

ELM

Sacha BELIN
Nicolas GAUTIER
Romain POSSÉME
Nicolas LE GUERROUÉ
Tangi COENT

mai 2020

Table des matières

1	Introduction	2
2	Histoire	3
3	Principe de fonctionnement	5
4	Les différentes technologies	7
4.1	Les condensateurs à film	8
4.2	Les condensateurs à céramique	9
4.3	Les condensateurs électrolytiques	10
4.4	Les condensateurs variables	10
5	Domaines d'application	12
5.1	Les condensateurs de filtrage	12
5.2	Les condensateurs de découplage	14
5.3	Les condensateurs de liaison	18
6	Avenir du condensateur	21
6.1	Les supercondensateurs	21
	Bibliographie	24

Section 1

Introduction

Dans le cadre du projet d'électrostatique de S4, nous avons été amené à réaliser un dossier sur le condensateur. Ainsi, ce document traitera dans une première partie de l'histoire du condensateur. Ensuite, dans un second temps nous tenterons d'expliquer le fonctionnement du condensateur pour ensuite voir les différentes technologies qui lui sont associées. Nous évoquerons par la suite les domaines d'applications du condensateur. Nous verrons que le condensateur fait parti des éléments de base de tout circuit électronique. Son usage est donc primordial dans tous les systèmes qui nous entourent. Ce qui nous amènera enfin à s'intéresser à l'avenir du condensateur en électronique.

Section 2

Histoire

C'est en 1745, que le physicien allemand Ewald Georg von Kleist invente le premier condensateur. Il a enroulé une feuille d'argent autour d'une bouteille en verre, et a chargé la feuille à l'aide d'un générateur à friction. Il était convaincu qu'une charge pourrait être accumulée lorsqu'il a reçu un choc électrique significatif (par un générateur par exemple).

Un an plus tard, Pieter van Musschenbroek poursuivra les recherches sur cette invention et lui donnera le nom de : "bouteille de Leyde". Pour la petite histoire, ce nom vient de l'université où travaillait ce dernier : l'université de Leyde. Le condensateur est une véritable révolution car il permet de contenir une importante charge électrique dans un très petit volume. La bouteille de Leyde est un condensateur formé de deux conducteurs séparés par le verre de la bouteille. Le premier conducteur est généralement constitué d'une électrode supérieure, reliée à des feuilles en étain mises dans la bouteille. Le second conducteur est formé par une feuille métallique autour la bouteille. Ces deux conducteurs permettent de créer deux charges égales mais de signes opposées.

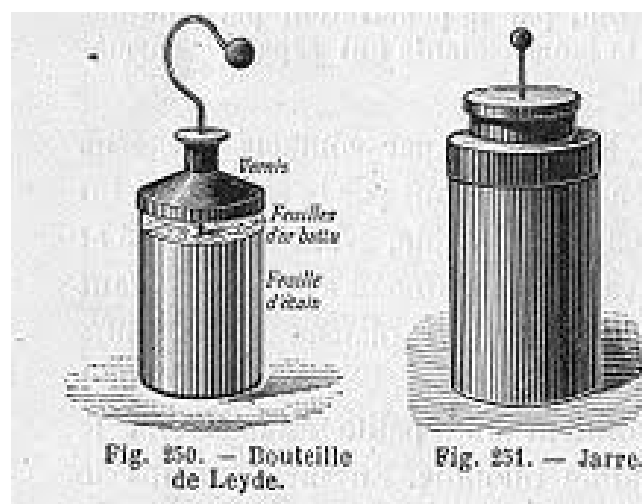


FIGURE 2.1 – Bouteille de Leyde

Puis avec le temps, d'autres condensateurs ont vu le jour :



FIGURE 2.2 – Différents types de condensateurs

Section 3

Principe de fonctionnement

Un condensateur est un dipôle électrique composé de deux armatures conductrices appelées électrodes et séparées par un matériel isolant ou diélectrique.

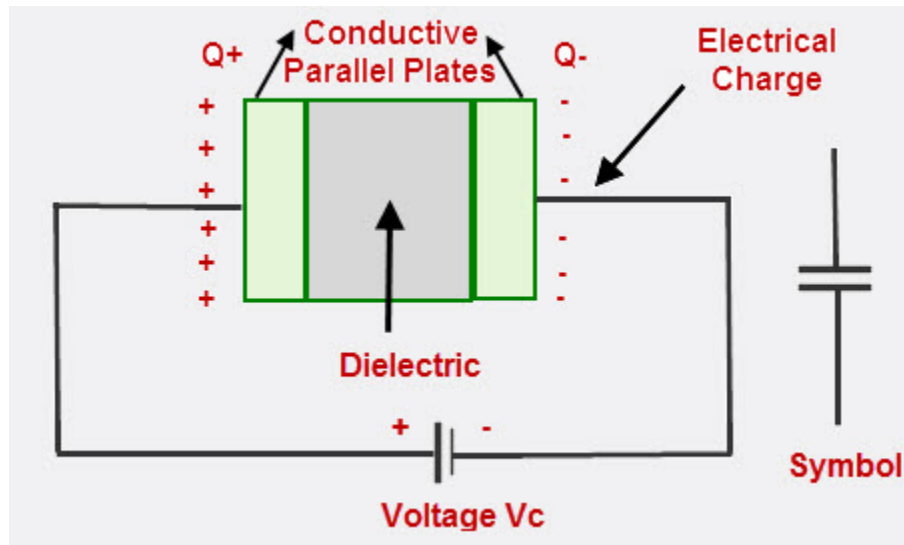


FIGURE 3.1 – schéma condensateur

Lorsque l'on exerce une tension sur un condensateur, une force électrique déplace des électrons vers la première armature pour s'y déposer. Cette augmentation du nombre d'électrons vient charger négativement l'armature. Une force se crée entre les deux plaques et vient arracher des électrons à la seconde armature et donc charger positivement l'armature.

Malgré la présence d'un isolant entre les deux plaques, le courant dans le circuit n'est pas nul. En effet, tant que le condensateur n'est pas chargé, un nombre d'électrons arrive vers le condensateur. Le nombre d'électrons arrivant sur la première plaque est égale au nombre d'électrons quittant la seconde plaque. Des charges sont arrachées à la seconde armature et continuent de se déplacer dans le circuit.

Le condensateur continue de se charger tant que la tension entre les deux armatures n'est pas égale à la tension exercée sur ses bornes. Si on exerce une tension sur le condensateur supérieur à sa tension admissible, le composant va casser ou exploser. Lorsque le condensateur est complètement chargé, les nouveaux électrons arrivant sont repoussés par ceux déjà présents sur la plaque, il n'y a plus déplacement de charges, le courant devient nul.

Un condensateur est caractérisé par un coefficient de proportionnalité entre la charge et la tension à ses bornes. On note ce coefficient capacité électrique et il s'exprime en Farad.

$$Q = C(V_1 - V_2) \text{ ou } i = C \frac{du}{dt}$$

La capacité d'un condensateur est déterminée par la géométrie du composant et la nature de l'isolant.

Le tableau suivant résume la valeur de capacité pour différente géométrie de condensateur. ϵ_r représente la permittivité relative de l'isolant.

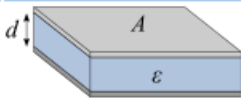
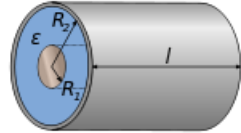
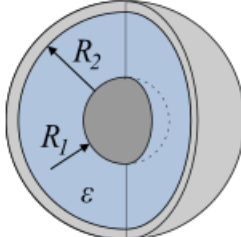
Désignation	Capacité	Champ électrique	Représentation
Condensateur plan	$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$	$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A}$	
Condensateur cylindrique	$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$	$E(r) = \frac{Q}{2\pi r l \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Condensateur sphérique	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^{-1}$	$E(r) = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Sphère	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1$		

FIGURE 3.2 – calcul capacité

Section 4

Les différentes technologies

Au cours de l'histoire plusieurs technologies ont été découvertes afin de fabriquer des condensateurs. Cela nous offre maintenant, un large choix de technologies suivant les utilisations et, ou les valeurs en Farad nécessaires. Afin de mieux comprendre les avantages et les inconvénients de chaque technologie, nous allons en faire une comparaison des plus couramment utilisées.

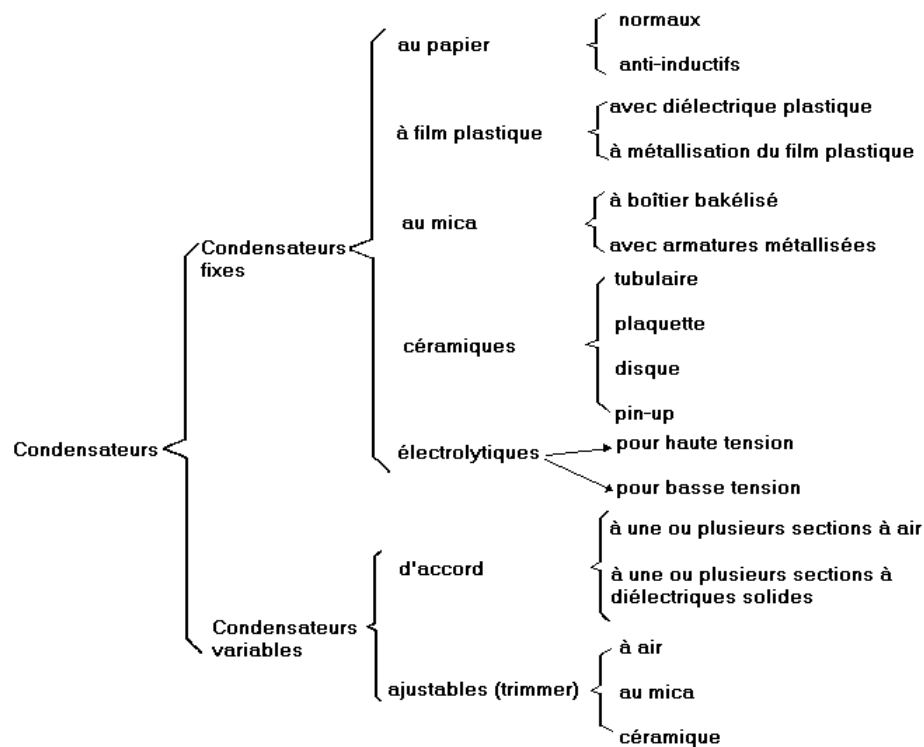


FIGURE 4.1 – Classification des différents types de condensateur

La figure 4.1 récapitule tous les types de condensateurs. Ils sont divisés en 2 catégories, les condensateurs à capacité fixes et ceux à capacité variable. Nous allons par la suite nous intéresser majoritairement au condensateur à capacité fixe car ce sont ceux le plus répandus.

4.1 Les condensateurs à film

Ces condensateurs utilisent un film plastique. Il en existe de 2 types, suivant l'utilisation du film plastique. Ceux de type un utilisent un film plastique comme diélectrique, c'est-à-dire comme moyen de limiter ou empêcher la conduction électrique mais laissant s'exercer les forces électrostatiques. Ceux de type deux utilisent quant à eux un film plastique métallisé.

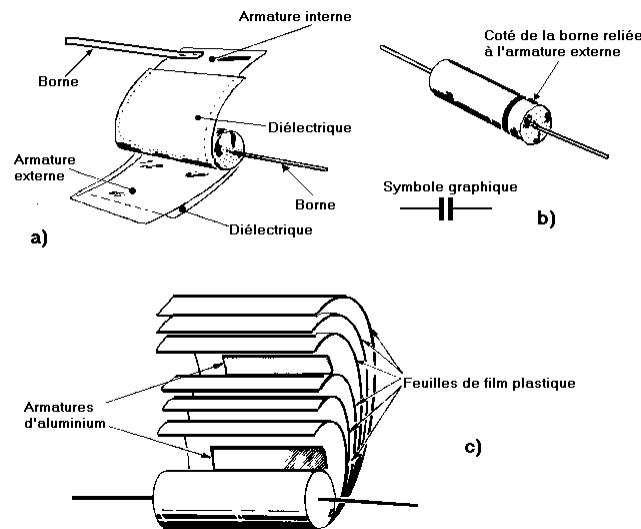


FIGURE 4.2 – Schéma interne d'un condensateur à film plastique

Ces condensateurs possèdent une faible capacité comprise entre 1nF et 30μF, mais à défaut permettent une très grande précision. Ils possèdent également une durée de vie supérieure à la plupart des autres types de condensateurs et ne sont pas polarisés. De plus, certains de ces condensateurs permettent une régénération après un claquage. Ils sont également conçus pour résister à de hautes tensions (de l'ordre du kilovolt) et permettent de fournir des impulsions de courant de surcharge très élevées.

4.2 Les condensateurs à céramique

Ce type de condensateur est celui majoritairement utilisé. Ils sont notamment très utilisés en électronique du fait de leur petite taille. Ils permettent des capacités comprises entre 1nF et $1\mu\text{F}$. Ils ne sont pas polarisés comme les condensateurs à film ce qui permet leur utilisation dans des circuits à courant alternatif. Il en existe également 2 types :

- Ceux de classe 1 sont utilisés lorsque l'on nécessite une grande stabilité et de faible perte. Ils possèdent une valeur de capacité très stable.
- Ceux de classe 2 possèdent une capacité élevée. Ils perdent cependant en stabilité thermique et les tolérances de capacité sont plus élevée.

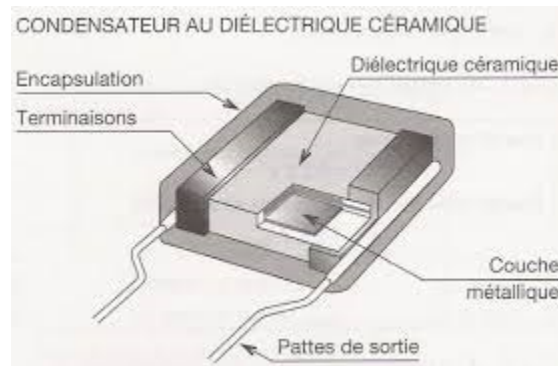


FIGURE 4.3 – Schéma interne d'un condensateur à céramique

4.3 Les condensateurs électrolytiques

Les condensateurs électrolytiques ou encore condensateurs chimiques, utilisent un électrolyte, c'est-à-dire une substance conductrice contenant des ions mobiles. Cela permet à ces condensateurs de pouvoir fournir une plus grande plage de valeur de capacité que les autres types de condensateur. Ils sont dans la très grande majorité polarisés ce qui oblige leur utilisation dans des circuits à courant continu. On en voit très souvent dans des alimentations notamment d'ordinateur etc... Ils permettent une capacité comprise entre $1\mu\text{F}$ et 47mF avec une tension de fonctionnement pouvant aller à l'ordre de quelques centaines de volts. Ils ne sont cependant pas très précis. En effet il possède une tolérance de 20%, une grande résistance en série et réagissent très mal aux hautes fréquences (surchauffe).

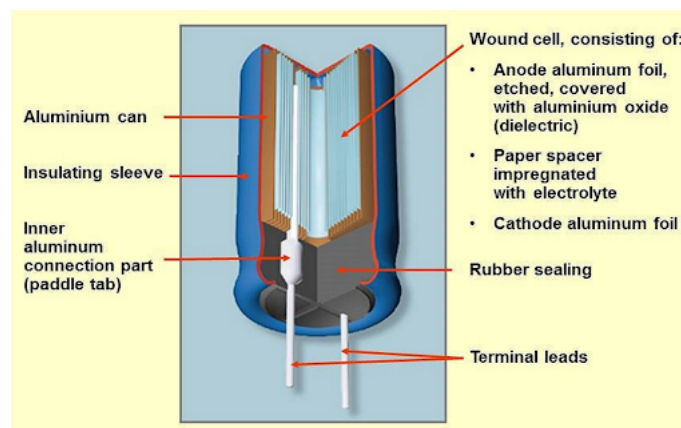


FIGURE 4.4 – Schéma interne d'un condensateur électrolytiques

4.4 Les condensateurs variables

Les condensateurs variables sont des condensateurs dont la valeur de la capacité est comme son nom l'indique variable. Ils sont constitués d'un rotor, d'un axe et d'un stator.

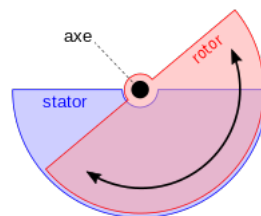


FIGURE 4.5 – Schéma interne d'un condensateur variable

Le rotor entraîné par l'axe tourne dans l'armature fixe du stator. La capacité de ces condensateurs varie en continu entre une valeur minimum appelé capacité résiduelle et une valeur maximum

appelée capacité nominale.

Cette variation suit une fonction appelée loi de variation :

$$C = f(\theta) \quad (4.1)$$

$f()$ dépend de multiples paramètres complexes. Il est donc difficile de pouvoir le définir clairement.

θ quant à lui correspond à l'angle de rotation de l'axe.

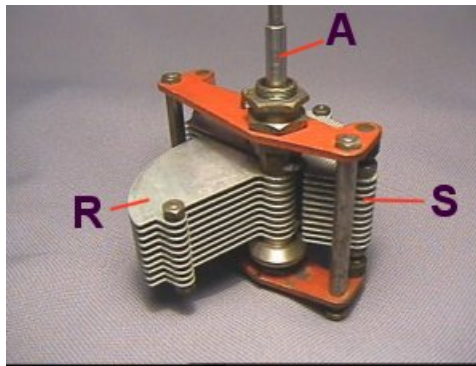


FIGURE 4.6 – Condensateur à capacité variable

Nous avons pu dans cette partie, nous intéresser à différents types de condensateur. Il en existe encore plein d'autres comme les condensateurs au mica, au papier... Mais nous avons vu ici, ceux les plus couramment utilisés.

Section 5

Domaines d'application

Nous allons présenter trois domaines d'application des condensateurs. Cette liste n'est pas exhaustive. Les condensateurs permettent également de redresser le cosinus Φ ou bien de filtrer des signaux audio.

5.1 Les condensateurs de filtrage

Présentation

Les condensateurs permettent de lisser une tension afin de stabiliser cette dernière.

Objectif

On souhaite amortir les oscillations de tension en sortie d'un pont de Graëtz (14 V DC). On souhaite donc passer d'une tension alternative à une tension pseudo-continue.

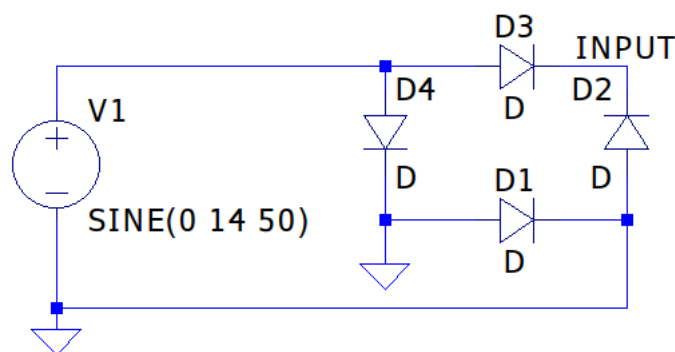


FIGURE 5.1 – Le pont de Graetz

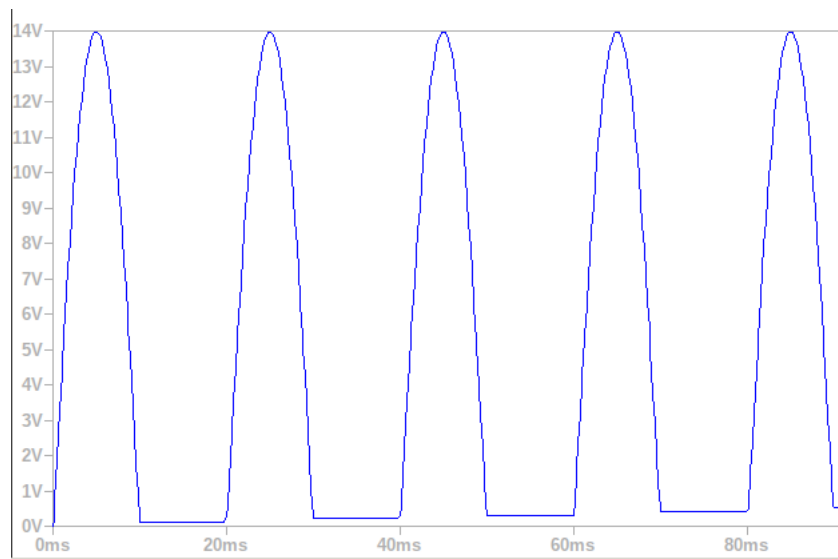


FIGURE 5.2 – La tension en sortie du pont

Mise en oeuvre

Afin de lisser la tension, il convient de mettre un condensateur en sortie du pont de Graëtz, avec une borne sur INPUT et une autre à la masse.

Une résistance de 50 Ω a été rajoutée pour simuler la présence d'une charge.

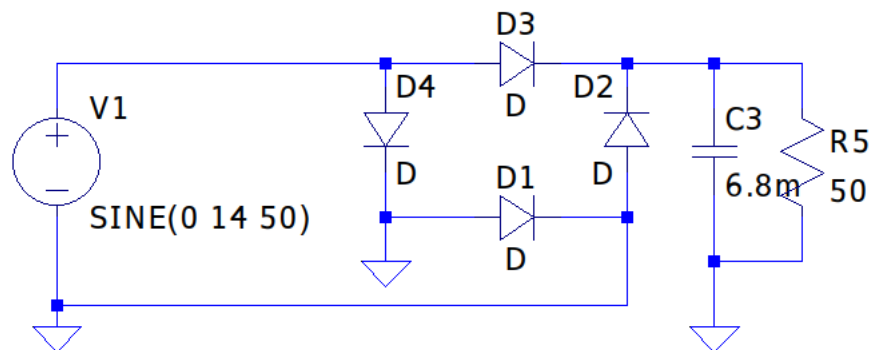


FIGURE 5.3 – Le circuit de filtrage

Observons le résultat.

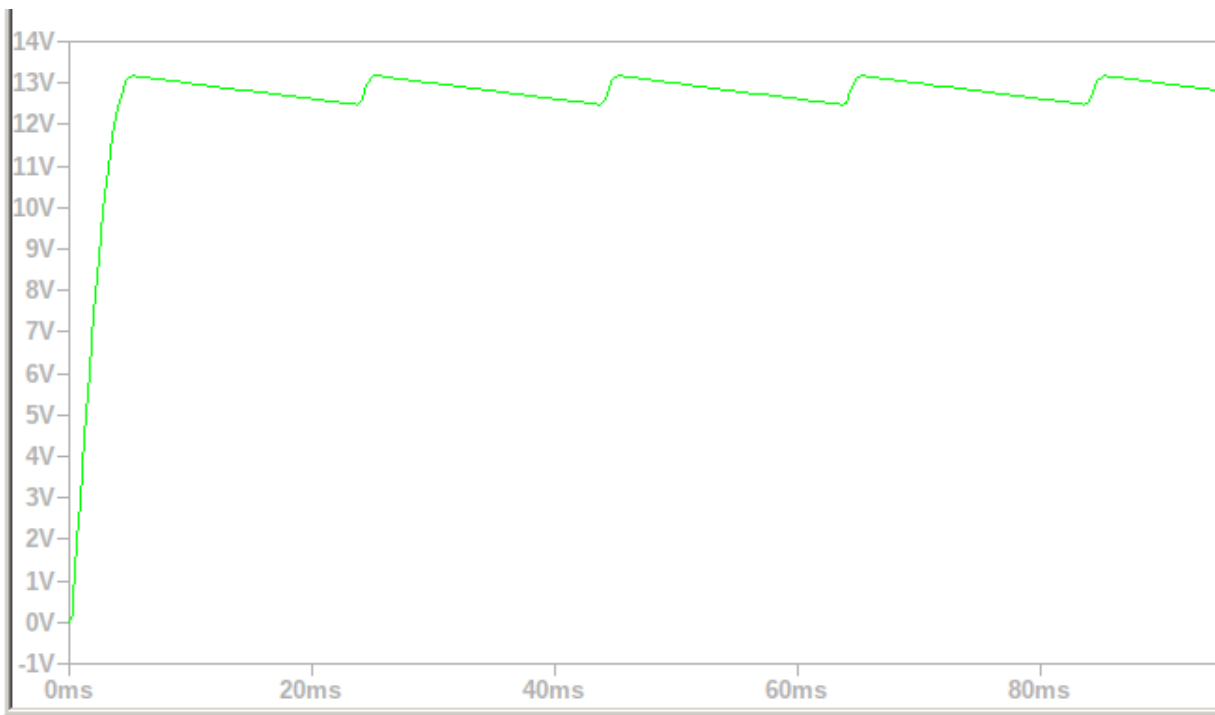


FIGURE 5.4 – La tension aux bornes du condensateur

Principe

Le condensateur joue le rôle d'accumulateur. Pendant les phases où la tension est croissante, ce dernier se charge.

Lors des phases où la tension décroît, le condensateur restitue une partie de son énergie, ce qui a pour effet de réduire l'amplitude de variation de tension.

On retrouve notamment ces condensateurs dans les alimentations linéaires.

Dans ce cas, la capacité du condensateur nécessaire croît avec le courant demandé par la charge.

Il est fréquent de voir des condensateurs chimiques de quelques mF dans ces alimentations. Une valeur inférieure risque de rendre instable l'alimentation.

5.2 Les condensateurs de découplage

Présentation

Certains circuits nécessitent une alimentation très stable (aucune fluctuation de la tension d'entrée). Cependant, lors de l'utilisation du circuit, des courants importants peuvent être demandés par le circuit.

Nous allons montrer un cas en exemple où, pour améliorer les performances du circuit, il conviendra de mettre un fameux condensateur de découplage.

Objectif

Nous souhaitons cascader deux portes logiques CMOS¹ de type inverseur, comme le montre la figure suivante.

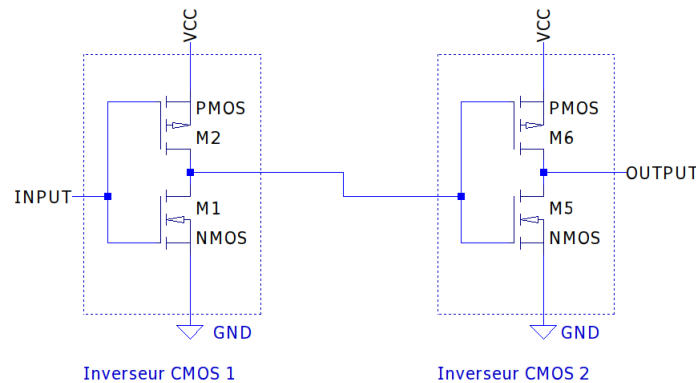


FIGURE 5.5 – Schéma d'exploitation

A première vue, ce modèle peut sembler satisfaisant. Cependant, nous souhaitons faire fonctionner ce circuit dans des fréquences assez élevée².

En prenant un modèle réel, on peut déjà prendre en compte les capacités parasites des transistors MOSFETs. Ces derniers possèdent une capacité entre la broche de commande (Gate) et la masse.

Le modèle réel des entrées de chaque porte logique est le suivant.

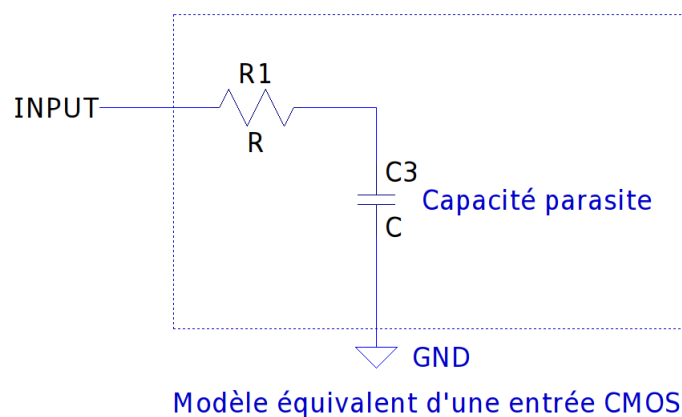


FIGURE 5.6 – Modèle équivalent des entrées CMOS

1. Complementary MOS : MOS complémentaires, mise en cascade d'un MOS canal P et d'un MOS canal N
2. Toutefois inférieures à la fréquence maximale du circuit

En régime transitoire

Intéressons nous au régime transitoire.

On constate que dans notre cas d'exemple, les grilles des MOSFETS consomment du courant pendant les phases de commutation, du fait qu'il faut charger ou décharger les condensateurs. Cet appel de courant peut faire réduire la tension d'alimentation si cette dernière n'est pas très puissante.

En régime stationnaire

Lorsque la tension d'entrée (INPUT) est constante et que le condensateur est chargé (ou déchargé), les grilles des MOSFETs ne sont parcourus par aucun courant

Le modèle réel

L'alimentation étant rarement en liaison directe avec le circuit logique (piste de circuit imprimé, fils d'alimentation), on constate l'apparition d'une inductance parasite entre la borne d'alimentation du circuit et l'alimentation en elle-même. Le modèle équivalent final du circuit peut être modélisé par la figure suivante.

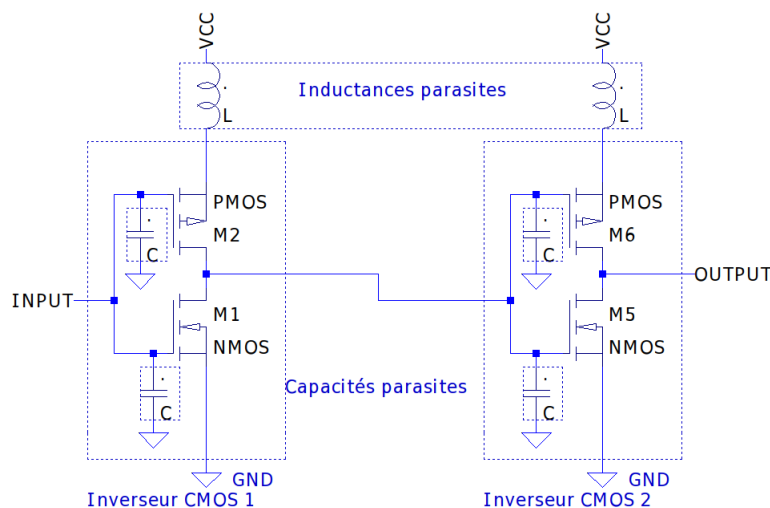


FIGURE 5.7 – Modèle équivalent du circuit

L'inductance parasite s'oppose aux variations de tensions.

Ainsi, lors des phases de commutation (régime transitoire), une partie de la tension d'alimentation va aux bornes des inductances parasites. De ce fait, le circuit est de moins en moins efficace à mesure que l'on augmente la fréquence du signal d'entrée. Pour pallier à ce problème, nous allons ajouter un condensateur de découplage.

Mise en oeuvre du condensateur de découplage

Le condensateur de découplage doit être placé au plus près du circuit à alimenter. Une de ses bornes est reliée à la broche d'alimentation du circuit et la seconde à la masse.

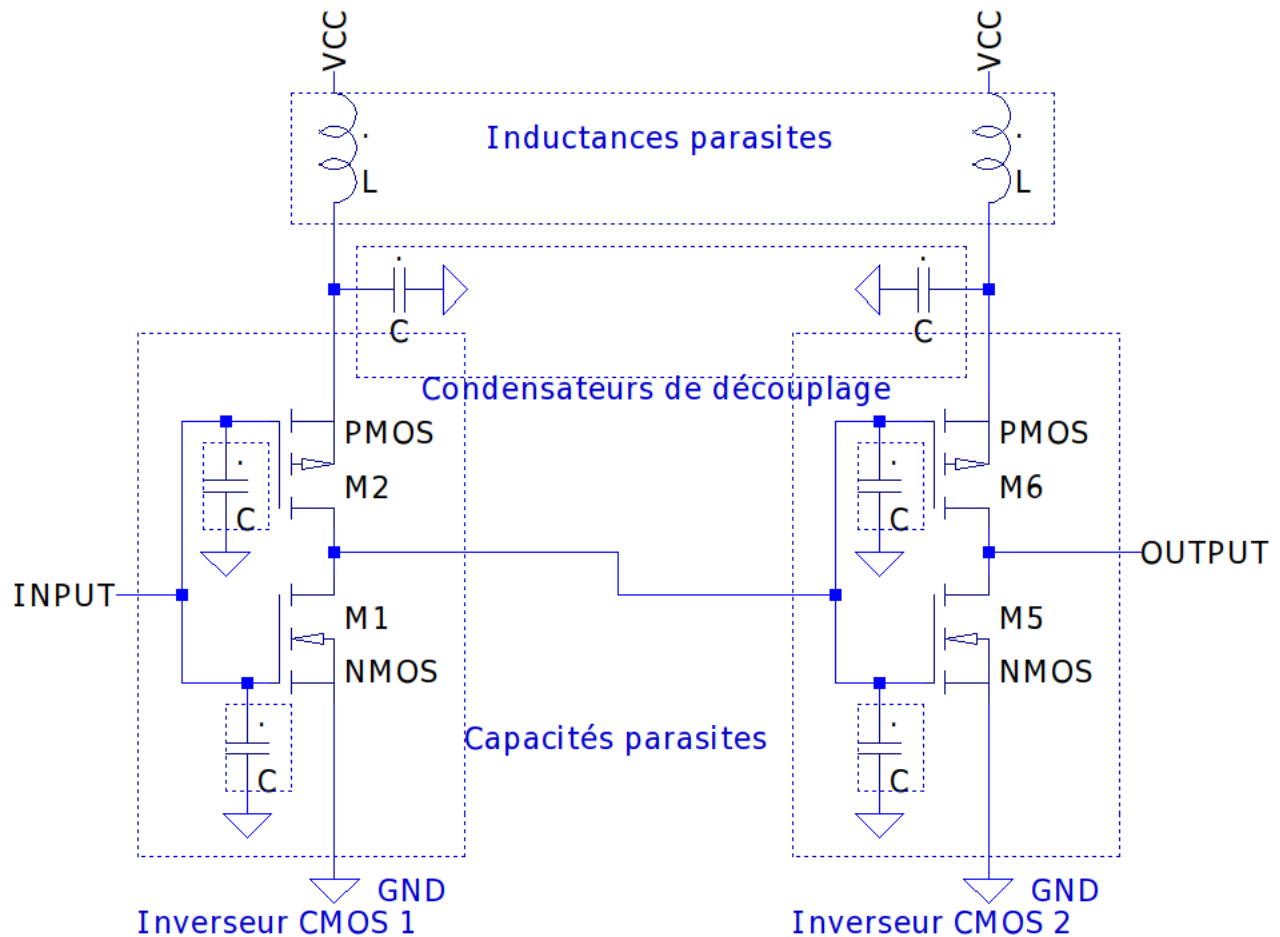


FIGURE 5.8 – Le placement du condensateur de découplage

Lorsque le circuit en aval va demander du courant lors des commutations, le condensateur, qui va se charger pendant le régime permanent du circuit, va pouvoir fournir un apport de courant qui évitera à la tension d'alimentation de s'écrouler. Le circuit sera plus efficace et les temps de communication seront plus faibles.

D'un point de vue des filtres, ces condensateurs peuvent être considérés comme des filtres passe-bas. En effet, la tension d'alimentation qui varie est vue comme un signal haute fréquence. Il faut donc éviter l'oscillation haute fréquence.

5.3 Les condensateurs de liaison

Présentation

Une des propriétés des condensateurs est de bloquer les composantes continues. Nous allons aborder un exemple où le condensateur va permettre de se passer d'une alimentation symétrique.

Objectif

On souhaite amplifier la composante alternative d'un signal d'amplitude 1V, de tension moyenne 0.5V et de fréquence 1kHz avec un AOP alimenté en 0-12V (Alimentation asymétrique).

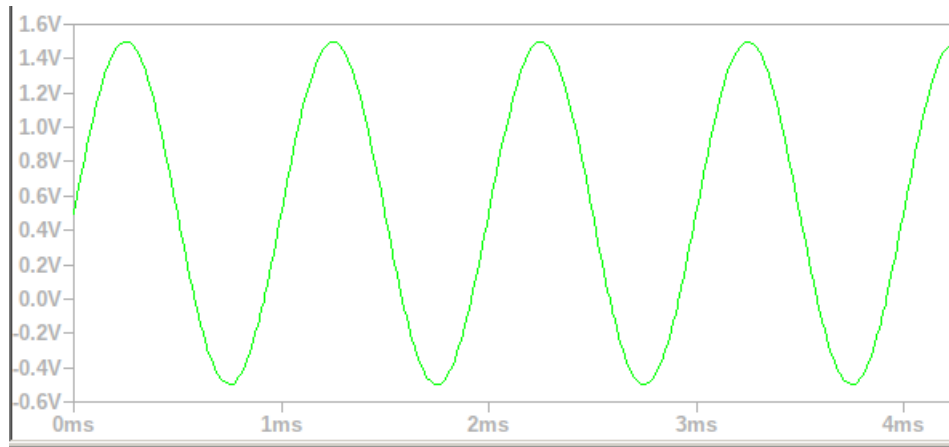


FIGURE 5.9 – Le signal à amplifier

Mise en oeuvre

Tout d'abord, on va chercher à recentrer le signal pour avoir une composante alternative toujours positive. Pour cela, on utilise le circuit suivant.

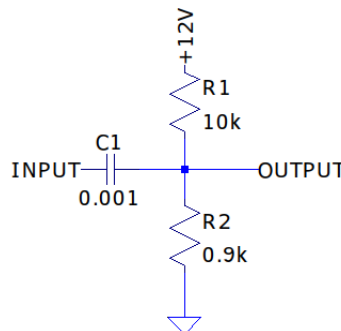


FIGURE 5.10 – Montage pour recentrer la tension

La fréquence de coupure valant $\frac{1}{2\pi RC}$ avec $R < 10k\Omega$, il faudra prendre un condensateur tel que la fréquence de coupure soit inférieure à la fréquence du signal d'entrée. Un condensateur de 1 mF conviendra donc pour cette application.

En utilisant le théorème de superposition au point OUTPUT, on en déduit que une résistance de $10k\Omega$ et une résistance de 900Ω , on obtient la tension OUTPUT suivante.

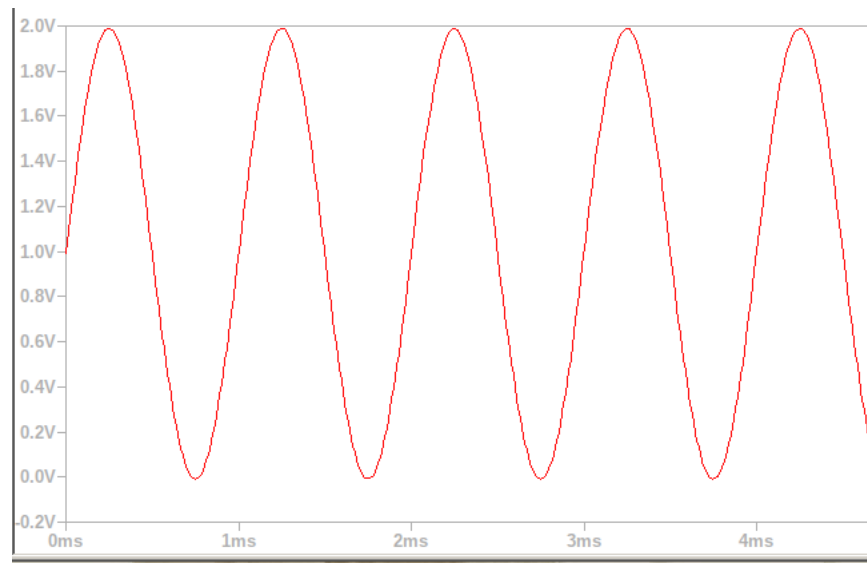


FIGURE 5.11 – Tension positive

Il nous reste à amplifier la tension OUTPUT (ici par 2). Nous obtenons donc une tension sinusoïdale d'amplitude 2V.

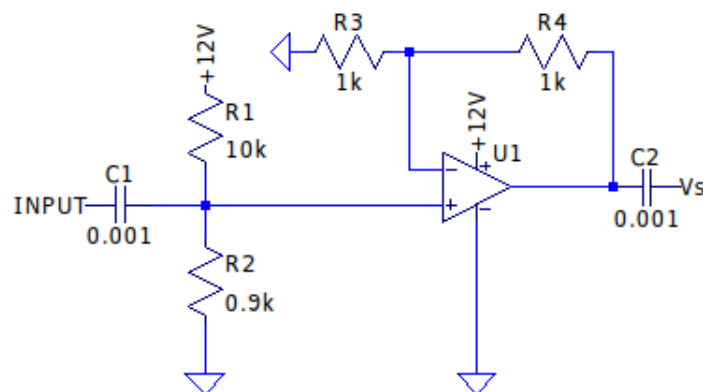


FIGURE 5.12 – Schéma avec les deux condensateurs de liaison

Pour extraire la composante alternative, il suffit de mettre en sortie un condensateur qui va

recentrer le signal en 0V. Le condensateur sera de 1mF (même fréquence).
Nous obtenons finalement un signal de sortie avec un gain de 2 de la composante alternative d'entrée.

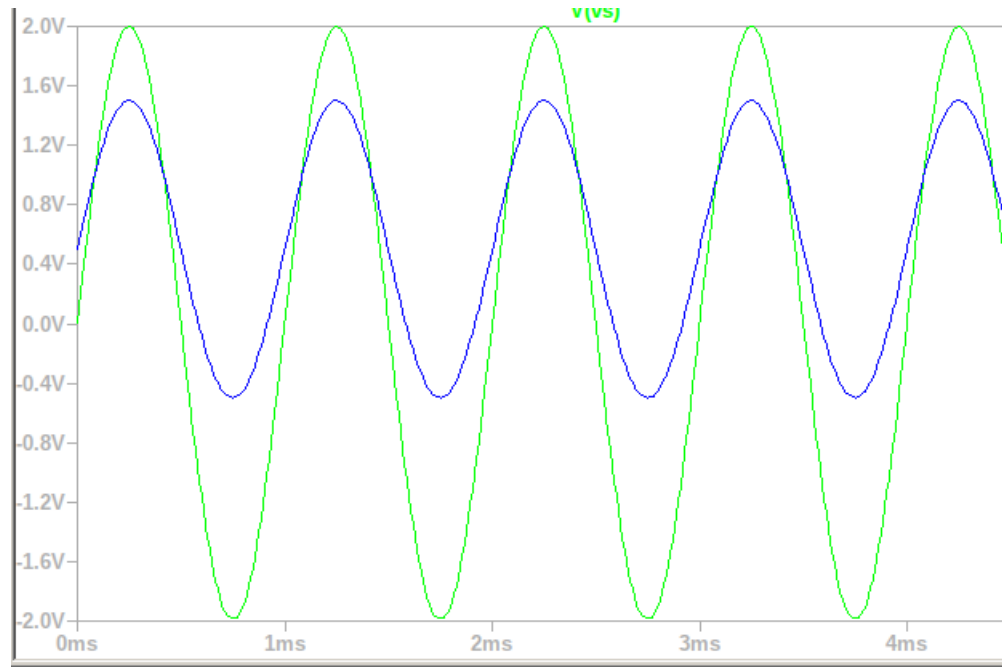


FIGURE 5.13 – La tension de sortie

Au final, les deux condensateurs permettent à des portions de circuits de communiquer entre elles avec des niveaux de tension différents. Ces condensateurs sont appelés **condensateurs de liaison ou de couplage**

Section 6

Avenir du condensateur

Nous avons donc vu dans les parties précédentes que le condensateur est un élément essentielles à tout circuits électronique. Nous nous sommes donc posé la question suivante : Le condensateur sera-t-il amené à disparaître dans le futur pour être remplacé par un autre composant ? Il est évident que l'importance du condensateur est telle qu'il paraît irremplaçable. En effet, on ne peut se passer d'un telle composant dans un circuit électronique. Cependant, depuis quelques années un composant est utilisé de plus en plus : le super-condensateur.

6.1 Les supercondensateurs

Les supercondensateurs sont une sous-catégorie des condensateurs électrolytiques. Ils permettent de stocker une très grande quantité d'énergie grâce à une combinaison de 2 technologies de capacité. La capacité double couche que l'on retrouve dans les condensateurs électrolytiques et la pseudo-capacité. L'une est électrostatique et l'autre électrochimique.

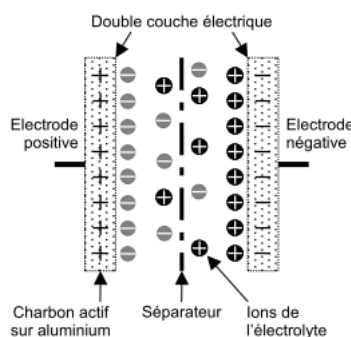


FIGURE 6.1 – La description de l'image

Cela leur permet de combiner les caractéristiques des condensateurs ordinaires et celles des batteries. En effet grâce à ces technologies ils peuvent atteindre des capacités allant jusqu'à 12 000F, tout en ayant des temps de charge et décharge très rapide comparable aux condensateurs ordinaires. Toutes ces caractéristiques en feraient de bons candidats pour remplacer nos batteries au

lithium. Mais c'était sans compter leurs défauts. Ils sont en effet très chers à produire, possèdent une faible énergie spécifique (Rapport en Wh/kg entre l'énergie électrique fournie par unité de temps et la masse du convertisseur) et une tension de décharge linéaire. Cela entraînerait de grandes chutes de tension d'alimentation très rapidement. Le supercondensateur sera probablement l'avenir pour le stockage d'électricités, qui à terme remplacera sûrement les batteries des véhicules électriques. Cependant, il est trop puissant pour le mettre dans la majorité des circuits électroniques. La science progresse énormément dans ce domaine.

Bibliographie

- [1] *Les condensateurs de découplage*
Vidéos : Pourquoi et comment découpler les circuits logiques ?
Auteur : Philippe Demerliac
<https://www.youtube.com/watch?v=IIrbXNo04hs>
- [2] *Les condensateurs de découplage*
Site WEB : L'utilité des condensateurs de découplage
<https://f4hok.wordpress.com/2017/10/06/lutilite-des-condensateurs-de-decouplage/>
- [3] *Les condensateurs de filtrage*
Site WEB : Calculs du condensateur de filtrage
<http://electronique71.com/calculs-du-condensateur-de-filtrage/>
- [4] *Les types de condensateur*
Site WEB : Classification des Condensateurs
https://www.electronique-et-informatique.fr/Les_composants_electroniques2.php/
- [5] *Les types de condensateur*
Site WEB : Types de condensateurs et performances
<https://fr.farnell.com/capacitor-types-and-performance/>
- [6] *Les condensateurs à film plastique*
Site WEB : Les condensateurs à film plastique
<https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM24/RM24G/Rm24G22.html/>
- [7] *Les types de condensateur*
Site WEB : Condensateur
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Condensateur/>
- [8] *Les supercondensateurs*
Site WEB : les-smartgrids
<https://les-smartgrids.fr/supercondensateurs-lithium-ion-avenir-stockage/>
- [9] *Le condensateur en régime continu*
Site WEB : openclassrooms
<https://openclassrooms.com/fr/courses/724810-lelectronique-de-zero/723277-le-condensateur-en-regime-continu>

- [10] *Les supercondensateurs*
Site WEB : wikipédia
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Supercondensateur>
- [11] *fonctionnement condensateur*
Vidéos : Condensateur principe de fonctionnement
Auteur : Nicolas Boulant
<https://www.youtube.com/watch?v=2zZV-urzJ28>