Chapitre 2 : Les condensateurs

1. Introduction

Les condensateurs, tout comme les résistances font partie de la catégorie de ce qu'on appelle les composants passifs. Ce sont des composants électriques constitués de deux conducteurs (les armatures), séparés par un isolant qui est nommé diélectrique (Diélectrique : Substance isolante susceptible d'acquérir une polarisation en présence d'un champ électrique.). Le choix d'un type de condensateur se fait en fonction de son utilisation.

2. Variétés technologiques

Les condensateurs sont classés principalement par trois paramètres : le type de matériau utilisé pour créer les plaques, le type de matériau utilisé pour le diélectrique, et la capacité.

2.1. Condensateurs à film plastique

Les condensateurs à film plastique sont :

- Non polarisés
- Capacités de 1nF à 10 µF environ
- Réalisés par bobinage d'un film plastique entre deux films métalliques

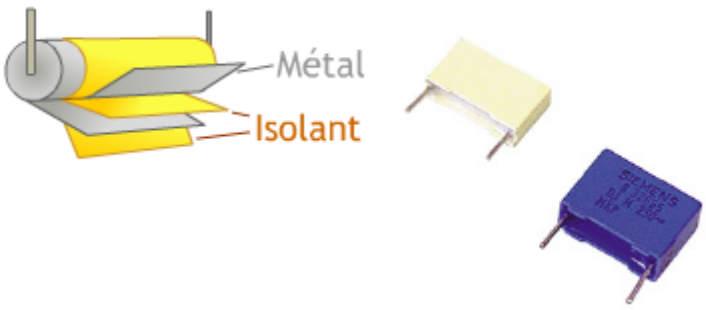


Figure 2. 1 : Condensateurs à film plastique

- Les divers matériaux utilisés comme composants diélectriques sont:
  - *polystyrène (***10pF à 2.2µF; 63 à 10000V)**
  - *mylar (***1nF à 10µF; 63 à 10000V***)*
  - *polycarbonate (***1nF à 200µF; 63 à 10000V***)*

- Utilisation très variée (circuit, filtre actif, découplage..) limité en fréquence jusqu'au Mhz.

2.1.1. Les condensateurs polyester (MKT)

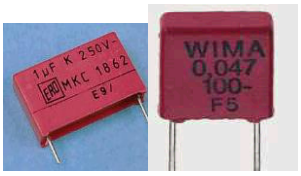
Ce sont les plus courants des condensateurs à diélectrique plastique métallisé. Le plastique est donc un polyester. On réserve ces condensateurs pour des usages ne demandant pas une grande précision.

Figure 2. 2 : Condensateurs polyester

- Valeur nominale : de 1nF à 250µF.
- Tolérance : de 1% à 20%.
- Tension de service : de 40V à 10000V.
- Résistance d'isolement : de 10^9 à 10^{12} ohms.
- Utilisation : - condensateurs de liaison et de découplage, circuit d'antiparasitage.

2.1.2. Les condensateurs polycarbonate (MKC).

Le diélectrique plastique est un polycarbonate. Ce diélectrique a un excellent coefficient de température. Il permet de fabriquer des composants de grande précision et stabilité. Il possède en outre une forte résistance d'isolement. Ils sont plutôt rares.



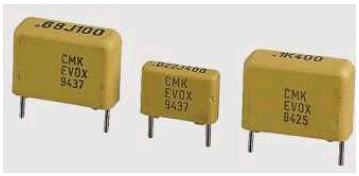


Figure 2. 3 : Condensateurs polycarbonate

- Valeur nominale : de 1nF à 250µF.
- Tolérance : de 1% à 2%.
- Tension de service : de 40V à 5000V.
- Résistance d'isolement : supérieure à 10^{12} ohms.
- Condensateurs très stables, très fiables.

Utilisation

- circuit d'accord,

- filtres, intégrateurs, dérivateurs,

- circuits d'antiparasitage.

2.1.3. Les condensateurs polypropylène (MKP).

Ils ont une très bonne stabilité en fréquence et un excellent comportement en régime impulsionnel.

Figure 2. 4 : Condensateurs polypropylène

Ils sont entre autres utilisés pour faire des condensateurs de précision.

- Valeur nominale : de 0,1nF à 250µF.
- Tolérance : de 10% à 20%.
- Tension de service : de 160V à 3500V.
- Résistance série très faible.
- Utilisation pour des circuits en régimes impulsionnels, alimentation à découpages.

2.1.4. Les condensateurs polystyrène (MKS).

Ils sont très appréciés pour leur très grande stabilité et sont utilisés essentiellement à haute température (155°C). Leur comportement en régime impulsionnel est excellent.

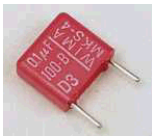


Figure 2. 5 : Condensateurs polystyrène

2.2. Condensateurs au mica

Le mica est une roche particulière qui a la particularité d'être clivable (comme l'ardoise) en lames extrêmement minces : quelques microns. En outre c'est un excellent isolant aux caractéristiques très stables face aux variations de température ou de fréquence. Il permet de réaliser des condensateurs de haute qualité que l'on peut utiliser, par exemple, dans le circuit oscillant d'un oscillateur pilote très stable en fréquence.

- ✓ Condensateurs au mica : on les utilise pour de faibles valeurs de capacités comprises entre 50 et 500 pF
- ✓ On les utilise pour les petites valeurs de l'ordre du pF.

Figure 2. 6 : Condensateurs au mica

2.3. Condensateurs céramiques

- ✓ Les condensateurs céramiques utilisent un matériau céramique comme diélectrique.
- ✓ Leurs valeurs sont comprises entre 1 et 500 pF

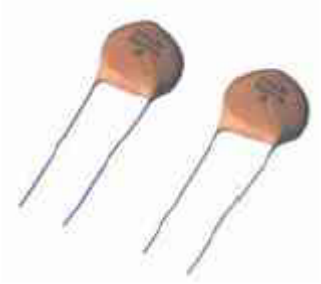


Figure 2. 7 : Condensateurs céramique

2.4. Condensateurs électrolytiques

Les condensateurs électrolytiques, encore appelé "électrochimique" utilisent un électrolyte pour fournir une plus grande valeur de capacité que les autres types de condensateurs. Presque tous les condensateurs électrolytiques sont polarisés, ils doivent donc être utilisés dans des circuits DC et correctement polarisés. Les condensateurs électrolytiques peuvent être soit des électrolytes humides, soit des polymères solides. Ils sont généralement fabriqués en tantale ou en aluminium. Les condensateurs en aluminium ont généralement des capacités comprises entre 1 µF et 47 mF, avec une tension de fonctionnement allant jusqu'à quelques centaines de volts DC.

- ✓ Dans un condensateur électrolyte, il ya toujours une sortie positive et une sortie négative. Le négative est normalement indiqué sur le corps du condensateur, tandis que le positif se distingue par une pate plus longue.
- ✓ Condensateurs électrolytiques (chimiques) : ils ont des valeurs comprises entre 1 et 10000 mF (capacités élevées pour de faibles dimensions).

2.4.1. Les condensateurs électrolytiques en aluminium

Les condensateurs électrolytiques en aluminium appartiennent à la catégorie des condensateurs fixes enroulés.
Les condensateurs électrolytiques non polarisés peuvent fonctionner avec des grandeurs continues ou alternatives.

- ✓ Ce sont des condensateurs de forme cylindrique. Ils ont des valeurs assez élevées.
- ✓ Utilisation pour le filtrage, découplage et liaison basse fréquence jusqu'à 10kHz. **1 à 10000µF; 6.3 à 500V**

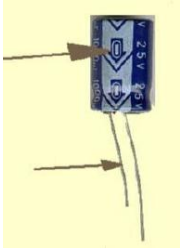


Figure 2. 8 : Condensateur électrolyte

2.4.2. Condensateurs au tantale

Le condensateur au tantale est un condensateur à électrolyte gélifié ou solide dont le diélectrique est une très fine couche d'oxyde de tantale (Ta2O5).

- ✓ Les condensateurs électrolytiques au tantale présentent des caractéristiques nettement plus avantageuses que ceux en aluminium.
- ✓ Utilisation professionnelle pour le filtrage, découplage et liaison BF, faible encombrement, excellente stabilité. Limité en fréquence jusqu'au kHz. **0.22 à 470µF; 6 à 150V**
- ✓ Ce sont des condensateurs en forme de goutte, utilisés pour des valeurs de l'ordre du uF.

On trouve également des capacités élevées (0,1 µF à quelques centaines de microfarads) pour les condensateurs au tantale. Ces derniers sont moins encombrants et plus fiables que les chimiques à l'aluminium. Ils sont polarisés et leurs tensions de service sont faibles (quelques volts ou quelques dizaines de volts). Leur coût est plus élevé que pour les condensateurs à l'aluminium.

- Polarisés
- Capacités de 0,1 à 100 µF
- Tension de service 6,3 à 50V
- Forte capacité par unité de volume

Utilisation : Filtrage en électronique

Figure 2. 9 : Condensateur au tantale

3. Tableau comparatif des différentes technologies

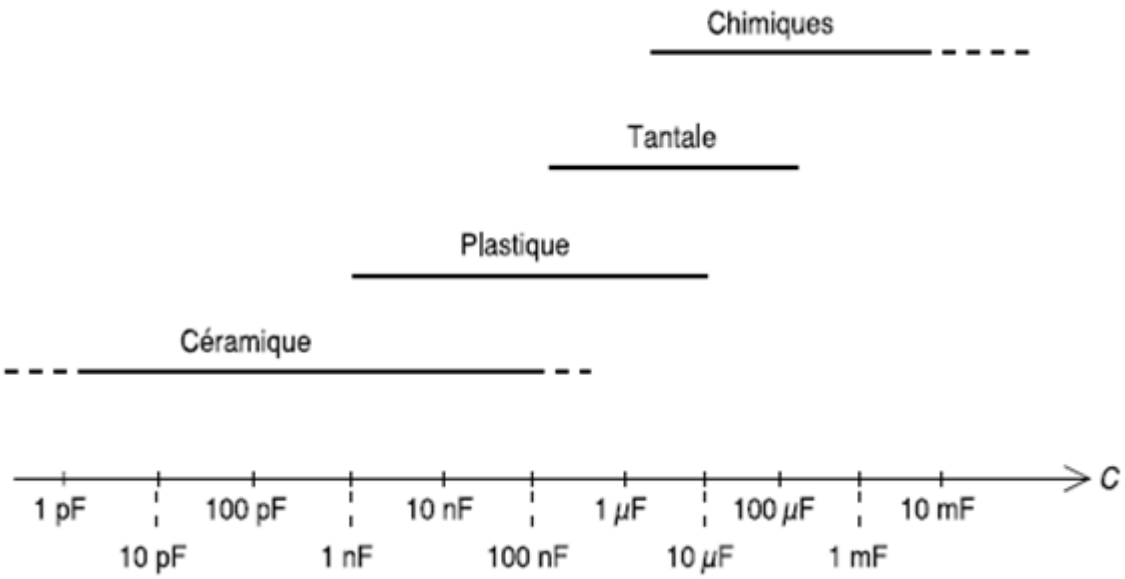


Figure 2. 10 : Ordre de grandeur des capacités disponibles pour quelques types de condensateurs

4. Gamme des valeurs standards

Comme les résistances, les condensateurs n'existent pas dans toutes les valeurs et les fabricants, pour des raisons économiques et de commodité, produisent ces composants dans des séries de valeur qu'il convient de connaître.

Les valeurs des condensateurs de production courante sont appelées valeurs standards ou valeurs normalisées.

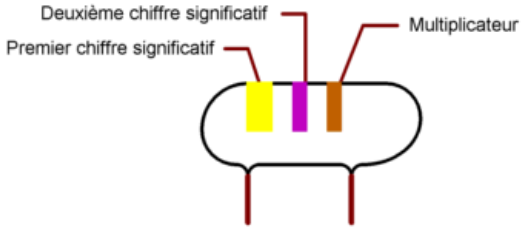
Autrefois, la série décimale était très utilisée pour exprimer la valeur des résistances ou des condensateurs **:** 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ou 1 000, 2 000, 3 000... (en ohms pour les résistances, en picofarads pour les condensateurs). Cette série de valeurs présentait cependant un inconvénient, spécialement en ce qui concerne le recouvrement entre une valeur et la suivante pour une tolérance précise.

5. Code des couleurs

Réalisé avec des anneaux, points ou bandes de couleur. Les premiers indicateurs colorés représentent les chiffres significatifs, un autre indique le facteur de multiplication et des couleurs additionnelles peuvent être présentes pour indiquer la tolérance et la tension de

service.

5.1. Condensateur ‘’allongé et un peu arrondi’’ avec 3 bandes de couleurs



Condensateur de 470 pF

5.2. Condensateur tubulaires avec 4 anneaux de couleur

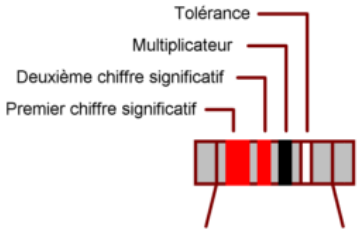


Figure 2. 11 :

Condensateur de 22 pF, tolérance 10 %

5.3. Condensateur rectangulaire avec coins arrondis et 5 bandes de couleurs

Les couleurs se lisent de haut en bas.

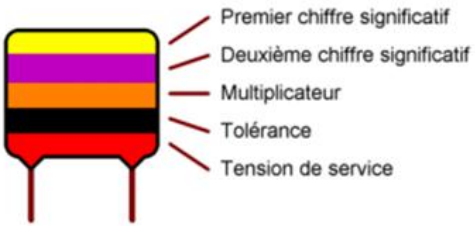
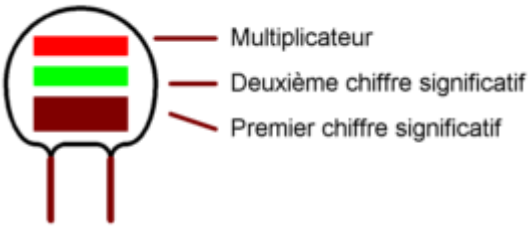


Figure 2. 12 :

Condensateur de 47 nF, tolérance +/-20%, 200 V ou 250 V.

5.4. Condensateur disque avec 3 bandes de couleur

Les couleurs se lisent de bas en haut



Condensateur de 1,5 nF

Tableau 2. 1: Signification du code des couleurs pour le marquage des condensateurs

Couleur	1er anneau 1er chiffre	2e anneau 2e chiffre	3e anneau Multiplicateur	4e anneau Précision	5e anneau Tension maximale
Noir		0		20 %	
Marron	1	1	× 10 pF		
Rouge	2	2	× 100 pF		250 V
Orange	3	3	× 1 nF		
Jaune	4	4	× 10 nF		400 V
Vert	5	5	× 100 nF		
Bleu	6	6	× 1 µF		
Violet	7	7	× 10 µF		
Gris	8	8			
Blanc	9	9		10 %	

6. Symboles

Le symbole utilisé pour représenter un condensateur parfait dans les schémas de circuit est montré dans la Figure ci-dessous :

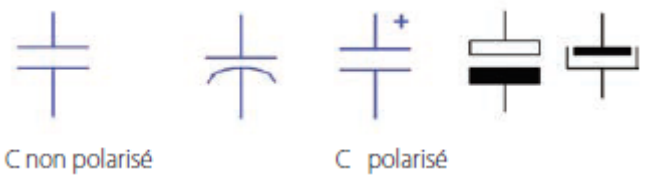


Figure 2. 13 : Les symboles normalisés des condensateurs

7. Caractéristiques des condensateurs

Dans cette section nous allons donner les caractéristiques essentielles des condensateurs.

7.1. Valeur nominale

Capacité pour laquelle est prévu le condensateur, noté par le code des couleurs ou directement en clair sur le condensateur.

- La tension de service en courant continu (symbole VNCC, abréviation de tension nominale en courant continu) indique la valeur de la tension continue (en volts) qui peut être appliquée au condensateur en régime permanent.
- La tension de service en courant alternatif (symbole VNCA, abréviation de tension nominale en courant alternatif) indique la valeur de crête de la tension alternative de fréquence comprise entre 50 et 60 Hz pouvant être appliquée au condensateur en régime permanent.

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.

7.3. Tolérance

C'est la plage de valeurs entre lesquelles se situe la valeur réelle du condensateur. Donné en % ou en Farad.

Ex : 10µF ± 20% ou 10µF ± 2µF.

La tolérance est un pourcentage en plus ou en moins autour de la valeur nominale, que le fabricant s'engage à respecter pour toutes les pièces livrées. Il s'agit de pièces neuves avant usage, car par la suite les variations peuvent être plus importantes après le fonctionnement prolongé.

8. Formules de base

8.1. Relation V-I pour un condensateur parfait

Un condensateur laisse passer un courant proportionnel aux taux de changement de la tension appliquée entre ses bornes.

$$i = C \cdot \frac{dv}{dt}$$

La constante de proportionnalité C est appelé la capacité.

8.2. Capacité

La grandeur qui caractérise un condensateur est sa capacité ; elle s'exprime en farads (F). La relation qui permet d'approcher qualitativement les contraintes de réalisation d'un condensateur est celle du condensateur plan :

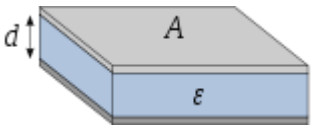


Figure 2. 14 : Représentation d'un condensateur plan

$$C = \varepsilon 0\, \varepsilon r\, (S/e)$$

ε0 : permittivité du vide (constante)

εr : permittivité relative du matériau

S : surface d'une électrode

e : épaisseur du diélectrique

La permittivité désigne la propriété physique que possède un milieu donné ; elle rend compte de sa réponse à un champ électrique.

8.3. Rigidité diélectrique

La valeur de l'intensité du champ pour laquelle il y a claquage est la rigidité diélectrique du matériau constituant l'isolant. Cette valeur est différente pour chaque type de matériau.

Chaque matériau diélectrique est donc caractérisé non seulement par sa constante diélectrique relative mais également par sa rigidité diélectrique.

8.4. Charge emmagasinée

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.

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 :

$$Q = CU$$

La constante C est caractéristique du condensateur. On l'appelle capacité et on l'exprime en farads (symbole F).

8.5. Association de condensateurs en série et en parallèle

En reliant deux condensateurs C1 et C2 en série, la valeur de capacité globale C sera inférieur à celle du condensateur ayant la capacité la plus faible.

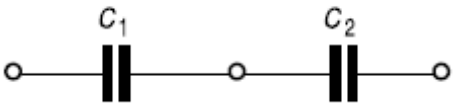


Figure 2. 15 : Condensateurs en série

La capacité globale est donnée par :

$$C = C1.C2/C1 + C2$$

En reliant en parallèle deux condensateurs, on obtient une capacité globale C égale à la somme des deux capacités de C1 et C2.

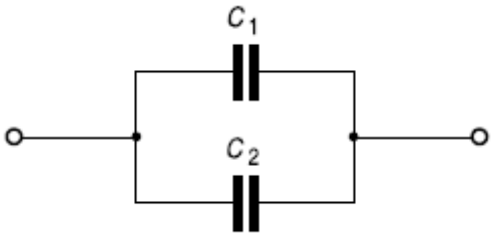


Figure 2. 16 : Condensateurs en parallèle

La capacité globale est donnée par :

$$C = C1 + C2$$

8.6. Condensateur en courant alternatif et en courant continu

8.6.1. Comportement en alternatif

Comme le courant alternatif change de sens périodiquement, les condensateurs se chargent et se déchargent sans arrêt.

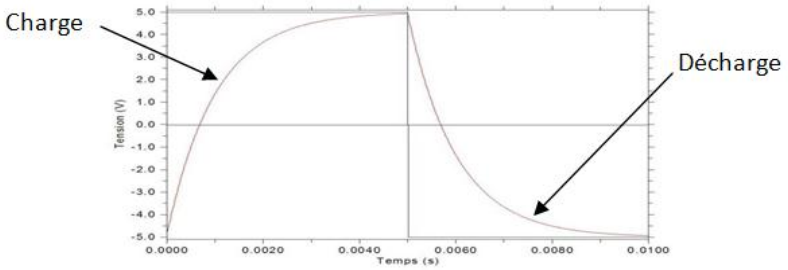


Figure 2. 17 : Charge et décharge d'un condensateur en alternatif

8.6.2. Comportement en continu

Un condensateur C préalablement déchargé, est alimenté par une source de tension E, à travers une résistance R.

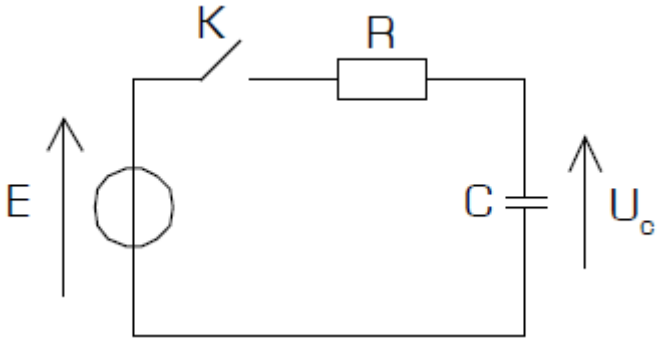


Figure 2. 18 : Circuit de charge d'un condensateur

A l'instant t=0, on ferme l'interrupteur K. Observons sur la figure (2.19) l'évolution de la tension U aux bornes du condensateur, après la fermeture de K :

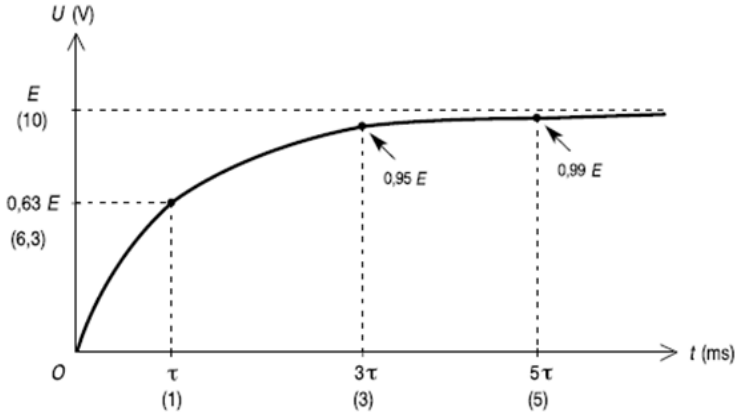


Figure 2. 19 : Evolution de la tension aux bornes d'un condensateur

Au cours de la charge du condensateur, l'intensité ic du courant dans le circuit est donnée par :

$$ic(t) = C\,dU(t)/dt$$

L'expression de la tension U aux bornes du condensateur est donnée par l'expression suivante :

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

Remarque

- ✓ Si le condensateur une fois retiré de son circuit de charge n'est pas relié à une résistance, il conserve sur ses armatures les charges accumulées.

- ✓ Une fois le condensateur chargé, il ne circule aucun courant dans le circuit, étant donné que la tension créée aux bornes de (C) est égale mais opposée à la tension de la pile.

La décharge du condensateur peut facilement être observée. Il suffit de retirer le condensateur et de le brancher par exemple, aux bornes d'une résistance.

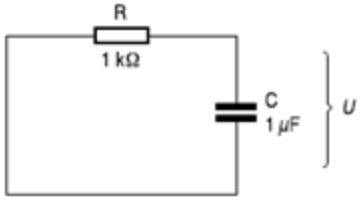


Figure 2. 20 : Circuit de décharge du condensateur

Lorsqu'on ferme l'interrupteur K, le condensateur C va se décharger.

L'évolution de la tension aux bornes du condensateur est représentée sur la figure ci-dessous.

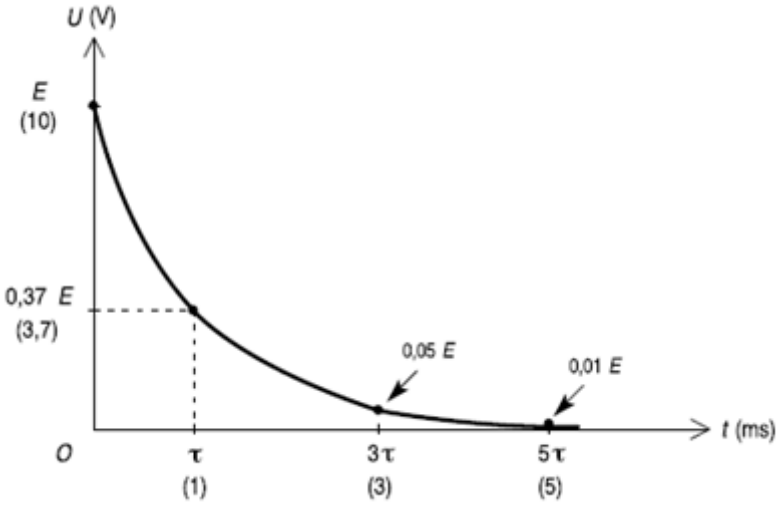


Figure 2. 21: Evolution de la tension aux bornes du condensateur lors de sa décharge

L'expression de la tension de décharge U aux bornes du condensateur peut s'exprimer par l'équation suivante :

$$U = Ee^{(-1/RC)t}$$

Une fois que le condensateur est complètement déchargé, le courant cesse de circuler, et la tension aux bornes de la résistance comme aux bornes du condensateur devient nulle.

8.6.3. Constante de charge

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

La constante de temps (τ=RC) donne un ordre de grandeur de la rapidité de la charge (ou de la décharge).

Le temps de charge (ou de décharge) est d'autant plus long que :
- La valeur de la résistance R est grande
- La capacité du condensateur est forte.

9. Utilisations et applications

Les utilisations et les applications d'un condensateur sont résumés comme suit :

9.1. Condensateur variable

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

Figure 2. 22: Symbole pour représenter les condensateurs variables

9.2. Condensateur de liaison

Pour ne pas modifier le point de fonctionnement, le courant continu ne peut pas traverser le condensateur C1.

Pour que la liaison soit correcte, il faut que le condensateur laisse passer le signal utile, il suffit que l'impédance du condensateur soit faible devant la résistance d'entrée du l'étage.

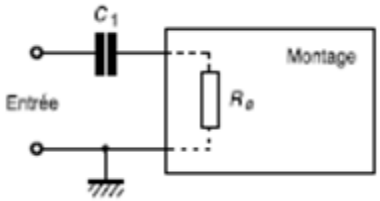


Figure 2. 23 : Condensateur de liaison à l'entrée d'un circuit

9.3. Condensateur de découplage

Le nom découplage indique que l'on va séparer des choses qui sont couplées. Le condensateur de découplage, bloque le signal continu et court-circuite le signal alternatif. Cependant, il n'est pas utilisé pour transmettre un signal entre deux points, mais pour créer une masse en alternatif (masse AC).

9.4. Filtrage (circuits RC et CR)

Un circuit RC est un circuit électrique, composé d'une résistance et d'un condensateur montés en série ou en parallèle. Dans leur configuration série, les RC permettent de réaliser des filtres électroniques passe-bas ou passe-haut.

Les filtres peuvent séparer les signaux utiles des signaux parasites, d'éliminer les signaux d'interférences, …

Peuvent être classés en deux catégories selon les composants électroniques utilisés :

- Les filtres passifs sont réalisés avec des résistances, des inductances et des condensateurs. Ils sont généralement utilisés au-dessus de 1MHz.
- Comme leur nom l'indique, les filtres actifs diffèrent des filtres passifs par la présence d'éléments actifs. Les filtres actifs sont réalisés avec des résistances des condensateurs et des amplificateurs opérationnels. Ils sont utiles au-dessous de 1MHz.

Il existe cinq type de filtre : passe-bas, passe-haut, passe-bande, coupe-band et passe-tout.

9.4.1. Fonction de transfert & réponse fréquentielle

La fonction de transfert permet de caractériser la relation temporelle et fréquentielle entre le signal d'entrée et le signal de sortie du filtre.

La réponse fréquentielle d'un filtre est l'évolution de son gain en tension en fonction de la fréquence.

9.4.2. Filtre passe bas RC

Un filtre passe-bas laisse passer les signaux de fréquence au dessous de la fréquence de coupure. La réponse fréquentielle idéale de ce filtre est donnée par la figure ci-dessous.

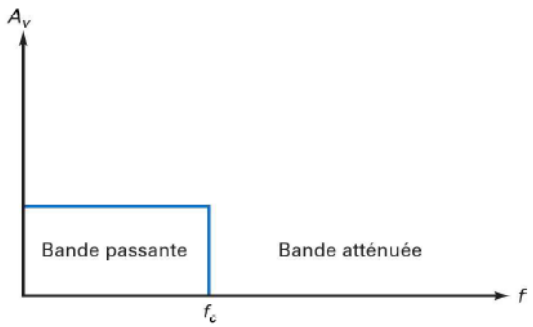
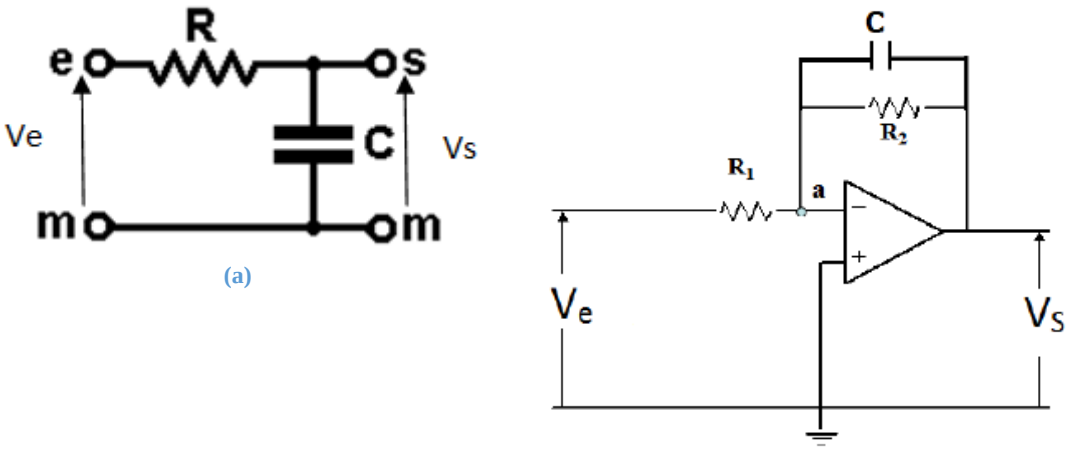


Figure 2. 24 : Réponse fréquentielle d'un filtre passe-bas

Le circuit électronique permettant de matérialiser un filtre passe-bas passif et actif est donnés sur la figure ci-dessous.



(a) (b)

Figure 2. 25 : Filtre passe-bas :(a) : Filtre passif, (b) : Filtre actif

Dans un filtre passe bas la tension de sortie(Vs) est prise au borne du condensateur (C).

1. Fonction de transfert du filtre RC passif

L'impédance d'un condensateur peut s'exprimé comme suit :

$$Z_C(w) = \frac{1}{JCw}$$

La tension aux bornes du condensateur peut se calculer en considérant le montage comme un diviseur de tension non chargé tel que :

$$V_c(\omega) = \frac{Z_c(\omega)}{Z_c(\omega) + R}.V_{in}(\omega) = \frac{1}{1 + jRC\omega}.V_{in}(\omega)$$

Soit H_C la fonction de transfert obtenue en considérant la tension aux bornes du condensateur comme tension de sortie. H_C s'obtient grâce à l'expression de $V_c(\omega)$ telle que:

$$G_c(\omega) = \frac{V_c(\omega)}{V_{in}(\omega)} = \frac{1}{1 + jRC\omega}$$

9.4.3. Filtre passe haut CR

Un filtre passe-haut laisse passer les signaux à haute fréquence. Dans un filtre passe haut la tension de sortie est prélevée aux bornes de la résistance.

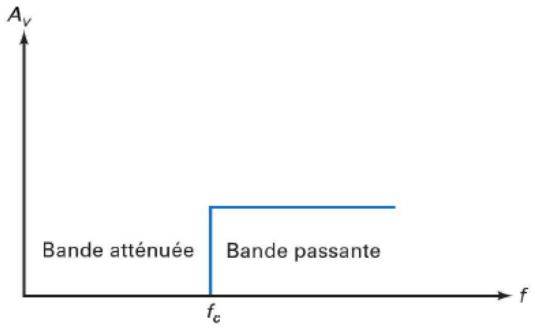
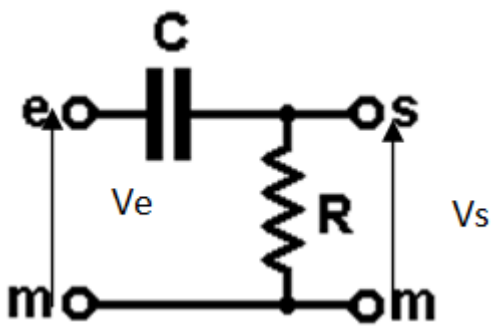
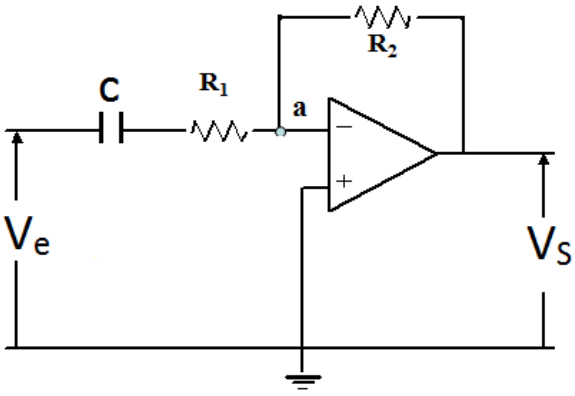


Figure 2. 26 : Réponse fréquentielle d'un filtre CR idéale



(a)



(b)

Figure 2. 27: Filtre passe-haut :(a) :Passif, (b) : Actif

La tension aux bornes e la résistance peut se calculer en considérant le montage comme un diviseur de tension non chargé tel que :

$$V_R(\omega) = \frac{R}{Z_c(\omega) + R}.V_{in}(\omega) = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega}.V_{in}(\omega)$$

Soit H_R la fonction de transfert obtenue en considérant la tension aux bornes de la résistance comme tension de sortie. H_R s'obtient grâce à l'expression de $V_R(\omega)$ telle que:

$$G_R(\omega) = \frac{V_R(\omega)}{V_{in}(\omega)} = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

10. Comment tester un condensateur

Dans cette section nous allons décrire les techniques utilisée pour tester un condensateur.

10.1. Test avec un multimètre ayant le mode FARAD

Les multimètres récents sont assez sophistiqués et sont dotés de la fonction farad, qui leur permet de

1. Enlever le condensateur de son circuit dans lequel il se trouve.
2. Prendre les informations nécessaires sur la capacitance de base du condensateur. La valeur est souvent écrite sur son dos en farad (F) ou (µ)
3. Tourner le commutateur sur le mode capacitance
4. Mettre en contact le multimètre et le condensateur à l'aide des cordons de mesure. Le câble rouge doit être relié au pôle négatif de l'objet mesuré et le câble noir à la borne positive. La plupart du temps la borne positive et plus longue négative.
5. Vous pouvez passer à la lecture de la valeur sur l'écran. Si elle est approximative aux informations que vous aviez notées, alors votre condensateur est en forme. Mais dans le cas où elle est plus proche de zéro, que de la valeur relevée alors, il est bon au recyclage.

10.2. Test avec un multimètre sans mode FARAD

Beaucoup de multimètres ne sont pas doté de la fonction de mesure de la capacitance. Néanmoins, on peut toujours tester un condensateur à l'aide du mode de résistance (Ω).

1. Isoler le condensateur du circuit
2. Sélectionner la fonction de résistance. Il est souvent représenté par son symbole « Ω » ou «OHM»
3. Régler le calibre sur 1000 ohm, 1K ou une valeur supérieure
4. Passer à la prise de mesure en reliant les cordons aux différentes bornes du condensateur. Le câble rouge pour la borne positive et celle noire, pour la borne négative
5. Il y a déjà sûrement une valeur sur l'écran. Prenez le soin de le noter
6. Reprenez plusieurs fois l'opération. Si la valeur reste identique alors votre composant se porte bien. Au cas où elle varierait plusieurs fois, alors votre condensateur est mort.

Attention !

- Avant de débrancher le composant veuillez vérifier qu'il est totalement libre de toute tension. Il est d'ailleurs de le relier à une lampe afin d'en être vraiment sûr
- Portez toujours des gants isolants : vous courez le risque de vous faire électrocuter lorsque vous touchez un condensateur chargé.