsionnelle élevée, courants forts
Utilisations préférentielles	Audio-vidéo, liaison, découplage, circuits de découpages

③ Les condensateurs à film polyester métallisé MMK, MKS01

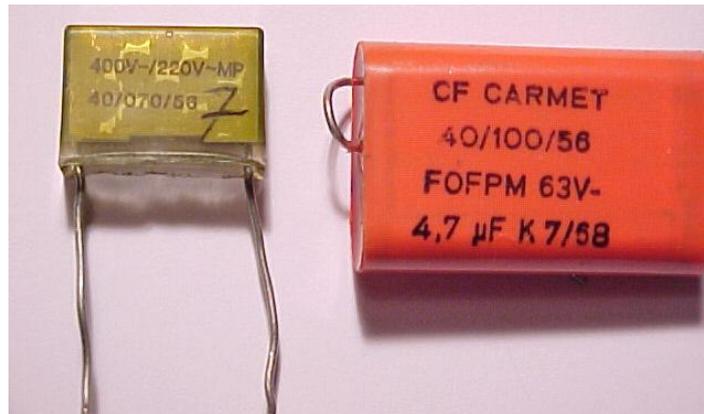


Fig.3. Photo des condensateurs au film polyester métallisé MMK, MKS01.

Tableau 3. Caractéristiques générales.

Capacité [F]	$1\mu \rightarrow 10\mu$
Tolérance [%]	+/- 10%
Tension de service [V]	63V \rightarrow 630V
Caractéristiques générales	Bon vieillissement, utilisable en HF (10-50kHz)
Utilisations préférentielles	Couplage, blocage, filtrage

④ Les condensateurs à film polypropylène FKP, MKP, MKP(X2)

Tableau 3. Caractéristiques générales.

Capacité [F]	$1\eta \rightarrow 680\eta$
Tolérance [%]	+/- 10% \rightarrow +/- 20%
Tension de service [V]	\rightarrow 1250V
Caractéristiques générales	Grande fiabilité
Utilisations préférentielles	Hautes tensions, impulsions de surtension, courants forts

I.2.1.2. Les condensateurs céramiques

① Les condensateurs céramiques plaquettes

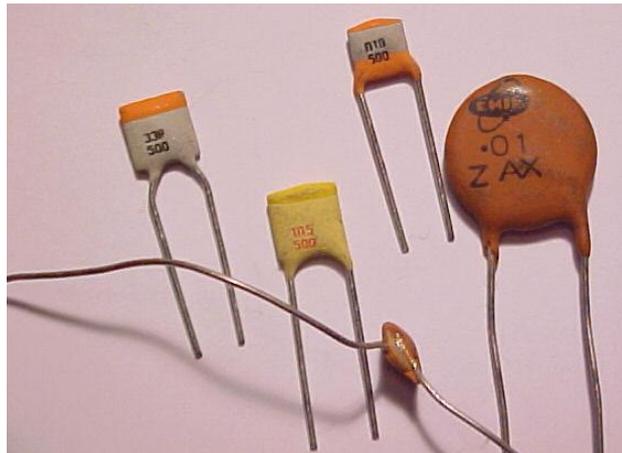


Fig.4. Photo des condensateurs céramiques plaquettes.

Tableau 4. Caractéristiques générales.

Capacité [F]	1p → 22η
Tolérance [%]	+/- 2%
Tension de service [V]	50V → 100V
Caractéristiques générales	Grande plage de valeurs, bonne précision, bonne tenue en température et humidité, très petit volume
Utilisations préférentielles	Filtres, circuits oscillants, HF, compensation en température

② Les condensateurs céramiques multicouches



Fig.5. Photo des condensateurs céramiques multicouches.

Tableau 5. Caractéristiques générales.

Capacité [F]	100p → 1μ
Tolérance [%]	+/- 10% → +/- 20%
Tension de service [V]	50V → 200V
Caractéristiques générales	Grande plage de valeurs, bonne précision, bonne tenue en température et humidité, très petit volume
Utilisations préférentielles	Filtres, circuits oscillants, HF

I.2.1.3. Les condensateurs électrolytiques

❶ Les condensateurs électrolytiques aluminium

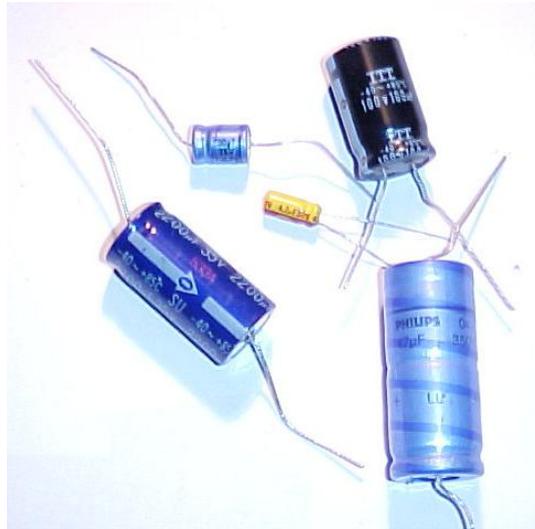


Fig.6. Photo des condensateurs électrolytiques aluminium.

Tableau 6. Caractéristiques générales.

Capacité [F]	$4\mu \rightarrow 4.7\mu$
Tolérance [%]	$\pm 20\% \rightarrow \pm 30\%$
Tension de service [V]	$63V \rightarrow 350V$
Caractéristiques générales	Grandes valeurs pour un faible volume, bon marché mais vieilli mal
Utilisations préférentielles	Filtrage, liaison, découplage

❷ Les condensateurs électrolytiques au tantale



Fig.7. Photo des condensateurs électrolytiques au tantale.

Tableau 7. Caractéristiques générales.

Capacité [F]	$2\mu \rightarrow 100\mu$
Tolérance [%]	$\pm 20\%$
Tension de service [V]	$6V \rightarrow 50V$

Caractéristiques générales	Grandes valeurs pour un faible volume, grande durée de vie, faibles courants de fuites
Utilisations préférentielles	Filtrage, liaison, découplage, transmission radio et fil, applications industrielles, appareils de mesures

I.2.1.4. Gamme des valeurs standards (Valeurs normalisées des condensateurs)

De la même façon que pour les résistances, les capacités des condensateurs disponibles appartiennent aux séries normalisées indiquées dans le tableau des valeurs normalisées. Pour les capacités les plus courantes entre 1 nF et 1 µF, on trouve souvent des progressions (séries) E12, avec des précisions de 10 % ou 5 %. Pour les valeurs plus faibles (1 pF à 1 nF) et plus élevées (1 µF à 47 mF environ), on se contente en général de séries E6 ou même E3 car les précisions sont médiocres : ± 20%.

I.2.1.5. Code des couleurs

Beaucoup de condensateurs sont marqués en clair : la capacité et la tension limite sont indiquées en chiffres sur le corps du composant, avec ou sans indication d'unité. Par exemple, un condensateur polycarbonate marqué 47n 250 a une capacité de 47 nF et une tension maximale de 250 V. Un condensateur tantale marqué 10/25 a une capacité de 10 µF et une tension de 25 V. Certains éléments peuvent être marqués par le code des couleurs. Plusieurs dispositions se rencontrent pour les différentes bandes colorées (Fig 8).

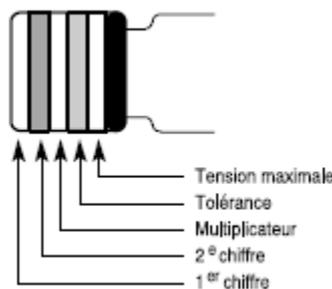


Fig.8. Marquage des condensateurs au polyester métallisé.

Tableau 8. Tableau du code des couleurs.

Couleur	1 ^{er} anneau 1 ^{er} chiffre	2 ^{ème} anneau 2 ^{ème} chiffre	3 ^{ème} anneau Multiplicateur	4 ^{ème} anneau précision	5 ^{ème} anneau Tension maximale
Noir		0	1	20%	
Marron	1	1	10 PF		

Rouge	2	2	10^2 PF		250V
Orange	3	3	10^3 PF=1nF		
Jaune	4	4	10^4 PF=10nF		400V
Vert	5	5	10^5 PF=100nF		
Bleu	6	6	10^6 PF=1 μ F		
Violet	7	7	10 μ F		
Gris	8	8			
Blanc	9	9		10%	

I.2.1.6. Symbole

Le condensateur est représenté par son symbole normalisé de la figure suivante :



Fig.9. Symbole normalisé d'un condensateur.

D'autre part, il y a la représentation américaine suivante :



Fig.10. Symbole de la représentation américaine d'un condensateur.

I.2.1.7. Caractéristiques des condensateurs

I.2.1.7.1. Valeur nominale

Un condensateur a d'abord pour fonction de stocker une charge électrique Q sous une tension V . Sa capacité C est égale alors au rapport de la charge emmagasinée par la tension V appliquée entre ses armatures :

$$C = \frac{Q}{V}$$

Tel que :

C : en farads (F),

Q : en coulombs (C),

V : en volts (V).

I.2.1.7.2. Tension maximale

Si une tension trop importante est appliquée aux bornes du condensateur, le diélectrique se perce et le composant est détruit : c'est le claquage du condensateur. Il existe donc une tension limite précisée par les constructeurs pour chaque modèle. Suivant la technologie et la capacité du condensateur, les tensions maximales sont assez variables : quelques volts à plusieurs milliers de volts.

I.2.1.7.3. Tolérance

Elle correspond aux écarts de valeur qu'il peut y avoir sur la capacité du condensateur. Pour avoir les deux valeurs extrêmes du condensateur, il suffit de multiplier la valeur indiquée par $1 - \frac{\text{tolérance}}{100}$ et $1 + \frac{\text{tolérance}}{100}$.

Par exemple un condensateur de $220 \mu\text{F} = 0.00022 \text{ F}$ avec une tolérance de $-10\%/+30\%$ aura une valeur comprise entre $220 * (1 - \frac{10}{100}) = 220 * 0.9 = 198 \mu\text{F}$ et $220 * \frac{1+30}{100} = 220 * 1.3 = 286 \mu\text{F}$.

I.2.1.7.4. Déviation en température

Tout comme les résistances, les condensateurs dévient en température. Pour les condensateurs à film, la famille MKT à un coefficient de température positif, c'est à dire que plus la température augmente, plus la capacité du condensateurs augmente. Pour les autres condensateurs à film, le coefficient est négatif; c'est à dire que plus la température augmente, plus la valeur du condo diminue.

I.2.1.7.5. Courant de fuite

Un condensateur chargé, laissé longtemps déconnecté finit par être décharger; c'est comme s'il y avait une résistance de très forte valeur entre les deux bornes du condo. Par exemple pour un condo de $4700 \mu\text{F} 63\text{V}$, le courant de fuite est d'environ 2 mA .

I.2.1.7.6. Résistance série

Le condensateur n'est pas parfait, c'est à dire qu'il n'est pas capable de fournir ou de recevoir un courant infini. En effet, tout se passe comme s'il y avait une résistance de très faible valeur en série avec le condensateur. Par exemple pour le condo de $4700 \mu\text{F} 63\text{V}$, la résistance série est de l'ordre de 0.04 Ohm .

I.2.2. Formules de base

I.2.2.1. Capacité

Le condensateur est caractérisé par le coefficient de proportionnalité entre charge et tension appelé capacité électrique et exprimée en farads (F) :

$$C = \frac{Q}{V}$$

Tel que :

C : en farads (F),

Q : en coulombs (C),

V : en volts (V).

I.2.2.2. Charge emmagasinée

Au point de vue énergétique, le comportement du condensateur est bien différent de celui de la résistance. Alors que cette dernière dissipe l'énergie électrique en la transformant en chaleur, le condensateur emmagasine l'énergie quand il se charge et la restitue lorsqu'il se décharge. Il n'y a pas de pertes d'énergie électrique (sauf de petits défauts dont l'importance est secondaire). Le condensateur chargé forme donc une réserve d'énergie. Ce phénomène est utilisé dans certaines applications.

La quantité de charge Q emmagasinée sous une tension U donnée dépend du condensateur employé. Pour un composant choisi, la quantité de charge est proportionnelle à la tension appliquée à ses bornes. On écrit :

$$Q = CU$$

I.2.2.3. Association de condensateurs en série

On peut grouper n condensateurs en série de capacités C_1, C_2, \dots, C_n . On obtient un condensateur équivalent dont la capacité C est telle que :

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

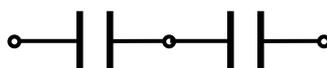


Fig.11. Condensateurs en série.

I.2.2.4. Association de condensateurs en parallèle

Des condensateurs de capacités C_1, C_2, \dots, C_n branchés en parallèle (*figure 2.5*) donnent un condensateur équivalent de capacité :

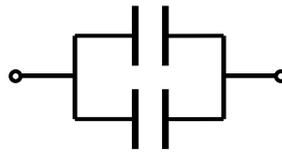


Fig.12. Condensateurs en parallèle.

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

I.2.2.5. Courbes de charge et de décharge en courant continu

La charge la plus simple est obtenue quand le courant est constant. En effet, dans ce cas la tension U aux bornes du condensateur croît linéairement avec le temps t :

$$U = \frac{I}{C} t$$

Il faut cependant prendre garde au fait que cette formule ne s'applique que si le condensateur est totalement déchargé au départ (la tension est nulle à $t = 0$). On peut tracer la courbe représentant la tension U en fonction du temps t : on obtient une portion de droite (Fig 13). Le tracé a été fait pour un condensateur de capacité $1\mu\text{F}$ chargé avec un courant constant de 1 mA .

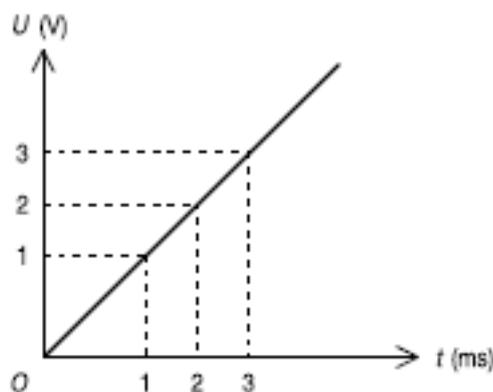


Fig.13. Charge d'un condensateur à courant constant.

Dans la plupart des applications, les condensateurs ne sont pas chargés à courant constant. Un générateur de tension continue E est branché en série avec une résistance R et le condensateur C (Fig.14).

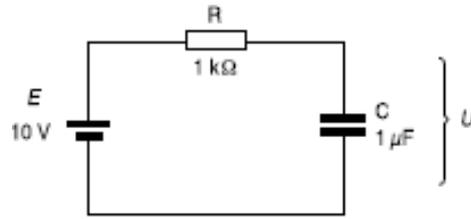


Fig.14. Circuit de charge d'un condensateur par un générateur de tension et une résistance.

Si le circuit est fermé à $t = 0$, le condensateur étant complètement déchargé, l'évolution de la tension U se fait suivant une courbe (Fig.15).

La charge commence assez rapidement puis se ralentit de plus en plus. Pour chiffrer la durée de la charge, on définit la constante de temps du circuit par :

$$\tau = RC$$

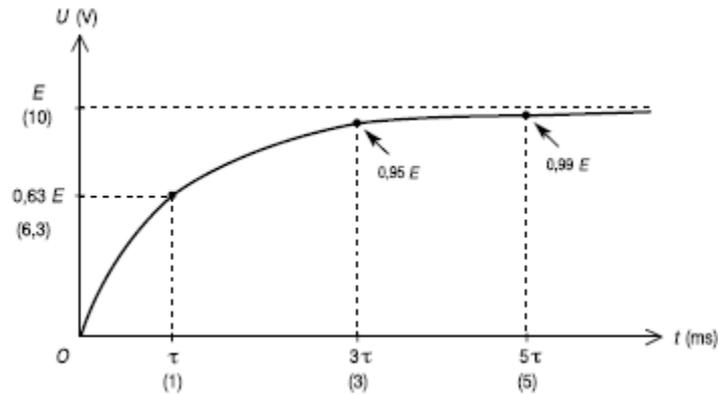


Fig.15. Évolution de la tension aux bornes d'un condensateur chargé par un générateur de tension et une résistance.

Cette courbe est en fait une « exponentielle » dont l'équation mathématique est :

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

La décharge du condensateur est obtenue en remplaçant le générateur E par un court-circuit (Fig.16).

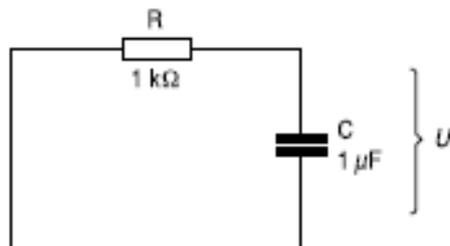


Fig.16. Circuit de décharge du condensateur.

L'évolution de la tension aux bornes du condensateur est encore représentée par une courbe (Fig.17).

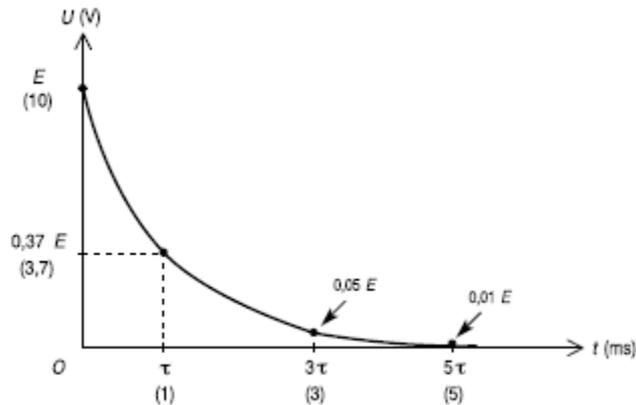


Fig.17. Évolution de la tension aux bornes du condensateur lors de sa décharge.

On peut remarquer qu'une charge ou une décharge est pratiquement terminée au bout de quelques constantes de temps : au bout de 5τ , on atteint la valeur finale à 1 % près.

Les charges et décharges exponentielles sont utilisées dans de nombreux montages : astables, monostables...

I.2.2.6. Courbes de charge et de décharge en courant alternatif

Comme le courant alternatif change de sens périodiquement, les condensateurs se chargent et se déchargent sans arrêt. Ce mouvement continu donne l'impression qu'un courant alternatif traverse le condensateur alors qu'aucune charge ne passe d'une armature à l'autre. En régime sinusoïdal à fréquence donnée, on constate deux choses :

– la tension et le courant sont en quadrature, c'est-à-dire sont déphasés de 90° , la tension étant en retard sur le courant (Fig.18).

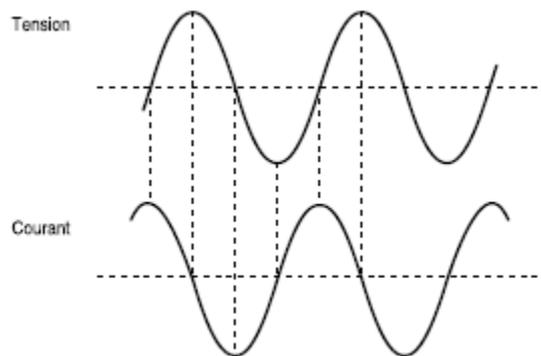


Fig.18. Tension et courant en quadrature.

– la valeur efficace de la tension aux bornes du condensateur est proportionnelle à l'intensité efficace du courant :

$$U_{eff} = ZI_{eff}$$

Le coefficient Z est l'impédance du condensateur. Si l'on augmente la fréquence, on constate que l'impédance diminue. On a en effet :

$$Z = \frac{1}{2\pi fC}$$

La notion d'impédance pour un condensateur est voisine de la notion de résistance puisque la relation entre U et I a même forme que la loi d'Ohm. Toutefois, des différences importantes sont à noter. Tout d'abord, l'impédance ne se définit qu'en régime sinusoïdal permanent alors que la résistance est une grandeur indépendante des formes du courant et de la tension. En deuxième lieu, l'impédance d'un circuit ne décrit pas complètement son fonctionnement en sinusoïdal : il faut lui associer la connaissance du déphasage entre courant et tension.

Pour terminer, l'impédance varie avec la fréquence des signaux, alors que la résistance est une constante. Cependant, en tenant compte des diverses restrictions qui viennent d'être exposées, on peut raisonner sur les impédances un peu comme sur les résistances. Les variations de l'impédance des condensateurs sont exploitées pour la réalisation des filtres de fréquence.

I.2.3. Utilisations et applications

I.2.3.1. Condensateur variable

On ne dispose pas en général de condensateurs variables, sauf dans quelques cas particuliers. On a d'abord les condensateurs à lame d'air qui sont formés d'une armature fixe et d'une armature mobile montée sur un axe. En faisant tourner l'armature, on fait varier la surface des plaques en regard, ce qui se traduit par une modification de la capacité. Il n'y a pas de diélectrique, ce rôle est joué par l'air présent entre les armatures. Les capacités sont donc très faibles. Ce genre de matériel n'est utilisé que pour l'accord des circuits oscillants des récepteurs radio. On trouve aussi des ajustables à la céramique ou au plastique. Ces petits condensateurs ont de faibles capacités (quelques picofarads ou quelques dizaines de picofarads). Le réglage se fait à l'aide d'une vis.

I.2.3.2. Condensateur de liaison

Un condensateur de liaison permet de transmettre un signal d'une partie à une autre d'un circuit électronique mais en bloquant la composante continue, ce qui permet de garantir la polarisation statique de chaque partie séparément.

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

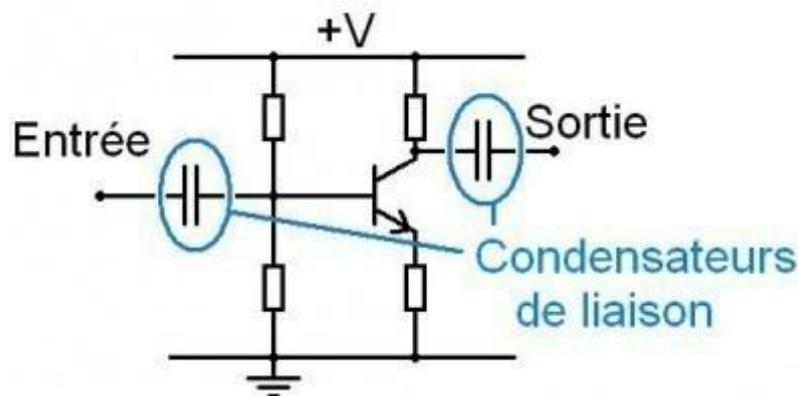


Fig.19. Condensateur de liaison.

Le condensateur de liaison bloque les tensions de polarisation (continues) mais laisse passer les variations dynamiques (signal). Sa capacité doit être suffisante pour ne pas atténuer les plus basses fréquences du signal à transmettre.

On voit ci dessus un montage à transistor avec deux condensateurs de liaison.

I.2.3.3. Condensateur de découplage

Un condensateur de découplage est un condensateur (généralement céramique car on n'a pas besoin d'une grande précision sur sa valeur) relié entre la patte d'alimentation d'un composant et la masse du circuit. Il permet d'évacuer les harmoniques de hautes fréquences vers la masse et augmente donc l'immunité électromagnétique du circuit sur lequel il est installé.

De la figure 20, C5 et C3 sont des condos de découplages.

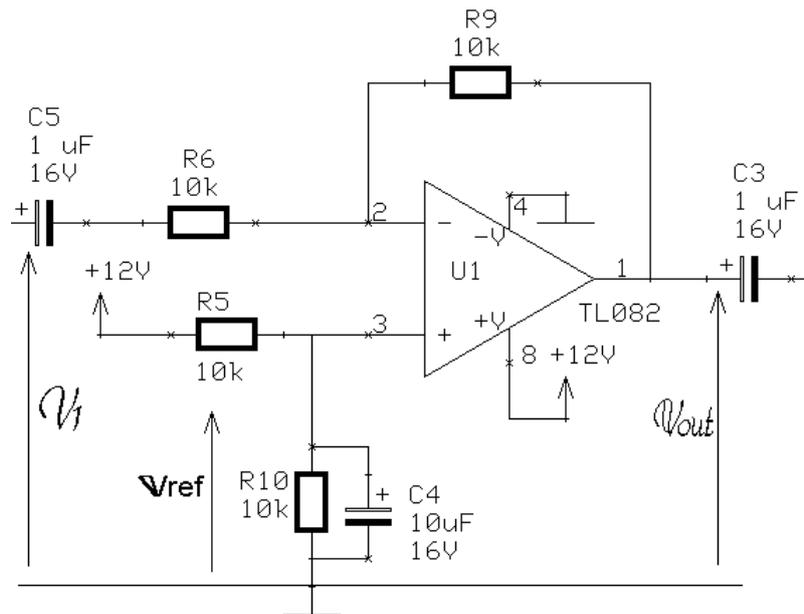


Fig.20. Condensateur de découplage.

I.2.3.4. Filtrage (circuits RC et CR)

a) Le circuit RC et le circuit CR

Il se compose d'une résistance et d'un condensateur formant un quadripôle. Le signal de sortie est prélevé aux bornes de la résistance (circuit CR) ou du condensateur (circuit RC). On peut l'assimiler à un diviseur potentiométrique. La tension aux bornes du condensateur s'établit avec un retard par rapport à celle qui est présente aux bornes de la résistance, ce qui provoque un déphasage du signal de sortie par rapport au signal d'entrée. Ce type de filtre, dit "passif" présente l'avantage de ne pas écrêter le signal (à condition de choisir des composants supportant les tensions et courants qui leur sont appliqués), comme le ferait un filtre actif équipé d'un ampli opérationnel.

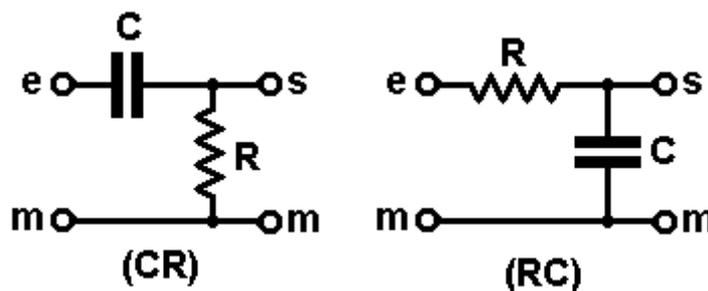


Fig.21. Circuit CR et RC.

b) Comportement en courant sinusoïdal

L'un et l'autre des deux quadripôles se rencontrent très souvent dans les schémas d'amplificateurs.

- * (CR) comme circuit de liaison entre deux étages.
- * (RC) condensateur de découplage sur la ligne d'alimentation.

Pour un courant sinusoïdal, le condensateur peut être comparé à une résistance placée dans un diviseur de tension dont la valeur en ohms serait égale à sa réactance X_c . Or cette réactance dépend de la fréquence du courant sinusoïdal, le rapport de division va donc varier en fonction de la fréquence. Le comportement du quadripôle est alors celui d'un filtre :

- * Passe-haut pour le filtre de type CR.
- * Passe-bas pour le filtre de type RC.

I.2.3.5. Condensateur réservoir d'énergie

Nous avons vu qu'un condensateur soumis à une différence de potentiel v portait des charges $+q$ et $-q$ sur ses armatures, avec la relation $q = C.v$.

Pour accroître de dq la charge des armatures, il faut qu'une quantité dq de charges se déplacent et voient leur potentiel passer de zéro à v . On sait que pour un tel déplacement, il faut leur apporter une quantité d'énergie égale à $dW = dq.v$

Or, si on apporte une quantité de charges supplémentaires dq , la différence de potentiel V s'accroît de $dv = \frac{dq}{C}$

Donc, on peut écrire $dq = C.dv$ et $dW = dq.v = C.v.dv$

Par intégration, on peut en déduire la quantité totale d'énergie qu'il a fallu apporter pour amener la différence de potentiel aux bornes du condensateur de zéro à V

$$W = \int .dW = \int_0^V C.v.dv = \frac{1}{2}.C.V^2$$

Si l'on relie ensuite entre elles les deux armatures par un fil conducteur, le condensateur va se décharger : les charges accumulées vont repartir. En faisant le même calcul que précédemment, on peut déterminer l'énergie que recevront les charges durant leur retour, pendant que la différence de potentiel entre les armatures va repasser de V à 0 .

On obtient :

$$W = \int .dW = \int_v^0 C.v.dv = -\frac{1}{2}.C.V^2$$

Ceci prouve que l'énergie fournie durant la charge était restée disponible et qu'elle est restituée lors de la décharge du condensateur.

Un condensateur est donc un réservoir d'énergie électrique.

I.2.4. Test et pannes

I.2.4.1. Test de condensateur avec un ohmmètre

❶ Déchargez le condensateur

Un condensateur ne peut être testé qu'en étant séparé du circuit auquel il est raccordé. Il faut aussi le décharger.

Mettez pour cela ses 2 pôles en contact avec un élément métallique quelconque : réglet, paire de ciseaux, lame de tournevis, étou...



Fig.22. Opération de déchargement d'un condensateur.

❷ Calibrez le multimètre ou choisissez un ohmmètre

Choisissez la fonction ohmmètre de l'appareil, comme pour vérifier la continuité d'un conducteur ou d'un circuit.



Fig.23. Opération de calibration du multimètre.

③ Effectuez le test du condensateur

Posez la pointe de touche rouge du multimètre sur la borne ou le fil + du condensateur et la pointe de touche noire sur la borne - ou selon le cas, sur le corps du condensateur lui-même.

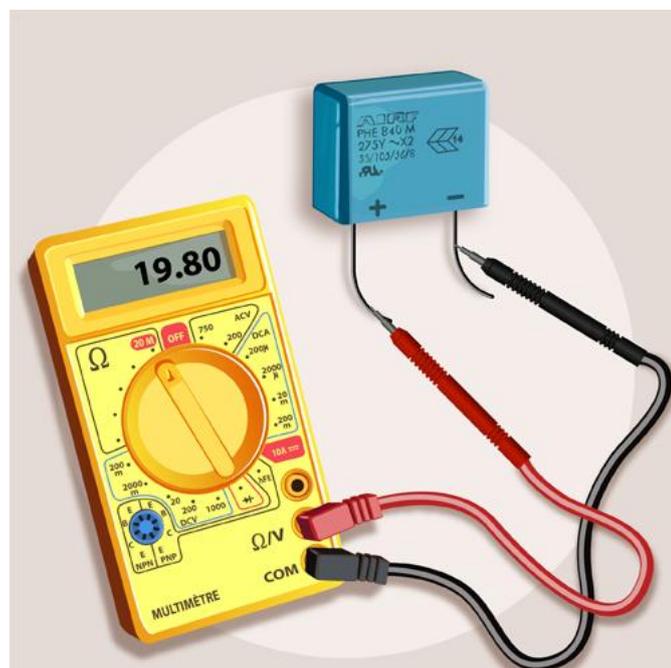


Fig.24. Opération du test.

④ Interprétez la mesure

Lorsque l'afficheur du multimètre (numérique) indique 10 millions (ou plus) puis redescend à 0, le condensateur fonctionne correctement.

Si en revanche l'afficheur reste à 0 ou bien à la valeur précédente (10 millions ou plus), le condensateur est défectueux.

Note : le multimètre peut demander quelques dizaines de secondes pour atteindre la valeur maximale du condensateur et revenir ensuite à 0... Soyez patient. Le cas échéant, pensez aussi à recharger le condensateur entre chaque mesure.

I.2.4.2. Inversion de polarité

Si les polarités sont inversées, le condensateur peut brûler ou même exploser, et pas seulement lors de la mise sous tension. Les condensateurs au tantale branchés à l'envers, par exemple, peuvent se manifester (méchamment) au bout de un ou deux ans de fonctionnement, tout en pouvant ne présenter aucun problème lors des premières utilisations.

Chapitre 3 : Les selfs

I.3.1. Variétés technologiques

I.3.1.1. Bobine à air

Il s'agit de bobines enroulées normalement par conducteurs massifs autoportants ou enroulés sur des matériels isolants pour que le bobinage prenne une forme déterminée. Les bobines à air sont très utilisées dans les circuits électroniques. Elles se caractérisent par la constance de leur valeur d'inductance.



Fig.1. Photo d'une bobine à air.

I.3.1.2. Bobine à noyau de fer

Une bobine à noyau de fer (monophasée) est constituée d'un certain nombre de spires enroulées sur un circuit magnétique en matériau ferromagnétique.

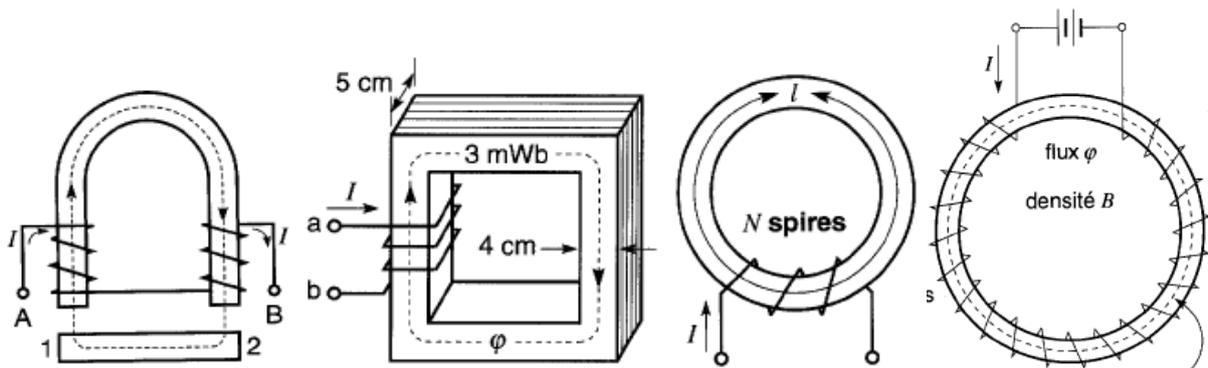


Fig.2. Constitution d'une bobine à noyau de fer (pour certains types).

I.3.1.3. Bobine à noyau de ferrite

Aux fréquences moyennes ou hautes, on utilise des bobines à noyau de ferrite. La plage des fréquences utilisables peut être située entre 100 MHz et 1 GHz pour quelques références. La ferrite est une céramique ferromagnétique à base d'oxyde de fer, elle est fragile et peut se casser.

I.3.1.4. Gamme des valeurs standards (valeurs normalisées des inductances)

La table suivante fournit les valeurs standardisées d'inductances disponibles commercialement. La table donne seulement une décade. Pour obtenir la liste complète pour

toutes les décades d'inductances, multipliez les valeurs de la table par 10, 100 ou 1 000 pour les nano Henrys, micro Henrys et milli Henrys respectivement.

Tab.1. Inductances et condensateurs 5% et 10%.

1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2
2.2	2.4	2.7	3	3.3	3.6	3.9	4.3
4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

I.3.1.5. Symboles

Une bobine peut être représentée par son symbole normalisé (**Fig.3.a**), mais on rencontre aussi d'autres symboles (**Fig.3.b.c.d.e**).

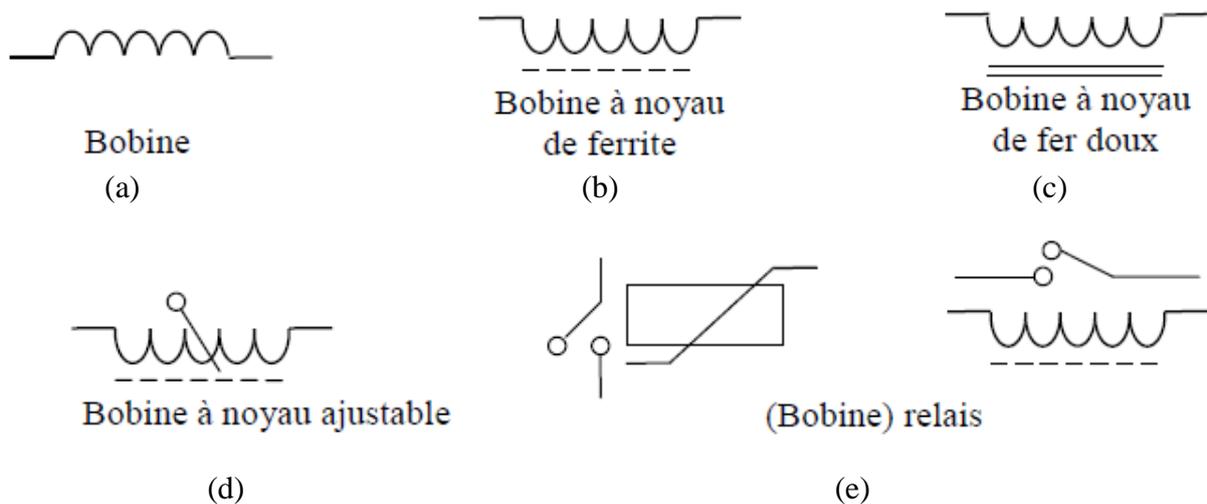


Fig.3. Divers symboles rencontrés pour la représentation des bobines.

I.3.1.6. Caractéristiques des selfs

I.3.1.6.1. Établissement du courant dans une bobine

Si l'on applique une tension constante aux bornes d'une bobine, le courant augmente linéairement suivant la formule:

$$I = \frac{E}{L} t$$

Cette loi de variation n'est toutefois valable que tant que la bobine n'est pas saturée. Les variations du courant I en fonction du temps t sont représentées par un segment de droite (Fig.4).

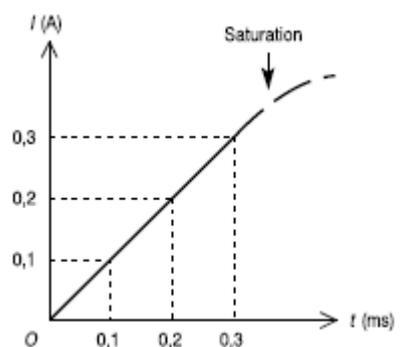


Fig.4. Établissement du courant dans une bobine soumise à une tension constante.

I.3.1.6.2. Établissement du courant dans une bobine à travers une résistance

On a choisi pour le tracé une inductance de 10 mH soumise à une tension de 10 V. Si le courant s'établit à travers une résistance R (Fig.5.a), la courbe devient une exponentielle (Fig.5.b) identique à celle qui représente la tension lors de la charge d'un condensateur (voir chapitre 2.Fig.15).

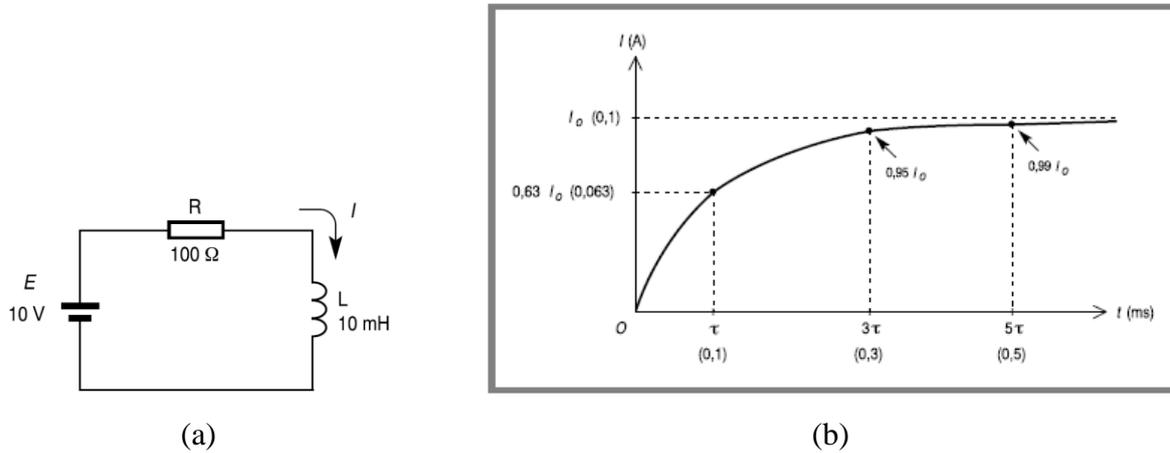


Fig.5. (a) Établissement du courant dans une bobine à travers une résistance ; **(b)** Évolution du courant dans la bobine.

La constante de temps est dans ce cas : $\tau = \frac{L}{R}$

Au bout de quelques constantes de temps, le courant est stabilisé à sa valeur de repos : $I_0 = \frac{E}{R}$

I.3.1.6.3. Évolution du courant lors de son extinction

Les phénomènes sont similaires lors de l'extinction du courant (Fig.6.a et b).

Il ne faut pas ouvrir le circuit contenant la bobine : le courant ne pouvant s'annuler brusquement à cause de l'énergie emmagasinée dans la bobine, il se produirait un arc électrique entre les contacts ouverts.

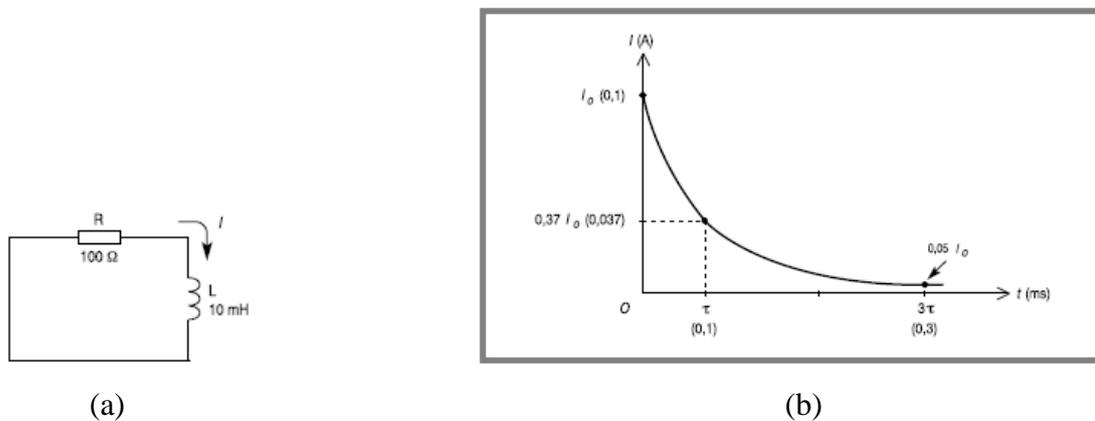


Fig.6. (a) Circuit pour l'extinction du courant dans la bobine ; **(b)** Évolution du courant lors de son extinction.

I.3.1.6.4. Bobine en alternatif

Pour une bobine idéale (résistance négligeable), la tension et le courant sont en quadrature, mais, contrairement à ce qui se passe pour un condensateur, c'est le courant qui est en retard sur la tension (Fig.7).

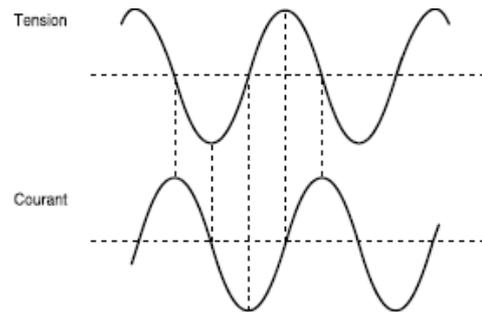


Fig.7. Tension et courant en quadrature.

L'impédance augmente avec la fréquence f et s'exprime par la formule : $Z = 2\pi fL$

Cette variation de l'impédance, opposée à celle qui est observée pour un condensateur, est également utilisée dans certains filtres.

I.3.2. Formules de base

I.3.2.1. Force électromotrice induite (f.é.m.) dans une inductance

* Lorsqu'une bobine est soumise à un champ magnétique variable \vec{H} , elle est le siège d'une force électromotrice induite « e » qui tend à s'opposer aux variations de \vec{H} au niveau de la bobine. Plus la variation de \vec{H} est rapide dans le temps, plus la f.é.m. est grande.

* Lorsqu'une bobine est parcourue par un courant électrique variable « i », le champ \vec{H} créé dans la bobine par ce courant est variable. La bobine est alors le siège d'une f.é.m. auto-induite « e » d'autant plus importante que le courant varie rapidement. On a alors : $e = -L \frac{di}{dt}$

Tel que : L est l'inductance de la bobine et se mesure en Henry (H).

I.3.2.2. Energie emmagasinée dans une bobine

Une bobine emmagasine de l'énergie sous forme électromagnétique lorsqu'elle est parcourue par un courant « i ». Cette énergie est donnée par : $W_m = \frac{1}{2} Li^2$

I.3.2.3. Association d'inductances en série et en parallèles

On peut associer les bobines en série ou en parallèle, mais ces groupements sont très peu utilisés. Les lois d'association pour les inductances sont les mêmes que celles des résistances.

I.3.3. Utilisations et applications

I.3.3.1. Oscillateur LC

Les bobines peuvent être utilisées en hautes fréquences pour la polarisation des transistors. Par exemple, on peut utiliser cette solution dans un oscillateur *LC* du type Colpitts.

I.3.3.2. Transformateur

Un transformateur est constitué de deux enroulements (bobinages) placés sur le même noyau magnétique fermé (Fig.8). Quand on applique une tension variable sur l'un des enroulements (appelé primaire), un flux est créé. Du fait du noyau ferromagnétique, les lignes de flux sont obligées de se refermer (dans leur presque totalité) en passant dans le deuxième enroulement (appelé secondaire). Ce flux variable crée une force électromotrice induite dans ce bobinage, c'est-à-dire qu'il apparaît une tension entre ses bornes. Le rapport de la tension obtenue au secondaire et de la tension appliquée au primaire est constant, égal au rapport des nombres de spires des enroulements :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k$$

Le nombre k est le rapport de transformation de l'appareil.

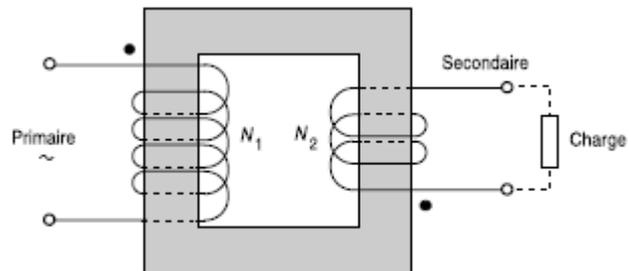


Fig.8. Schéma de principe d'un transformateur.

I.3.3.3. Relais

La bobine est un élément indispensable dans plusieurs types des relais (électromécanique, statique, ...). Généralement, on alimente la bobine pour que les contacts commutent et le retour à l'état initial se fait quand la bobine n'est plus alimentée.

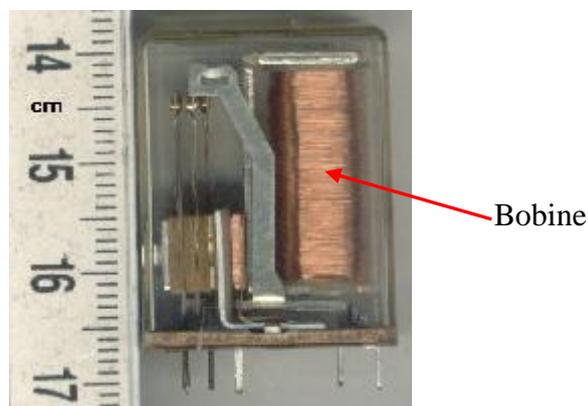


Fig.9. Photo intérieure d'un relais électromécanique.

Partie II : Technologie des composants actifs.

Chapitre 4 : Les diodes.

II.4.1. Généralités

II.4.1.1. Principe de la diode à jonction PN

Le nom diode est tiré du grec (di=deux, double ; odos=voie, chemin ; donc : di odos=double voie) parce qu'elle est conductrice dans un sens et bloquante dans l'autre.

La diode à jonction PN est un composant électronique composé de la succession représentée à la figure (1) suivante :

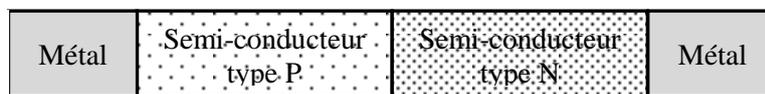


Fig.1. Composition d'une diode à jonction PN.

II.4.1.2. Symbole

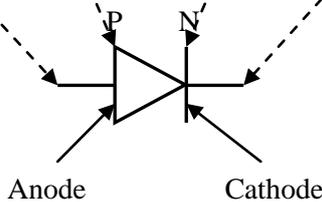


Fig.2. Symbole d'une diode à jonction PN.

II.4.1.3. Polarisation directe et inverse

a) Diode polarisée en directe

En polarisation directe, la tension appliquée ($V_{AK} > 0$) permet le passage d'un courant électrique de l'anode vers la cathode appelé courant direct I_D .

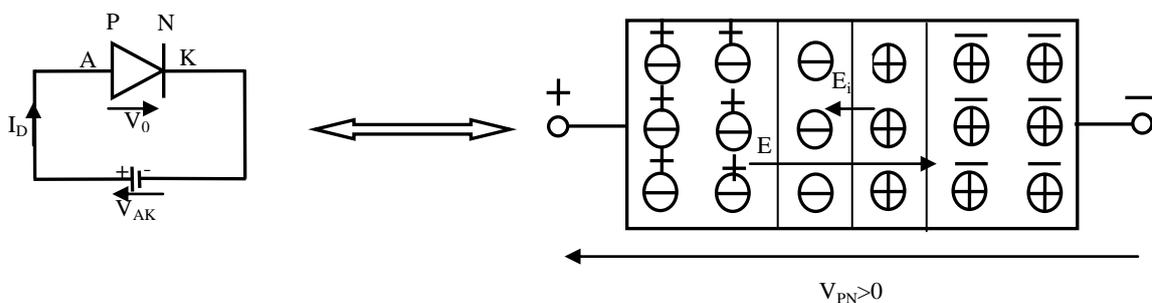


Fig.3. Diode à jonction PN polarisée en directe.

b) Diode polarisée en inverse

En polarisation inverse, la tension appliquée ($V_{AK} < 0$) empêche le passage du courant. Le courant inverse est pratiquement nul.

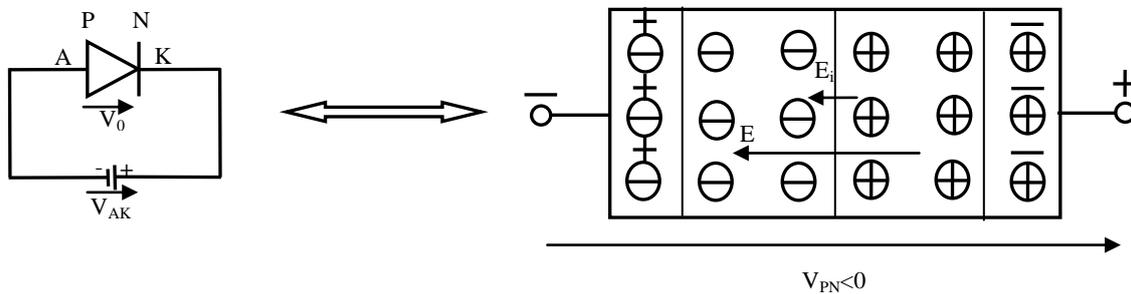


Fig.4. Diode à jonction PN polarisé en inverse.

II.4.1.4. Influence de la température

- Le $1/2$ -conducteur de la diode à jonction PN se comporte comme isolant aux basses températures lorsque l'agitation thermique est faible, et comme conducteur aux températures élevées.

- La résistivité du $1/2$ -conducteur de la diode diminue quand la température augmente.

- Pour les diodes utilisant le Silicium comme semi-conducteur, le Silicium est un atome tétravalent : Il possède 4 électrons de valence qui vont se mettre en commun avec d'autres atomes de Silicium pour avoir la forme cristalline.

A la température 0K toutes les liaisons covalentes sont maintenues. C'est un bon isolant : pas d'électrons libres. Lorsque la température du cristal augmente, certains électrons de valence quittent leurs places, certaines liaisons covalentes sont interrompues. On dit qu'il y a rupture de la liaison covalente et par conséquent :

- * libération de certains électrons qui vont se déplacer librement \Rightarrow conduction du courant électrique.
- * il reste une liaison rompue (un ion Si^+) \Rightarrow naissance d'une paire de charge : électron libre (charge négative) et trou (charge positive).

- En polarisation inverse, le courant inverse est très faible mais il croit rapidement avec la température de la jonction.

II.4.1.5. Caractéristique courant-tension

Cette caractéristique décrit l'évolution du courant traversant la diode en fonction de la tension à ses bornes en courant continu.

a) Diode idéale (parfaite)

En polarisation directe ($U > 0$) la résistance de la diode est nulle. Elle se comporte donc comme un interrupteur fermé.

En polarisation inverse ($U < 0$) : $R = \infty$. La diode est équivalente à un interrupteur ouvert.

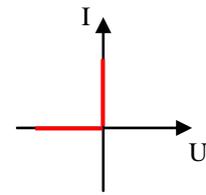


Fig.5. Caractéristique V-I d'une diode idéale.

b) Diode réelle

En polarisation directe, au delà de la tension de seuil V_P la diode est conductrice.

En polarisation inverse, le courant inverse est très faible mais après une certaine valeur négative de tension il intervient le phénomène de claquage.

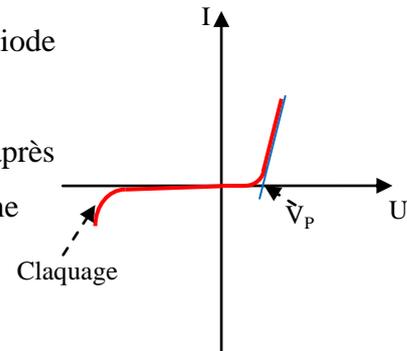


Fig.6. Caractéristique V-I d'une diode réelle.

II.4.1.6. Tension de seuil V_P

La tension de seuil V_P d'une diode réelle est la tension où au delà de laquelle elle est conductrice. Cette tension peut être déterminée en dessinant la pente indiquée en trait bleu (voir Fig.6).

D'autre part, cette pente peut définir aussi la résistance dynamique r_d de la diode tel que :

$$r_d = \frac{dV}{dI}$$

II.4.1.7. Tension inverse maximale

La tension inverse maximale que peut supporter une jonction d'une diode est limitée par deux phénomènes : le perçage et le claquage :

a) Le perçage

Le perçage d'une zone de la jonction PN d'une diode intervient lorsque la largeur de la zone de déplétion dans une zone, P ou N, tend à devenir supérieure à l'épaisseur de la zone la plus faiblement dopée. Ainsi, si la zone N est nettement moins dopée que la zone P et si la tension appliquée à la diode V_{AK} est très supérieur à la valeur maximale de la barrière de potentiel ΔV_0 , la tension de perçage est donnée par:

$$V_{perçage} = \frac{q \cdot N_D}{2\epsilon} e_N^2$$

Tel que :

q : Charge d'électron ($16 \times 10^{-20} C$).

N_D : Nombre d'atomes donneurs par Cm^3 de la zone N (Concentration des atomes donneurs).

ϵ : Constante diélectrique (pour le cas du Silicium $\epsilon = 10^{-12} F/Cm$).

e_N : Épaisseur de la zone N.

b) Le claquage

Le claquage de la jonction PN d'une diode intervient lorsque la valeur de tension négative appliquée à la diode V_{AK} atteint le seuil d'avalanche V_{av} . À cette valeur de tension, les électrons franchissant la barrière de potentiel acquièrent une énergie cinétique suffisante pour leur permettre d'arracher lors des collisions des électrons des atomes du semi-conducteur intrinsèque au voisinage de la jonction, créant ainsi de nombreuses paires (électron-trou) qui vont à leurs tours franchir la barrière et intervenant le phénomène d'avalanche (ou de claquage) qui se traduit par une augmentation très rapide du courant inverse (voir Fig.6).

II.4.1.8. Courant maximal direct I_{Fmax}

Parmi les principaux critères de choix d'une diode est le courant maximal direct I_{Fmax} (F signifie Forward=direct). Le courant maximal peut être de 100 mA pour une diode utilisée en électronique de signal, mais aussi de 100 A pour un composant faisant partie d'un convertisseur de puissance. On rencontre essentiellement deux types de composants : les diodes de signal et les diodes de redressement. Les premières sont rapides, mais ne supportent que des courants faibles. Les secondes acceptent des intensités plus élevées, mais sont relativement lentes. On peut citer la diode de signal la plus répandue et qui convient pratiquement toujours dans ce rôle : la diode 1N4148. Sa tension inverse est 75 V et son courant maximal est 225 mA. Pour le redressement, on rencontre très fréquemment les diodes de la série 4000. Elles supportent 1 A (comme courant max) et leur tension maximale inverse dépend de la référence exacte comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 1. Tensions maximales inverse des diodes de la série 4000.

Référence	1N4001	1N4002	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007
Tension maximale (V)	50	100	400	600	800	1000

II.4.2. Gamme d'utilisation des diodes et codes d'identification

II.4.2.1. Types des diodes

II.4.2.1.1. Diodes de signal

Ce type de diodes est caractérisé par :

- ★ Ne supportent que des courants faibles (jusqu'à 100 mA);
- ★ Faible tension maximale inverse (jusqu'à 100 V);
- ★ Très rapide ($t_{rr} < 10 \text{ ns}$) (**trr** signifie : temps de recouvrement inverse = temps nécessaire à la diode pour passer de l'état passant à l'état bloqué).

La diode de signal la plus répandue est la diode 1N4148.

Les diodes de signal peuvent être utilisées comme diodes de protection : ex :

- Diode de roue libre ;
- Retour de tension ou courant négatif.

II.4.2.1.2. Diodes de puissance (de redressement)

Ce type de diodes est caractérisé par :

- ✘ Peuvent supporter des intensités plus élevées (de 1 à plusieurs centaines d'Ampères) ;
- ✘ Tension maximale inverse élevée (jusqu'à 1500 V) ;
- ✘ Relativement lentes.

Parmi les diodes de ce type, les diodes de la série 4000 tel que la diode 1N4004 (voir Fig ci-dessous).



Fig.7. Diode 1N4004.

Les diodes de puissance (de redressement) peuvent être utilisées pour le redressement et comme diodes de roue libre.

II.4.2.2. Marquage des diodes

Les petites diodes se présentent sous une forme voisine de celle des résistances. La cathode est indiquée par un trait (bague, anneau) sur le corps du composant (voir la figure ci-contre).

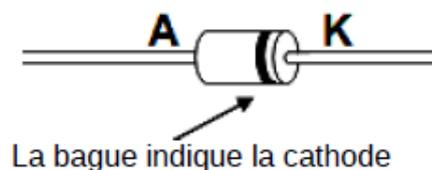


Fig.8. Anneau permettant de repérer la cathode.

Le marquage est souvent en clair, mais on peut parfois rencontrer des éléments marqués par un code des couleurs. En utilisant le tableau 8 du code des couleurs (chapitre 1), on peut trouver le marquage en code de la diode-exemple illustrée dans la figure ci-dessous.

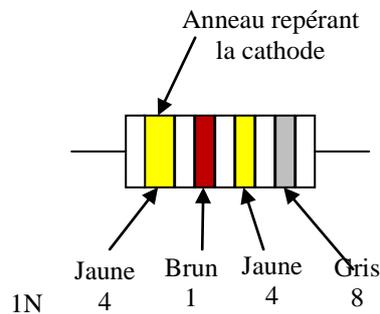


Fig.9. Marquage de la diode (1N4148) par le code des couleurs.

II.4.3. Formules de base

II.4.3.1. Calcul de la résistance de protection d'une diode

Lorsque nous utilisons une diode tel que le LED dans un circuit, il faut toujours lui associer une résistance de protection en série, sinon notre LED risque de ne pas survivre bien longtemps. Mais comment choisir (calculer) la bonne valeur de cette résistance de protection?

Avant d'effectuer notre calcul, il faut d'abord connaître les 3 paramètres suivants :

- ❶ **La tension de seuil de notre LED** : C'est la différence de potentiel aux bornes de la LED quand elle est allumée. Elle tourne généralement autour de 2 ou 3 V, mais la valeur exacte dépend de la couleur émise par la LED (1,5 V pour l'infrarouge, 2 V pour le rouge, 3,3 V pour le bleu...). Si nous disposons de la fiche technique de notre LED, c'est ce qui s'appelle "*forward voltage*".
- ❷ **Le courant typique (optimal) pour notre LED** : On retrouve cette donnée dans la fiche technique de la LED ("*forward current*"). Il est souvent de 20 mA. Remarquez qu'il n'y a rien de tragique à allumer une LED avec un courant plus faible que la valeur typique (optimale) (la LED sera seulement moins brillante, et la différence ne sera peut-être même pas perceptible à l'œil). Évitez toutefois les courants trop intenses: si la LED ne grille pas immédiatement, sa durée de vie risque d'être sérieusement compromise.
- ❸ **La tension d'alimentation** : Cette tension doit être supérieure à la tension de seuil de la LED.

Si on désire brancher alimenter 2 LEDs bleues reliées en série au moyen d'une batterie de 9 V. La tension de seuil de nos LED est de 3,3 V chacune.

La tension aux bornes de la résistance sera donc:

$$V_R = E - V_0 = 9 - 6.6 = 2.4V$$

Donc :

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{2.4}{0.02} = 120\Omega$$

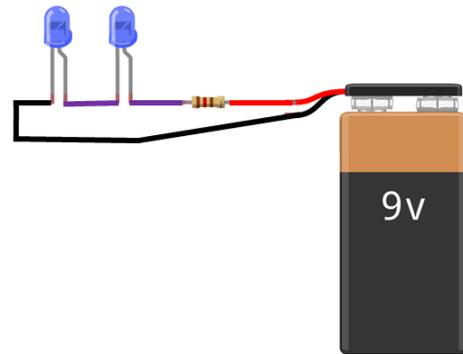


Fig.10. 2 LEDs protégées par une résistance.

*** Calculateurs en ligne**

Il existe plusieurs calculateurs en ligne de la résistance de protection des diodes notamment des LEDs disponibles comme exemple aux liens :

- 1) <http://electroniqueamateur.blogspot.com/2016/12/calculer-la-resistance-de-protection.html>
- 2) <https://www.breakingvap.fr/calculer-la-resistance-de-protection-a-mettre-pour-protger-une-diode-dans-votre-box/>

II.4.3.2. Puissance dissipée

II.4.3.2.1. Pertes dans une diode idéale (parfaite)

Une diode idéale ne dissipe aucune puissance.

II.4.3.2.2. Pertes dans une diode réelle

Dans une diode réelle, les pertes (puissance dissipée) sont distinguées comme suit :

1) Pertes par conduction

a) Pertes à l'état bloquée (P_r)

Comme il est déjà expliqué, le courant inverse (courant de fuite) à l'état bloqué est très faible. Ainsi, les pertes égales au produit de ce courant par la tension inverse appliquée à la diode, sont généralement négligeables devant les pertes à l'état passant ($P_r \approx 0$).

b) Pertes à l'état passant (P_c)

$P_c = \text{puissance active} = \frac{1}{T} \int_0^T p_d(t) dt$; Tel que : $p_d(t)$ est la puissance instantanée.

$p_d(t) = V_d(t) \cdot I_d(t)$; Tel que : $V_d(t) = V_0 + r_d I_d(t)$ car la diode en polarisation directe est équivalente à un récepteur de V_0 et de résistance interne r_d .

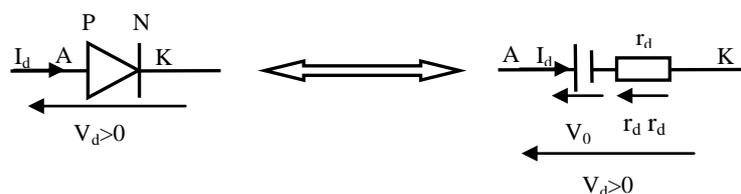


Fig.11. Schéma équivalent de la diode polarisée en direct.

Donc :

$$P_C = \frac{1}{T} \int_0^T (V_0 + r_d I_d(t)) \cdot I_d(t) dt = V_0 \frac{1}{T} \int_0^T I_d(t) dt + r_d \frac{1}{T} \int_0^T I_d^2(t) dt$$

Notons que :

* La valeur moyenne d'une fonction périodique f est : $f_{moy} = \bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$

* La valeur efficace d'une fonction périodique f est : $f_{eff} = f_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$

Alors :

$$P_C = V_0 I_{d_{moy}} + r_d I_{d_{eff}}^2$$

∩) Pertes par commutation

a) Pertes à la fermeture (P_{on})

Les pertes à la fermeture sont données par : $P_{on} = \frac{1}{2} \cdot t_{dr} \cdot V_{FP} \cdot I_{d_{max}} \cdot f$; tel que :

t_{dr} : temps de recouvrement **d**irect (Temps nécessaire à la diode pour passer de l'état bloqué à l'état passant).

V_{FP} : Tension de crête directe (**F**orward **P**eak **V**oltage).

$I_{d_{max}}$: Courant max dans la diode.

f : Fréquence du montage.

b) Pertes à l'ouverture (P_{off})

Les pertes à l'ouverture sont données par : $P_{off} = \frac{1}{2} \cdot V_{av} \cdot Q_{rr} \cdot f = \frac{1}{4} \cdot V_{av} \cdot I_{av_{max}} \cdot t_{rr} \cdot f$; tel

que :

V_{av} : Tension inverse du montage.

Q_{rr} : Energie de recouvrement inverse.

$I_{av_{max}}$: Intensité inverse max.

* **Remarque** : les pertes par commutations sont négligeables pour $f < 500$ Hz.

* De (∩) et (∩), la puissance dissipée totale (les pertes totales) dans une diode réelle est :

$$P_{diode} = P_r + P_C + P_{on} + P_{off}$$

II.4.4. Utilisations et applications

II.4.4.1. Redressement simple et double alternance

1) Redressement simple alternance

Le redressement consiste à transformer une tension bidirectionnelle en une tension unidirectionnelle appelée tension redressée.

Soit le schéma de montage de la figure ci-contre.

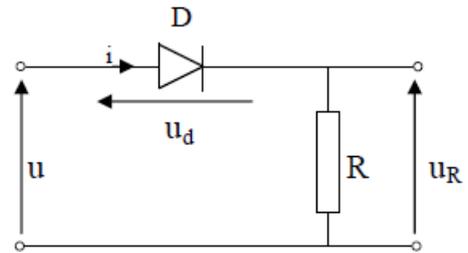
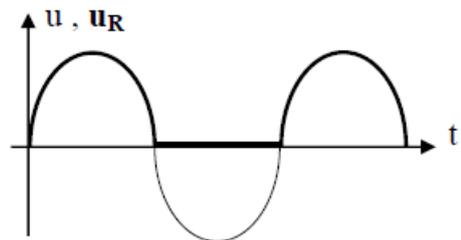


Fig.12. Redresseur simple alternance.

Avec : $U = U_m \sin \omega t$ et $\omega = 2\pi f$

La diode est supposée parfaite, donc le principe de fonctionnement sera comme suit :

Pendant l'alternance positive de la tension U ($U > 0$), la diode D est polarisée en direct donc elle est passante ($i > 0$ et $U_d = 0$) donc $U_R = U - U_d = U$.



Pendant l'alternance négative de la tension U ($U < 0$), la diode D est polarisée en inverse donc elle est bloquée ($i = 0$ et $U_d < 0$) donc $U_R = 0$.

Fig.13. Allures des tensions U et U_R .

2) Redressement double alternance

a) Redressement double alternance à deux diodes et transformateur à point milieu

Soit le schéma de montage de la figure ci-contre.

$$U = U_1 - U_2 = U_m \sin \omega t \text{ et } \omega = 2\pi f$$

$$U_1 = \frac{U}{2} \text{ et } U_2 = -\frac{U}{2}$$

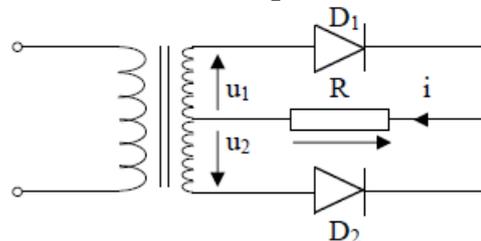


Fig.14. Redresseur double alternance à deux diodes et transformateur à point milieu.

Les deux diodes sont supposées idéales, donc le principe de fonctionnement sera comme suit :

Pendant l'alternance positive de U :

- ♣ U_1 est positive, D_1 conduit donc $U_R = U_1 = \frac{U}{2}$.
- ♣ U_2 est négative, D_2 bloquée.

Pendant l'alternance négative de U :

- ♣ U_2 est positive, D_2 conduit donc $U_R = U_2 = -\frac{U}{2}$.
- ♣ U_1 est négative, D_1 bloquée.

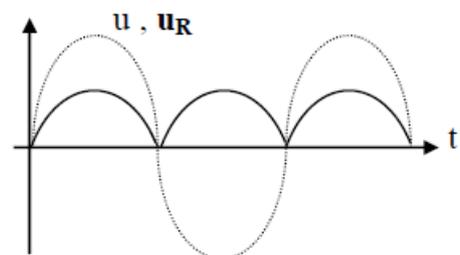


Fig.15. Allures des tensions U et U_R .

b) Redressement double alternance à pont de Graetz

Soit le schéma de montage de la figure ci-dessous.

Les 4 diodes sont supposées idéales, donc le principe de fonctionnement sera comme suit :
 Pendant l'alternance positive de U : D_3 et D_4 conduisent, D_1 et D_2 bloquées donc $U_R = U$.
 Pendant l'alternance négative de U : D_1 et D_2 conduisent, D_3 et D_4 bloquées donc $U_R = -U$.

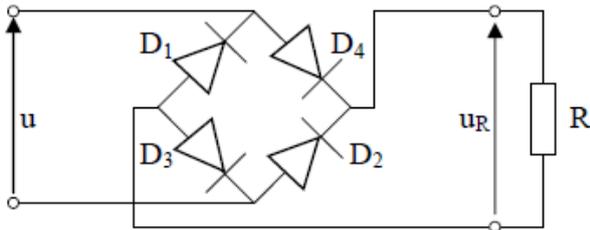


Fig.16. Redresseur double alternance à pont de Graetz.

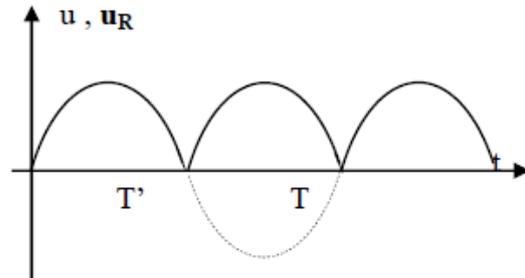


Fig.17. Allures des tensions U et U_R .

II.4.4.2. Filtrage

Le filtrage d'une tension redressée consiste à réduire au maximum l'ondulation, donc à avoir une tension aussi constante que possible. Le filtrage le plus simple fait appel à un seul condensateur placé en parallèle sur la charge et qui se comporte comme un réservoir d'énergie.

Soit le montage de la Fig.18 avec : $U = V \sin \omega t$ et R_d est la résistance interne de la diode.

Dés que $V_A > V_K$ la diode est passante donc le condensateur se charge rapidement (avec une constante de temps de charge $\tau = C \cdot R_d$). La tension crête atteinte aux bornes du condensateur est égale à $V - V_{AK}$ ou $V - V_0$.

Dés que $V_A < V_K$ la diode est bloquée et par conséquent le générateur devient isolé de la charge. De ce fait, le condensateur se décharge dans R (avec une constante de temps de décharge $\tau' = C \cdot R$).

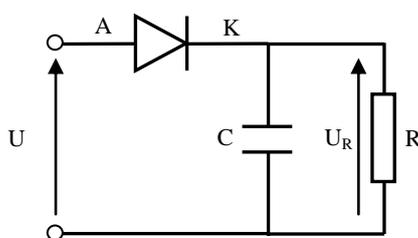


Fig.18. Montage de filtrage par condensateur d'une tension redressée.

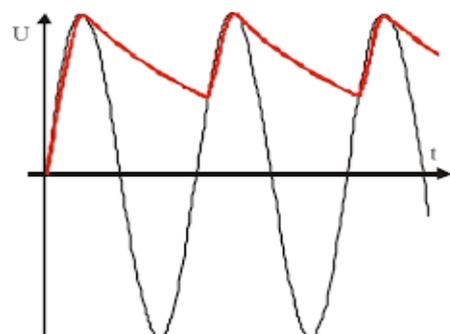


Fig.19. Allure de la tension filtrée

II.4.4.3. Détection

Les diodes de détection sont utilisées pour la détection (démodulation) RF dans les étages d'entrée de récepteur de radio. Ce type de diode, généralement en germanium, présentait un seuil de conduction plus faible (0,2V à 0,3V) que ceux des diodes au silicium (0,6V à 0,7V) et présentaient donc l'avantage d'être plus sensible et donc de mieux fonctionner avec des niveaux de réception faibles.

II.4.4.4. Écrêtage

Une autre fonction de base que peut remplir une diode, c'est de limiter la tension sur d'autres composants, ce qu'on appelle "écrêtage". Cette limitation de tension peut par exemple servir à protéger ces autres composants de surtensions éventuelles ou encore à maintenir une tension constante à leurs bornes (régulation de tension).

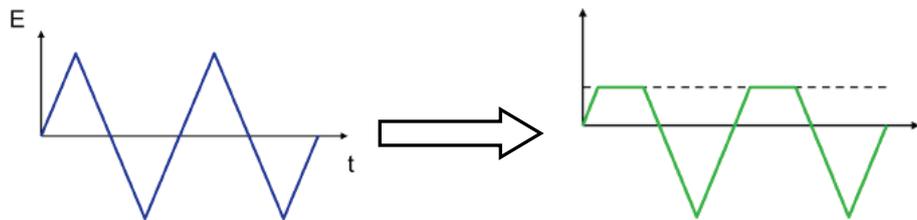


Fig.20. Écrêtage d'un signal (tension...).

II.4.4.5. Protection de polarité inverse

Pour protéger un système contre les inversions de polarité, il suffit de placer une diode entre l'alimentation et le système. Si l'alimentation est bien raccordée, le système fonctionne. Si l'alimentation est mal raccordée, la diode bloque le courant et le système n'est pas détruit.

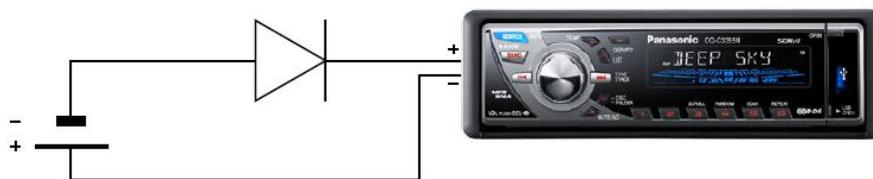


Fig.21. Branchement d'une diode pour la protection contre la polarité inverse.

II.4.4.6. Application aux portes logiques

Les circuits logiques constituent plus de 90% des circuits intégrés que nous utilisons au quotidien. Bien qu'ils soient réalisés à partir de transistors MOS (Métal–Oxyde–Semi-conducteur), on peut utiliser des diodes pour obtenir les fonctions de base.

Exemple : la porte « OU » :

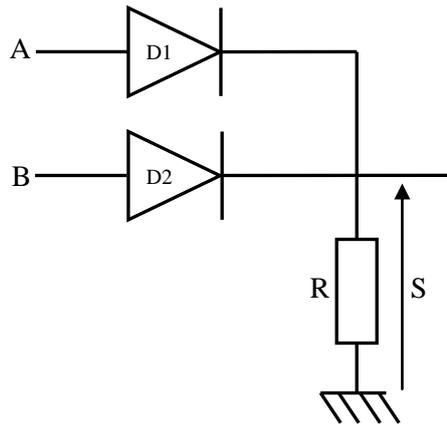


Tableau 2. Table de vérité.

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Fig.22. Utilisation de 2 diodes pour réaliser la porte « OU ».

II.4.4.7. Afficheur 7 segments

Les diodes sont utilisées ainsi dans les afficheurs 7 segments. Les afficheurs 7 segments sont un type d'afficheur particulièrement présent sur les calculatrices et les montres à affichage numérique : les caractères (chiffres ou lettres) s'écrivent en allumant ou en éteignant des segments, au nombre de sept.

Dans un afficheur 7 segments, les segments sont le plus souvent désignés par les lettres allant de A à G. Dans le cas où l'afficheur comporte un point, servant de séparateur décimal, ce dernier est désigné DP (de l'anglais : Decimal Point); certains parlent dans ce cas d'un afficheur «8 segments». Dans le cas d'un afficheur 7 segments (avec point décimal) commandé par 8 bits, la table de vérité donne :

Tableau 3. Table de vérité à 8 bits.

S (sortie) Affichage	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	Bit 8
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	1	0	1	0
3	1	1	1	1	0	0	1	0
4	0	1	1	0	0	1	1	0
5	1	0	1	1	0	1	1	0
6	1	0	1	1	1	1	1	0
7	1	1	1	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	0
9	1	1	1	1	0	1	1	0
A	1	1	1	0	1	1	1	0
B	0	0	1	1	1	1	1	0
C	0	0	1	1	1	1	0	0
D	0	1	1	1	1	0	1	0
E	1	0	0	1	1	1	1	0
F	1	0	0	0	1	1	1	0

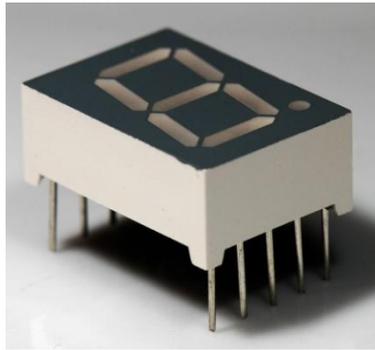


Fig.23. Afficheur 7 segments avec point décimal.

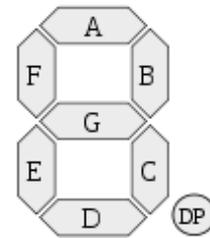


Fig.24. Désignation de chaque segment.

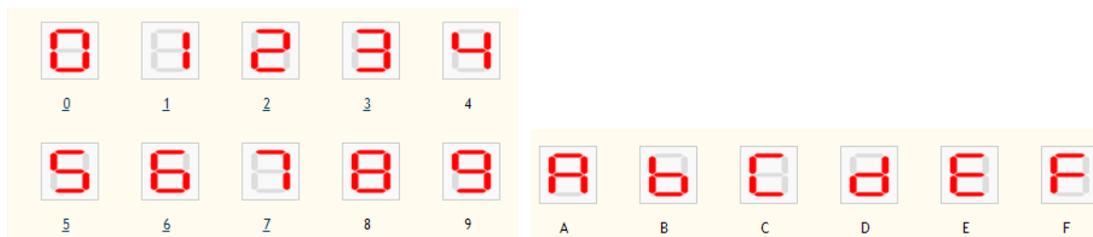


Fig.25. Les 10 chiffres et le complément hexadécimal représentés avec l'affichage à 7 segments.

II.4.5. Diodes spéciales et symboles

II.4.5.1. La diode Zener

Une diode Zener est une diode spécialement conçue pour exploiter le claquage inverse. La tension de claquage appelée aussi tension Zener est faible (quelques volts ou quelques dizaines de volts). L'effet Zener a été découvert par Clarence Zener. La diode Zener est représentée par leur symbole normalisé ou par d'autres symboles (voir figure ci-dessous).

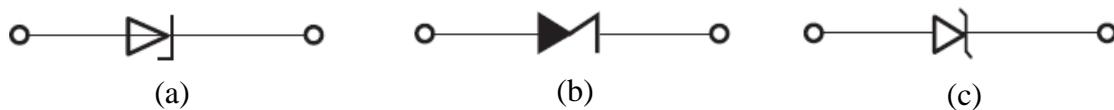


Fig.26. (a) Symbole normalisé d'une diode Zener ; (b, c) Autres symboles d'une diode Zener.

La figure ci-contre représente la caractéristique courant-tension de la diode Zener.

En polarisation directe, une diode Zener est équivalente à une diode normale.

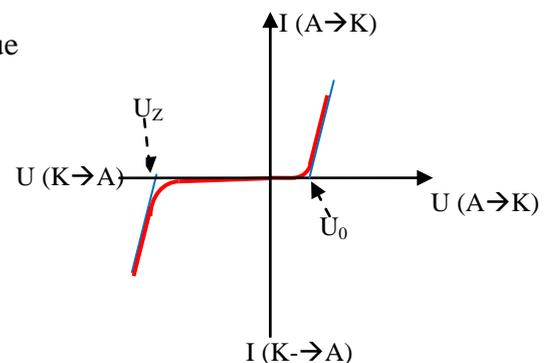


Fig.27. Caractéristique V-I de la diode Zener.

En polarisation inverse, la diode conduit lorsque la tension inverse $U_{K \rightarrow A}$ devient supérieure à la tension Zener U_z .

La caractéristique linéarisée conduit à l'équation : $U_{K \rightarrow A} = U_z + R_z I_{K \rightarrow A}$ où R_z est la résistance dynamique inverse.

Si la résistance dynamique R_z est négligée, la tension aux bornes de la diode lorsqu'elle conduit en inverse est constante quelque soit le courant qui la traverse. La diode Zener est idéale.

II.4.5.2. La LED

La LED (en anglais : Light Emitting Diode) ou encore DEL (en français : Diode Électro-Luminescente) est un composant à jonction PN, qui lorsqu'il est parcouru par un courant direct, émet une lumière de couleur précise (rouge, vert, jaune, ...) (voir Fig.28(a)). Les LEDs sont utilisés comme voyants lumineux, témoins lumineux, ... etc.

Le symbole normalisé d'une LED est représenté dans la Fig.28(b). Il est noté que la patte la plus courte de la LED indique la cathode (voir Fig.28(c)).

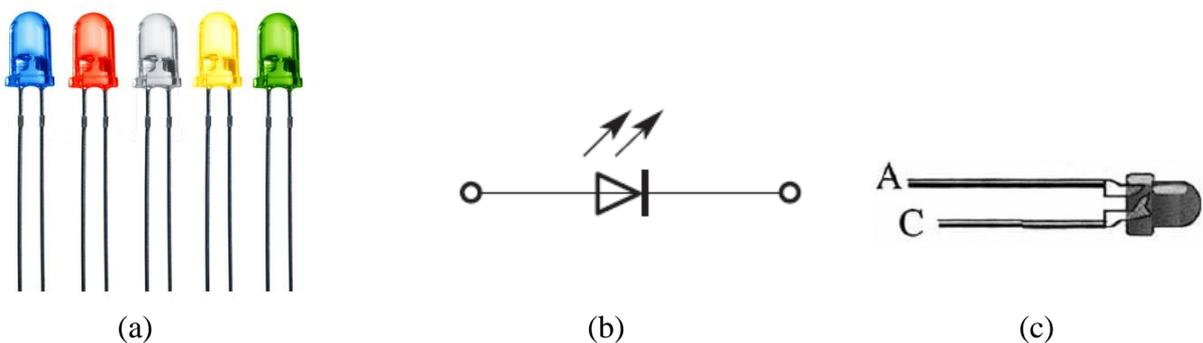


Fig.28. (a) LEDs de différents couleurs ; (b) Symbole normalisé d'une LED ; (c) Vue de profil d'une LED.

Le tableau suivant donne la tension de seuil ainsi que le semi-conducteur utilisé pour des LEDs de différents couleurs :

Tableau 4. Tension de seuil et semi-conducteur utilisé pour des LEDs de différents couleurs.

Couleur	Tension de seuil (V)	Semi-conducteur
Infrarouge	$V_0 < 1.63$	Arséniure de Gallium-Aluminium (AlGaAs)
Rouge	$1.63 < V_0 < 2.03$	Arséniure de Gallium-Aluminium (AlGaAs) Phospho-Arséniure de Gallium (GaAsP)
Orange	$1.63 < V_0 < 2.03$	Phospho-Arséniure de gallium (GaAsP)

Jaune	$2.10 < V_0 < 2.18$	Phospho-Arséniure de Gallium (GaAsP)
Vert	$2.18 < V_0 < 2.48$	Nitru de Gallium (GaN) Phosphure de Gallium (GaP)
Bleu	$2.48 < V_0 < 2.76$ Peut atteindre 3.3	Séléniure de Zinc (ZnSe) Nitru de Gallium/Indium (InGaN) Carbure de Silicium (SiC)

II.4.5.3. Photodiode

Les photodiodes sont des diodes au silicium dont la jonction peut être éclairée. Les photodiodes laissent passer le courant en présence de lumière. Leur symbole normalisé est représenté dans la Fig.29. Les photodiodes sont branchées dans le sens inverse par rapport à une diode normale c.à.d. on polarise la photodiode en inverse (voir Fig.29(b)).

Le courant inverse I est proportionnel à l'éclairement reçu. La tension prise aux bornes de la résistance R est l'image du courant ($U=RI$). On a donc réalisé un capteur optique.

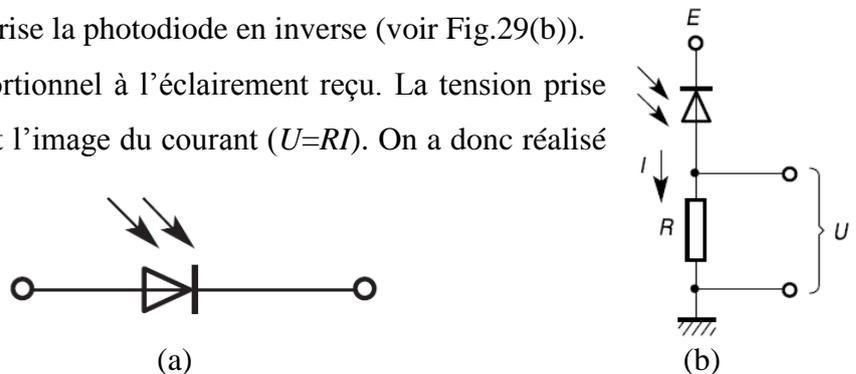


Fig.29. (a) Symbole normalisé d'une photodiode ; **(b)** Photodiode utilisée en capteur optique.

II.4.5.4. Diode Varicap

Les diodes varicaps (**variable capacitors**) sont des diodes à capacité variable. Ces diodes se comportent comme un condensateur dont la capacité varie suivant la tension inverse qui leur est appliquée. Leur symbole normalisé est représenté dans la Fig.30(a) ou par un autre symbole de représentation (Fig.30(b)).



Fig.30. (a) Symbole normalisé d'une diode varicap ; **(b)** Autre symbole de la diode varicap.

II.4.6. Test et panne

II.4.6.1. Test d'une diode standard

Pour tester une diode standard, il vous faut un "multimètre", pour faire la mesure :

- Utiliser la position "diode" du multimètre (voir Fig.31(a)).
- Déterminer l'anode et la cathode de votre diode : Une diode laisse passer le courant dans un seul sens de l'anode vers la cathode. Sur le composant, la cathode est repérée par un trait de peinture (voir Fig.8).
- Relier l'anode au calibre-tension et la cathode au commun du multimètre (voir Fig.31(b)).
- Lire la valeur affichée :

* Si la valeur est aux alentours de 0.6 ou 0.7, vous conclure que la diode utilisée est en Silicium.

* Si la valeur est aux alentours de 0.2 ou 0.3, vous conclure que la diode utilisée est en Germanium.

- Relier maintenant l'anode au commun et la cathode au calibre (sens inverse) (voir Fig.31(c)).

- Lire la valeur affichée : Lorsque le multimètre indique "OL" ou "--" ou bien encore "1", dans tous les cas cet affichage correspond au "dépassement de capacité", c.à.d. que la valeur mesurée est plus grande que la valeur maximale du calibre (de la gamme de mesure) en cours d'utilisation.

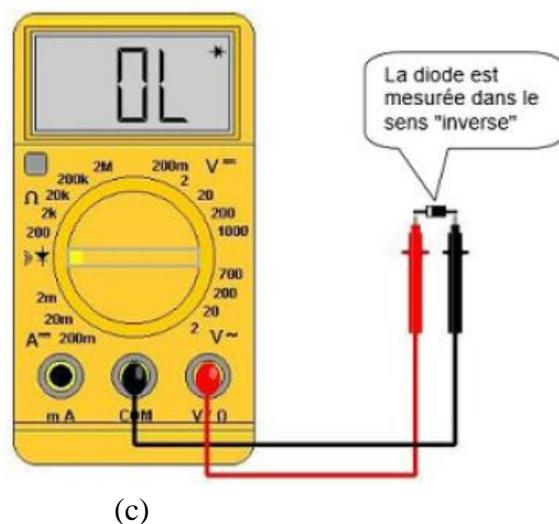
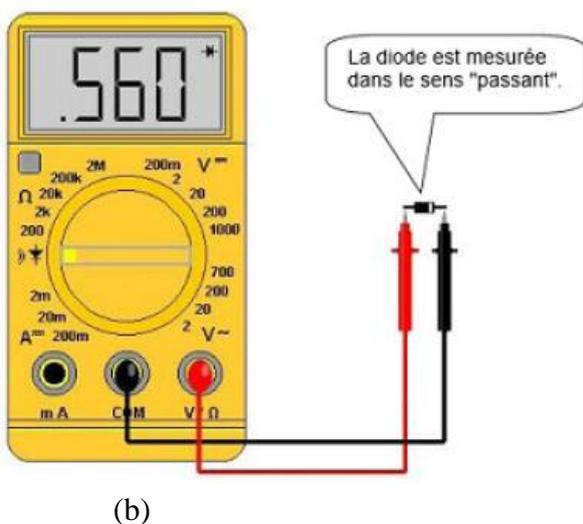
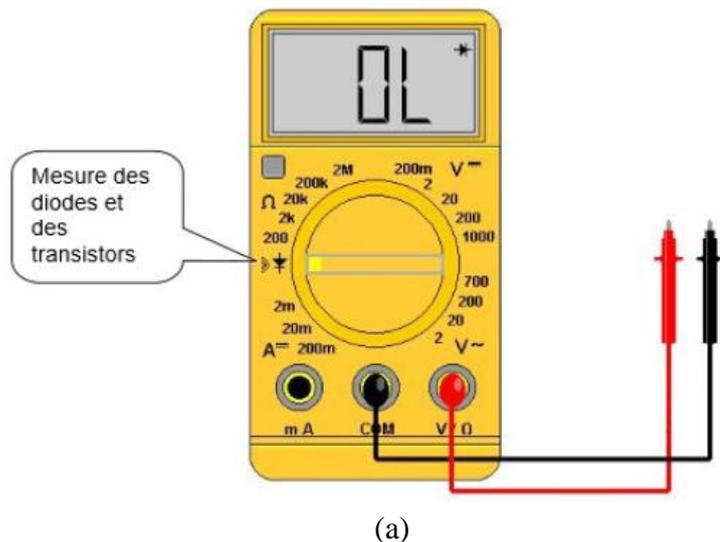


Fig.31. Utilisation d'un multimètre pour le test d'une diode standard.

II.4.6.2. Test d'un pont de diodes

On peut tester un pont de diodes avec un multimètre sur la fonction diode en deux méthodes :

1) Test diode par diode

Le plus simple est de tester chacune des 4 diodes du pont diode par diode. On doit donc trouver les 4 diodes passantes (450 mV à 600 mV typiquement) entre :

La borne (-) (cordon rouge) et une borne alternative (cordon noir), la borne (-) (cordon rouge) et l'autre borne alternative (cordon noir), une borne alternative (cordon rouge) et la borne (+) (cordon noir), l'autre borne alternative (cordon rouge) et la borne (+) (cordon noir).

Si on trouve 0 mV ou presque (moins de 100 mV) ou encore qu'une diode est passante dans les 2 sens (quand on intervertit les cordons du multimètre), la diode concernée est défectueuse. On peut donc considérer que le pont de diodes est défectueux.

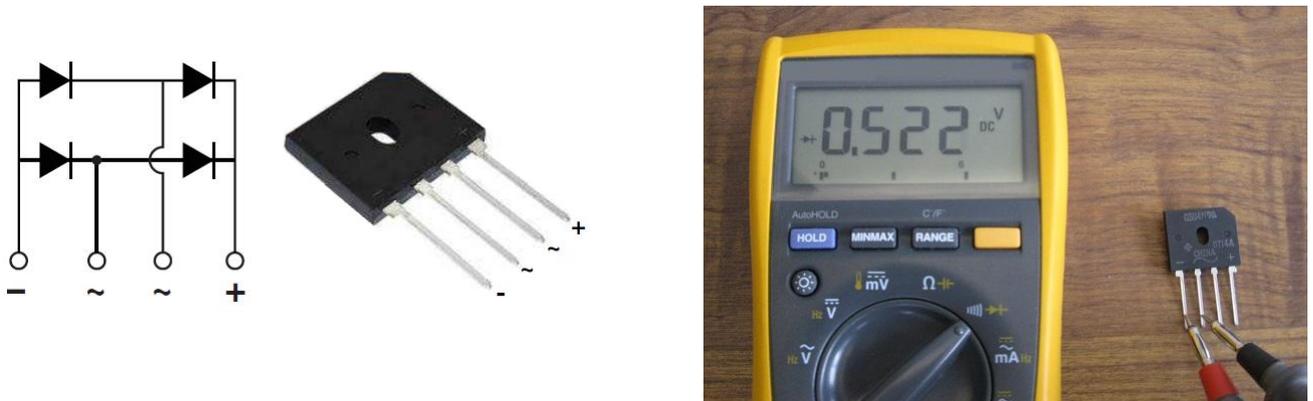


Fig.32. Test du pont diode par diode.

2) Test unique du pont de diodes

Si on veut faire qu'un seul test sur le pont de diodes, il faudrait mettre : le cordon rouge sur le (-) du pont (pour garantir que le courant injecté par le multimètre peut passer à travers les 4 diodes du pont) et le cordon noir sur le (+) du pont de diodes.

Le multimètre injecte un petit courant et lit la tension qui s'établit à ses bornes. Le courant rentre par la borne (-) du pont et ressort par la borne (+). Il se répartit dans les 2 branches du pont. Chaque branche présente 2 diodes en série : elles présentent donc 2 tensions de seuil. C'est pour cela que le multimètre affiche 985 mV et non pas 400 à 600 mV environ.

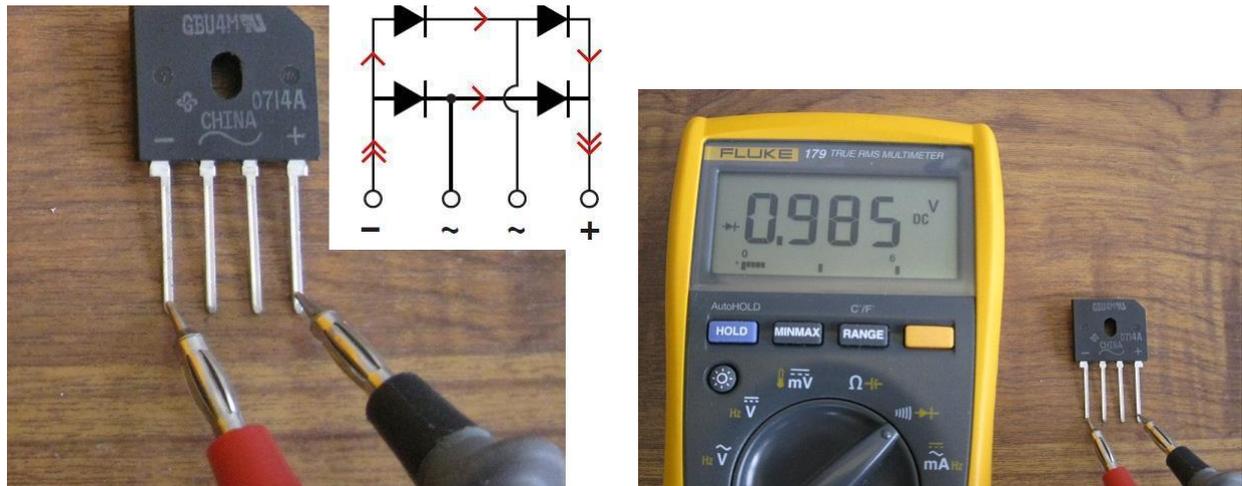


Fig.33. Test unique du pont de diodes.

Si une seule des 4 diodes est en court-circuit, on mesurera une seule tension de seuil (400 mV à 600 mV) entre (-) et (+) du pont. En effet, la branche la plus passante est la branche où se trouve la diode en court-circuit.

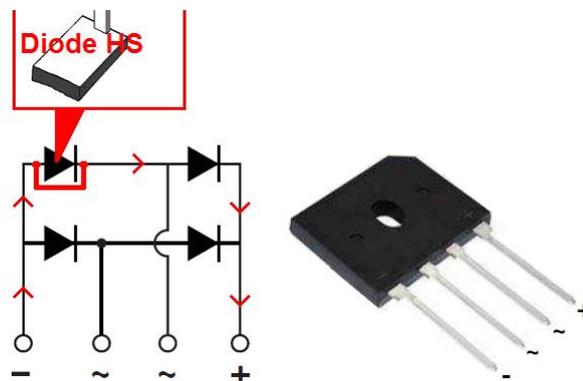


Fig.34. Pont de diodes avec une diode en court-circuit.