

démarrer en électronique... (7)

...est moins difficile qu'on ne l'imagine !
Même lorsqu'il s'agit de condensateurs.

Eric Bogers (Elektor)

Après la présentation des résistances dans l'épisode précédent [1], passons aux condensateurs. Les condensateurs peuvent également être considérés comme des résistances, mais pour les signaux en courant alternatif. En effet, les condensateurs bloquent les signaux continus, mais offrent un passage aux signaux alternatifs. Outre leur usage comme résistances en alternatif, ils peuvent également servir à stocker de l'énergie électrique.



Un condensateur peut être considéré comme deux conducteurs (des plaques métalliques, par exemple, ou plus généralement des électrodes) placés à une très courte

distance l'un de l'autre, mais sans aucun contact électrique entre eux. Leur symbole (**fig. 1**) traduit cette caractéristique : deux traits parallèles disjoints.

Mais attendez ! Comment est-il possible qu'un composant bloque les signaux continus, mais pas les signaux alternatifs ? Pour le comprendre, rappelons-nous ce qu'est en réalité le « courant » : un déplacement de charges. Lorsqu'une charge est déplacée, un courant circule. Lorsque nous connectons un condensateur à une tension continue, il s'établit un courant initial – les électrons se déplacent d'une plaque du condensateur vers la borne positive de la source de tension continue et de la borne négative vers l'autre plaque. Mais une fois le condensateur chargé (la tension entre ses plaques est égale à celle de la source), le courant s'arrête, le conden-

sateur se comporte comme un circuit ouvert (ou isolateur, ou résistance d'une valeur infiniment grande).

Il en va autrement lorsque le condensateur est soumis à une tension alternative : il est alors continuellement chargé, déchargé, chargé à l'envers, etc. Mais là aussi aucun électron ne *traverse* réellement le condensateur d'une plaque ou d'une électrode à l'autre !

Capacité

Comme déjà indiqué, un condensateur peut stocker une charge (et donc de l'énergie électrique) et d'autant plus que sa *capacité* est grande.

Pour la capacité C d'un condensateur, on a la relation :

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

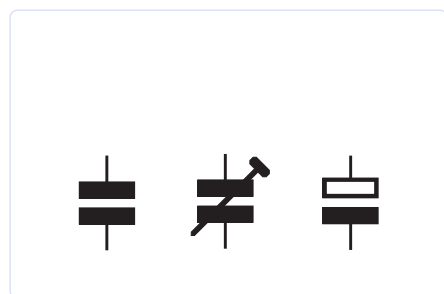


Figure 1. Symboles utilisés pour les condensateurs. De gauche à droite : condensateur « ordinaire », condensateur ajustable (« trimmer »), condensateur électrolytique.

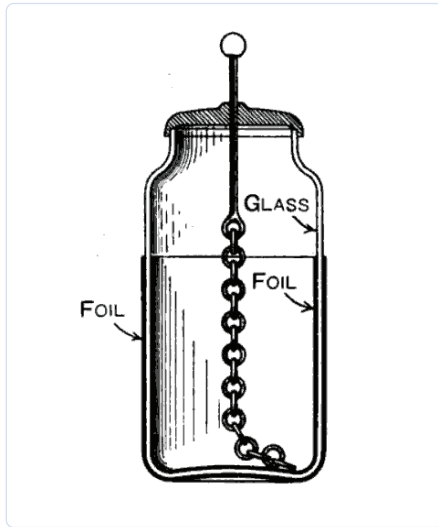


Figure 2. Structure d'une bouteille de Leyde (source : Wikimedia Commons, <http://bit.ly/wiki-leyden-jar>).

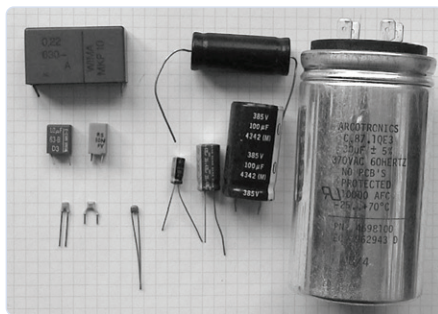


Figure 3. Quelques types de condensateurs courants.

où ϵ est la *constante diélectrique* de l'isolant entre les électrodes (« plaques »), A leur surface et d la distance entre elles. Il n'est guère utile de se souvenir de cette formule, elle n'est là que pour vous donner une idée des grandeurs qui déterminent la capacité d'un condensateur.

Il est évident que la capacité augmente avec la surface des électrodes (la charge est constante par unité de surface). Lorsqu'on rapproche les électrodes, la capacité augmente également. La constante diélectrique, qui a une grande influence sur la capacité, nécessite un peu plus d'explications. Entre les électrodes d'un condensateur se trouve un matériau isolant (le diélectrique). Pour la constante diélectrique ϵ , nous avons la relation suivante :

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

où ϵ_0 est la permittivité du vide (une constante naturelle avec une valeur extrêmement faible de $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}$), et ϵ_r est la constante diélectrique relative de l'isolant, qui est une caractéristique du matériau. Sa valeur est de 1 pour le vide et l'air, de 2 pour le papier et de 7 pour la céramique et le mica. On peut donc considérablement augmenter la capacité d'un condensateur par un choix judicieux du diélectrique.

L'unité de capacité est le *farad* (symbole F). Cette unité est beaucoup trop grande en pratique, où nous avons affaire à des valeurs de l'ordre du picofarad (10^{-12} F), du nanofarad (10^{-9} F) et du microfarad (10^{-6} F). Il existe cependant des condensateurs d'une valeur de 1 à 10 F, voire plus : ce sont les « *supercaps* », disponibles auprès de différents fabricants, qui remplissent la fonction de batteries de secours (par exemple pour protéger un circuit d'horloge en temps réel des pannes de courant).

Entrée en scène

Le condensateur a fait ses débuts en 1746 dans le laboratoire de Pieter van Musschenbroeck à l'université de Leyde (Pays-Bas). Ce condensateur était constitué d'un bocal en verre dont les parois intérieure et extérieure étaient recouvertes d'une feuille d'étain (fig. 2). Reliée à un générateur électrostatique qui fournissait la charge, cette *bouteille de Leyde* permettait de réaliser des expériences spectaculaires (et pas toujours sans danger).

Ceux d'aujourd'hui sont habituellement beaucoup plus petits. La figure 3 montre les modèles plus courants. À l'extrême droite, un 'gros' condensateur métal/papier ; ces condensateurs sont souvent utilisés pour supprimer les parasites des moteurs. Un de leurs avantages est d'être très robustes ; un de leurs inconvénients est leur taille pas vraiment petite.

Les condensateurs électrolytiques sont considérablement plus petits (fig. 3, colonne centrale). Dans les condensateurs électrolytiques, le diélectrique est un *électrolyte* ; ils souffrent d'un inconvénient important : ils sont polarisés, c'est-à-dire qu'ils ont une borne positive et une borne négative. Ils doivent obligatoirement être montés dans le bon sens (en particulier ceux dits au tantale) sous peine de conséquences spectaculaires et extrêmement malodorantes. Il existe des condensateurs électrolytiques non polarisés, utilisables indifféremment dans les deux sens.

La colonne la plus à gauche de la figure 3 montre quelques condensateurs en polypropylène en haut et quelques condensateurs en céramique en bas. Ces derniers sont agréablement petits et peu coûteux, mais ne sont disponibles que pour des valeurs de capacité relativement faibles.

Il y a tant à dire sur les différents types de condensateurs disponibles et leurs caractéristiques spécifiques que nous pourrions facilement en remplir tout un numéro d'Elektor. Mais pour vos débuts en électronique, les types mentionnés ci-dessus devraient suffire. Au cours de votre pratique, vous l'aurez l'occasion de découvrir d'autres types – pas d'inquiétude !

Le condensateur comme réservoir d'énergie

Un condensateur peut stocker une charge électrique, et d'autant plus que sa capacité est plus élevée et que la tension appliquée à ses bornes est plus élevée :

$$Q = C \cdot U$$

De là découle la définition officielle de l'unité de capacité, le farad : la capacité d'un condensateur est la charge qu'il contient quand il est soumis à une tension d'un volt. L'énergie stockée dans un condensateur est calculée comme suit :

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

Les condensateurs sont fréquemment utilisés comme réservoirs d'énergie dans les alimentations électriques : la tension alternative (abaissée) est redressée, ce qui donne une tension continue pulsée qui est appliquée à un condensateur (d'assez grosse capacité) qui fonctionne comme un réservoir ou un tampon. On obtient une tension filtrée et ce condensateur est appelé un condensateur filtrage. Quand nous aborderons le sujet des diodes et des circuits de redressement, nous y reviendrons plus en détail.

Caractéristiques des charges et des décharges

Lorsqu'un condensateur est chargé ou déchargé, la tension à ses bornes dépend de la charge qu'il contient :

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

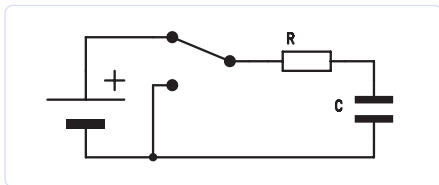


Figure 4. Charge et décharge périodiques d'un condensateur à travers une résistance.

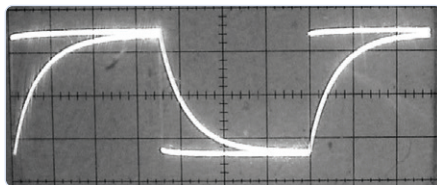


Figure 5. Cycles de charge et de décharge observés sur un oscilloscope.



Figure 6. Deux condensateurs électrolytiques montés tête-bêche forment un condensateur non polarisé.

Si nous chargeons un condensateur avec un courant constant, la tension à ses bornes croît linéairement – et décroît linéairement s'il est déchargé avec un courant constant. Dans la pratique, c'est rarement le cas ; il est beaucoup plus fréquent d'utiliser une tension constante (fig. 4).

Comme la tension aux bornes du condensateur croît continuellement pendant la charge, la tension aux bornes de la résistance décroît continuellement (la somme des deux étant toujours égale à la tension de charge constante), le courant de charge décroît donc continuellement. La charge du condensateur devient donc de plus en plus lente ; la tension à ses bornes se rapproche asymptotiquement de la tension de charge (fig. 5).

Lorsque l'on décharge un condensateur à travers une résistance, il se produit exactement l'inverse : en raison de la tension élevée aux bornes du condensateur, il y a un courant de décharge initiale intense, mais comme cette tension diminue continuellement, il en est de même du courant de décharge.

Lorsqu'on charge un condensateur à travers une résistance, on a la même relation entre la tension et le courant (nous ne vous ennuierons pas avec des histoires de dérivées et vous pouvez tout aussi bien oublier cette relation, elle n'est présentée ici que par souci d'exhaustivité) :

$$U_C = U_0 \cdot (1 - e^{-t/RC})$$

$$I_C = \frac{U_0}{R} \cdot (e^{-t/RC})$$

Les formules suivantes sont valables pour la décharge :

$$U_C = U_0 \cdot (e^{-t/RC})$$

$$I_C = \frac{-U_0}{R} \cdot (e^{-t/RC})$$

Connexions en série et en parallèle des condensateurs

Pour conclure cet épisode, nous allons examiner brièvement les connexions en série et en parallèle des condensateurs. La connexion en parallèle est en fait très simple : lorsque nous connectons des condensateurs en parallèle, nous pouvons imaginer que les « plaques » du condensateur résultant sont devenues plus grandes et donc que la capacité qui en résulte est également plus grande. Cela est vrai :

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

Remarquable ! Pour les condensateurs connectés en parallèle, la relation est la même que pour la mise en série des résistances ! Y aurait-il quelque chose de similaire pour la connexion en série des condensateurs ? En effet : comme pour la mise en parallèle des résistances, la règle de l'inverse de la somme des inverses s'applique :

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

Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Contributeurs

Idée et illustrations : **Michael Ebner**
Rédaction : **Eric Bogers**
Mise en page : **Giel Dols**
Traduction : **Helmut Müller**

Enfin, une remarque sur les condensateurs électrolytiques : en les connectant tête-bêche, on obtient un électrolytique non polarisé (fig. 6).

Nous en restons là pour cet épisode. Dans le prochain, nous examinerons de près les condensateurs fonctionnant comme des résistances en alternatif. Il y a beaucoup à dire à ce sujet, car avec les condensateurs, il y a un déphasage entre la tension et le courant – ce n'est pas le cas avec les résistances..

(200680-04)

La série d'articles « démarrer en électronique » est basée sur le livre « Basic Electronics Course » de Michael Ebner, publié par Elektor.



PRODUITS

- > **B. Kainka, Initiation à l'électronique et programmation de montages pour débutants**
www.elektor.fr/19339
- > **R. Mallard, L'électronique pour les débutants**
www.elektor.fr/15662

LIEN

- 1] **E. Bogers, « démarrer en électronique... (6) », Elektor, 01-02/2021 :**
www.elektormagazine.fr/200551-02