

# TP SIN

## Etude d'un filtre

(document ressource)

Support : Robot Moway, ordinateur, logiciel Matlab et Excel

**Pré requis (l'élève doit savoir) :**

- Savoir utiliser un ordinateur
- Connaître les éléments électroniques de base (résistance, condensateur)

**Programme**

**Objectif terminale :**

L'élève doit être capable d'expliquer le fonctionnement d'un filtre

**1. Caractéristiques éléments électroniques de base**

**Résistance**



**Introduction**

En électricité, le terme résistance désigne différentes choses, qui restent toutefois liées :

- Une propriété physique : l'aptitude d'un matériau conducteur à ralentir le passage du courant électrique ;
- Un dipôle électrique qui est utilisé justement par le fait que sa résistance est utile, principalement pour produire de la chaleur ;
- Un modèle mathématique qui respecte idéalement la loi d'Ohm, baptisé conducteur ohmique et qui permet de modéliser les dipôles réels ;

- Un composant électronique conçu pour approcher de manière très satisfaisante la loi d'Ohm dans une large plage d'utilisation.

### Propriété physique

C'est la propriété d'un matériau à ralentir le passage d'un courant électrique. Elle est souvent désignée par la lettre  $R$  et son unité de mesure est l'Ohm (symbole :  $\Omega$ ). Elle est liée aux notions de résistivité et de conductivité électrique. Pour un conducteur filiforme homogène, à une température donnée, il existe une relation permettant de calculer sa résistance en fonction du matériau qui le constitue et de ses dimensions :

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

- $\rho$  étant la résistivité en ohm-mètre ( $\Omega \cdot m$ ),
- $l$  la longueur en mètres (m),
- $s$  la section en mètre carré ( $m^2$ ),
- $\gamma$  la conductivité en siemens par mètre (S/m).

La résistance est aussi responsable d'une dissipation d'énergie sous forme de chaleur. Cette propriété porte le nom d'effet Joule. Cette production de chaleur est parfois un effet souhaité (résistances de chauffage), parfois un effet néfaste (pertes Joule) mais souvent inévitable.

Un des problèmes majeurs pour les ingénieurs est que la conductivité, et son inverse, la résistivité, dépendent fortement de la température. Lorsqu'un dipôle est traversé par un courant électrique, sa résistance provoque un échauffement qui modifie sa température, laquelle modifie sa résistance. La résistance d'un dipôle dépend donc fortement des conditions d'utilisation.

La puissance dissipée par effet Joule est :

$$P = R \cdot I^2$$

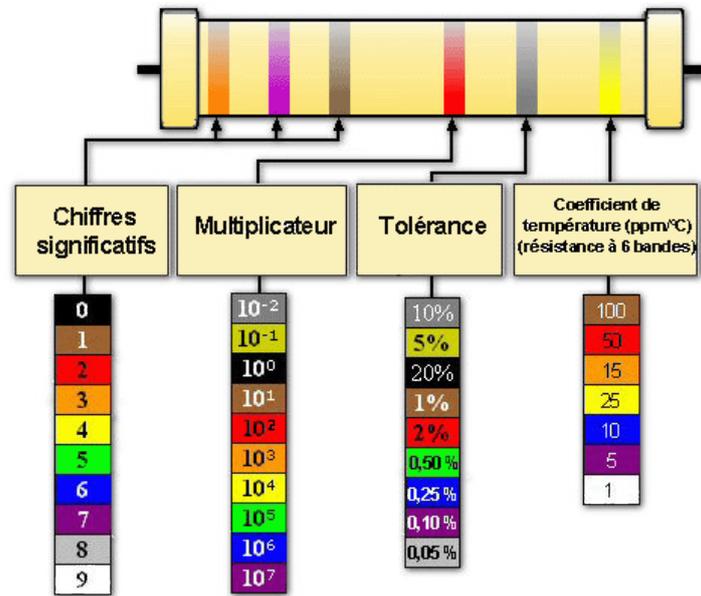
- $P$  : La puissance, en watt, dissipé par effet Joule par un courant continu
- $I$  : l'intensité du courant, en ampères, traversant la résistance
- $R$  : la résistance, en ohms.

La résistance a ceci de particulier que c'est une des rares caractéristiques physiques dont la plage de valeurs va pratiquement de 0 (supraconducteurs) à  $\infty$  (isolants parfaits).

### Schématisation



## Code couleur



## Condensateur

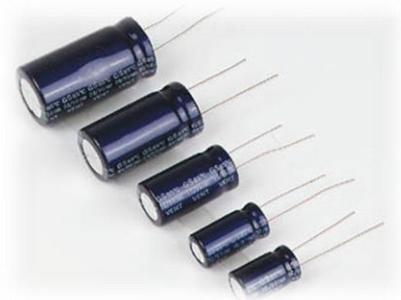
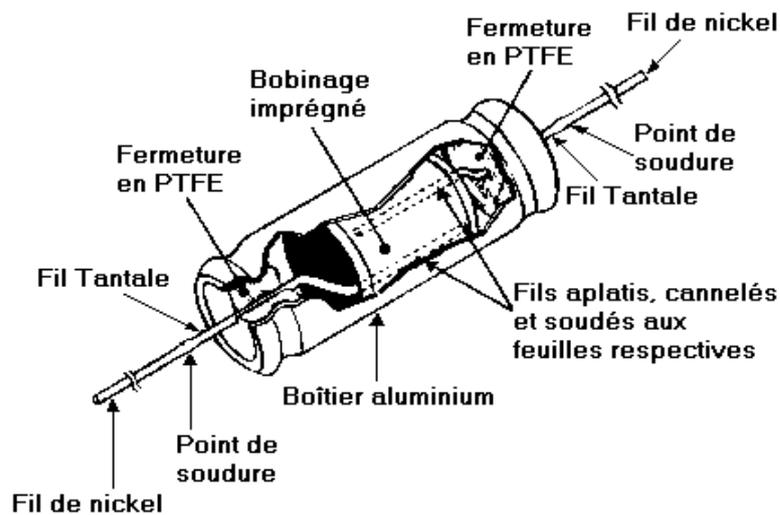


Fig. 16. - Structure d'un condensateur tantale-feuille (modèle bobiné).

## Présentation

Le condensateur aussi appelé capacité, a pour but de stocker momentanément entre ses armatures le constituant, un potentiel électrique (d.d .p.) et de le restituer ensuite. Tout cela avec le moins de perte possible. Les valeurs stockées sont bien sûr très faibles et l'on ne peut le comparer à un petit accumulateur que par le fait qu'il se charge et se décharge.

Son emploi est assez courant, on utilise ses capacités (sans jeu de mots) aussi bien pendant son temps de charge que celui de décharge. On l'utilise comme filtre, antiparasite, temporisateur, correcteur, doubleur de tension, protection, ligne de retard, condensateur de démarrage moteur, relèvement de cosinus fi, etc...

## Propriété physique

Un condensateur est défini par :

- Sa capacité :

Son unité, le Farad, mais qui n'est pas employée car elle représenterait un condensateur énorme.

On emploie donc ses sous-multiples qui sont : Le microfarad (m F)  $10^{-6}$ , le nanofarad (nF)  $10^{-9}$ , et le picofarad (pF)  $10^{-12}$ .

- Sa tension d'utilisation :

Ou tension de service, elle est indiquée sur le corps du condensateur par un ou deux chiffres, le plus faible indiquant la tension en service permanent, le plus fort indiquant la tension pouvant être dépassée brièvement par intermittence.

En aucun cas il ne faudra dépasser la tension de service, sinon on risque un amorçage entre ses armatures, endommageant le condensateur et pouvant même dans le cas des condensateurs électrochimiques provoquer leur explosion pure et simple avec projections d'électrolyte et dégagement de fumée nocive.

Certains condensateurs comme les papiers métallisés ont la particularité de s'auto-cicatriser en cas d'amorçage. On choisira donc lorsque l'encombrement du condensateur le permet, une tension supérieure à celle du montage afin d'avoir une marge de sécurité.

Son unité, le Farad, mais qui n'est pas employée car elle représenterait un condensateur énorme.

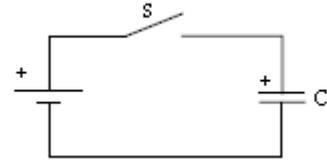
On emploie donc ses sous-multiples qui sont : Le microfarad (m F)  $10^{-6}$ , le nanofarad (nF)  $10^{-9}$ , et le picofarad (pF)  $10^{-12}$ .

La tension de service est indiquée sur le corps du condensateur par un ou deux chiffres, le plus faible indiquant la tension en service permanent, le plus fort indiquant la tension pouvant être dépassée brièvement par intermittence.

En aucun cas il ne faudra dépasser la tension de service, sinon on risque un amorçage entre ses armatures, endommageant le condensateur et pouvant même dans le cas des condensateurs électrochimiques provoquer leur explosion pure et simple avec projections d'électrolyte et dégagement de fumée nocive.

## Fonctionnement

A la fermeture de S, la tension aux bornes du générateur se Transmet aux deux armatures. Pour obtenir le déséquilibre électronique sur les armatures, des charges doivent se déplacer, un courant I circule pendant la charge du condensateur.



Le diélectrique n'ayant, par définition, pas d'électrons libres, ceux qui composent le courant I sont soustraits à l'une des armatures du condensateur et viennent s'accumuler sur l'autre. L'une des armatures devient positive et l'autre négative.

La différence de potentiel (ddp) engendrée entre les armatures provoque un champ électrique E dans le diélectrique.

En fonction du temps, une grande quantité de charges va circuler d'une armature à l'autre et diminuer en fonction de la charge accumulée.

Il est nécessaire de quantifier cette charge accumulée.

courant électrique I = nombre d'électron par secondes, en ampère [A]

charge électrique Q = nombre d'électrons, en coulomb [C]

Relation entre charge et courant

nombre d'électron par secondes · seconde = nombre d'électrons

$$I \cdot t = Q$$
$$[A] \cdot [s] = [C]$$

Pour un condensateur, le pouvoir d'emmagasiner des charges s'appelle la capacité.

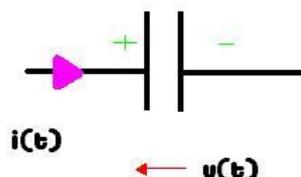
Il est symbolisé de la façon suivante :

Nous pouvons mesurer que la tension U, entre les armatures, est proportionnelle à la charge accumulée.

Relation entre la capacité C, la charge Q et la tension U :

$$C \cdot U = Q$$
$$[F] \cdot [V] = [C]$$

## Schématisation



## Filtre

### Présentation

Un filtre est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal. Autrement dit, il atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres. Un exemple connu du grand public est l'égaliseur audio.

Un filtre modifie (ou filtre) certaines parties d'un signal d'entrée dans le domaine temps et dans le domaine fréquence. D'après la théorie de Fourier, tout signal réel peut être considéré comme composé d'une somme de signaux sinusoïdaux (en nombre infini si nécessaire) à des fréquences différentes ; le rôle du filtre est de modifier la phase et l'amplitude de ces composantes.

### Classification

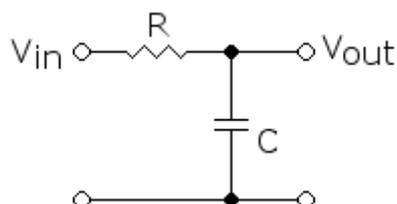
- Classification par type

On peut classer les filtres à partir de la forme de leur fonction de transfert ou par le comportement des éléments passifs qui composent le filtre. Les filtres les plus courants sont de l'un des quatre types suivants : passe-bas, passe-haut, passe-bande ou réjecteur de bande.

- Un filtre passe-haut ne laisse passer que les fréquences au-dessus d'une fréquence déterminée, appelée fréquence de coupure. Il atténue les autres (basses fréquences). Autrement dit, il « laisse passer ce qui est haut ». C'est un atténuateur de graves pour un signal audio. On pourrait aussi l'appeler coupe-bas.
- Un filtre passe-bas ne laisse passer que les fréquences au-dessous de sa fréquence de coupure. C'est un atténuateur d'aigües pour un signal audio. On pourrait l'appeler coupe-haut.
- Un filtre passe-bande ne laisse passer qu'une certaine bande de fréquences (et atténue tout ce qui est au-dessus ou en dessous). Il est très utilisé dans les récepteurs radio, TV... pour isoler le signal que l'on désire capter.
- Un filtre réjecteur, aussi appelé *filtre trappe*, *cloche* ou *coupe-bande*, est le complémentaire du passe-bande. Il atténue une plage de fréquences. Cela peut être utile pour diminuer certains parasites par exemple.
- Un filtre passe-tout, également appelé *filtre déphaseur* ou *cellule correctrice de phase*, est un filtre qui a idéalement un gain unitaire sur toute la plage de fréquence utilisée. Il est utilisé pour modifier la phase d'un système.

- Classification par technologie

Filtre passif



Filtre passif "passe-bas"

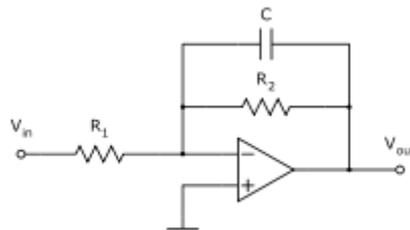
Un filtre passif se caractérise par l'usage exclusif de composants passifs (résistances, condensateurs, bobines couplées ou non). Par conséquent, leur gain (rapport de puissance entre la sortie et l'entrée)

ne peut excéder 1. Autrement dit, ils ne peuvent qu'atténuer en partie des signaux, mais pas les amplifier car cela nécessiterait un apport d'énergie.

Les réalisations les plus simples sont basées sur des circuits RC, RL, LC ou Circuit RLC. Mais il est bien sûr permis d'augmenter la complexité du filtre (et le nombre de composants). Moins il y aura de composants, plus il sera délicat d'être sélectif : l'atténuation se fera progressivement. Avec plus de composants, on peut espérer couper plus brutalement une fréquence en touchant moins les voisines (amélioration du "facteur de forme"). Aujourd'hui, il est possible de synthétiser les filtres ayant une bande passante de forme donnée, à l'aide de logiciels adéquats. On les modélise sous forme d'un réseau LC constituant un quadripôle.

Les filtres passifs sont rarement sujets à des phénomènes de saturation (hormis quelques cas de bobines avec noyau) d'où par exemple leur usage dans les enceintes de haut-parleurs<sup>1</sup>. De plus ils peuvent exister dans toutes les gammes de fréquences (d'où leur usage dans certains circuits haute fréquence comme en radio par exemple). Toutefois, un même circuit peut difficilement couvrir à lui seul une très large gamme de fréquences car le choix d'un type de bobine ou de condensateur dépend de la fréquence. C'est faisable mais plus complexe. Citons l'exemple du condensateur électrochimique : bien adapté aux basses fréquences, il devient assez vite inductif avec l'augmentation de la fréquence (il perd son comportement capacitif).

#### Filtre actif



#### Filtre actif "passe-bas"

Les filtres actifs se caractérisent par l'usage d'au moins un composant actif (par exemple transistor, amplificateur opérationnel, ou autre circuit intégré...).

Ces filtres ont l'avantage de pouvoir se passer de bobines qui sont chères, difficilement miniaturisables et imparfaites (angles de pertes, résonances propres, sensibilité aux parasites). De plus ils ont un gain qui peut être supérieur à 1 (ils peuvent amplifier).

Ce type de filtre convient bien aux signaux de faible amplitude et de faible puissance. Les filtres actifs sont donc largement utilisés dans les amplificateurs audio et instruments électroniques de toutes sortes.

Côté inconvénients, contrairement aux filtres passifs, ils nécessitent une alimentation électrique et sont limités en amplitude (saturation). Aujourd'hui ils peuvent couvrir de larges bandes de fréquences. Les composants actifs (ainsi que les résistances dans une moindre mesure) peuvent introduire du bruit parasite, ce qui, au-delà d'un certain seuil, peut être gênant. Toutefois ce bruit peut souvent être maîtrisé.

#### Filtre numérique

Un filtre numérique se caractérise par le traitement entièrement numérique du signal. Au préalable, le signal analogique est filtré par un filtre antirepliement puis il est numérisé par un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui généralement intègre un échantillonneur-bloqueur, c'est-à-dire qu'à

intervalles réguliers (appelés période d'échantillonnage), l'amplitude instantanée du signal est échantillonnée et maintenue puis quantifiée. Par conséquent on n'observe pas le signal en permanence et ces filtres réagissent donc assez mal face à des signaux (même parasites) de fréquence plus élevée que celle prévue (en l'absence de filtre antirepliement).

Un filtre numérique traite un flot continu d'informations (comme par exemple celui d'une caméra vidéo) et calcule en temps réel un nouveau flot de données sortantes, qui correspondent au signal filtré désiré. Les données de sortie peuvent apparaître au même rythme ou à un rythme différent des données entrantes.

En bout de chaîne, le signal analogique est reconstruit par un convertisseur numérique-analogique (CNA) suivi d'un filtre de lissage. Les filtres numériques ont l'avantage de pouvoir être intégrés dans des circuits numériques miniaturisables à l'extrême, tels des processeurs (Digital Signal Processors, DSP en particulier). Les filtres analogiques ne sont pas supprimés pour autant (antirepliement et lissage).

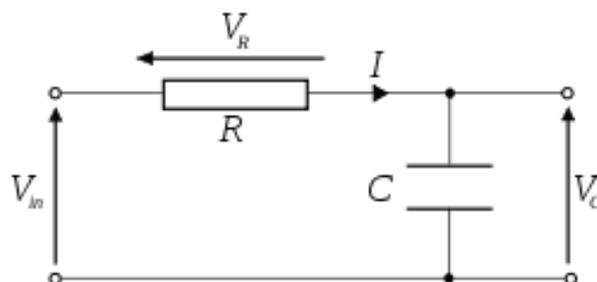
Les caractéristiques du filtre numérique sont invariables dans le temps, mais cela ne garantit pas que les caractéristiques d'un appareil qui en utilise seront invariables. Les CNA et CAN ne sont jamais parfaits et leurs caractéristiques varient d'un lot de composants à l'autre. Même si l'appareil ne possède pas de convertisseur (il reçoit une information numérique, la filtre puis la transmet en numérique) alors se pose le problème de la gigue d'horloge (les oscillateurs ne sont jamais parfaits) et de la synchronisation des données. Autre fait important, il existe deux types de filtre :

- les filtres à réponse impulsionnelle finie (RIF),
- les filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII).

Si les premiers sont toujours stables, ce n'est pas le cas pour les seconds.

Toutefois, les filtres numériques ont évidemment des limitations (arrondis de calcul, amplitude limitée, repliement de spectre...). Par contre ils offrent l'avantage de pouvoir être reprogrammés (éventuellement à la volée) pour changer de caractéristiques rapidement, sans changer de circuit matériel (sauf si le filtre numérique est réalisé par un ASIC).

### Etude d'un filtre passif (circuit RC)



Mise en équation :  $V_{in} - RI - V_C = 0$ ,

ce qui fournit :  $V_C' + 1/RC \cdot V_C = V_{in}/RC$ .

On notera  $H_C$  la fonction de transfert obtenue en considérant la tension aux bornes du condensateur comme tension de sortie.  $H_C$  s'obtient respectivement grâce aux expressions de  $V_C$  et  $V_R$  :

$$H_C(\omega) = \frac{V_C(\omega)}{V_{in}(\omega)} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

Pour un dipôle, on peut écrire la fonction de transfert sous la forme  $H(\omega) = Ge^{j\varphi}$ , où  $G$  est le gain du dipôle et  $\varphi$  sa phase. Ainsi :

$$H_C(\omega) = G_C e^{j\varphi_C}$$

avec

$$G_C = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

et

$$\varphi_C = \arctan(-\omega RC)$$

### Diagramme de Bode

Le diagramme de Bode est un moyen de représenter le comportement fréquentiel d'un système. Il permet une résolution graphique simplifiée, en particulier pour l'étude des fonctions de transfert de systèmes analogiques. Il est utilisé pour les propriétés de marge de gain, marge de phase, gain continu, Bande passante, rejet des perturbations et stabilité des systèmes. Le diagramme de Bode doit son nom à Hendrik Wade Bode.

Le diagramme de Bode d'un système de réponse fréquentielle  $T(j\omega)$  est composé de deux tracés :

- le gain (ou amplitude) en décibels (dB). Sa valeur est calculée à partir de  $20 \log_{10} (|T(j\omega)|)$ .
- la phase en degré, donnée par  $\arg(T(j\omega))$

L'échelle des pulsations est logarithmique et est exprimée en rad/s (radian par seconde). L'échelle logarithmique permet un tracé très lisible, car composé majoritairement de tronçons linéaires.

