

Electrostatique - Condensateur

Notions / Grandeurs / Unités

Basé sur le FET, Electrotechnique, Fascicule 2, ISBN 2-940025-16-9, Suisse

Electricité statique

- Observations:
 - Un peigne sec passé plusieurs fois dans les cheveux les attire, de même il est capable d'attirer de petits morceaux de papier.
 - Ces morceaux de papier sont soumis à des forces dues à l'effet électrostatique.
- Loi des charges (démontrée empiriquement)
 - deux charges de même nom se repoussent;
 - deux charges de noms contraires s'attirent.
- Applications:
 - On utilise l'effet électrostatique dans les photocopieurs, les traitements de peinture, les filtres à poussière et fumée, la fabrication du papier de verre, etc.

Dangers de l'électricité statique

- Dans de nombreux processus de travail, des matières solides, liquides, des vapeurs et des gaz peuvent se charger électrostatiquement lors de séparations et de frottement. Ces charges sont la cause de multiples perturbations et peuvent provoquer des incendies et des explosions par des étincelles de décharge.
- Les tensions qui apparaissent sont souvent élevées et de faibles quantités d'énergie suffisent à enflammer des mélanges de gaz avec de l'air.

Dangers de l'électricité statique

- Les précautions à prendre pour éviter les risques d'incendie, d'explosion et les détériorations d'appareils avec circuits électroniques sont:
 - élimination des charges électriques par une mise à la terre des parties conductrices et peu conductrices de l'installation;
 - élimination des charges électriques de personnes par liaison conductrice entre elles et la terre;
 - maintien d'une humidité relative de l'air d'environ 70%;
 - élévation de la conductivité de matière solide ou liquide non conductrice;
 - ionisation de l'air.

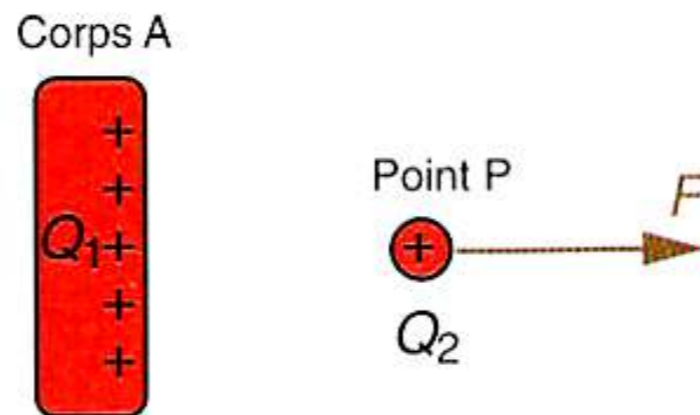
Dangers de l'électricité statique

- Les personnes peuvent être chargées électrostatiquement:
 - lors de la marche avec des chaussures à semelles isolantes ou lors d'autres mouvements;
 - par frottement de vêtements ou sous-vêtements en laine et fibres synthétiques;
 - par influence lors de travaux sur des dispositifs chargés électrostatiquement.

Activités	Tensions avec :	
	10 à 20 % s'humidité relative	65 à 90 % s'humidité relative
Marcher sur une moquette	35'000 V	1'500 V
Marcher sur un sol en PVC	12'000 V	250 V
Manipuler un porte-document en plastique	7'000 V	600 V

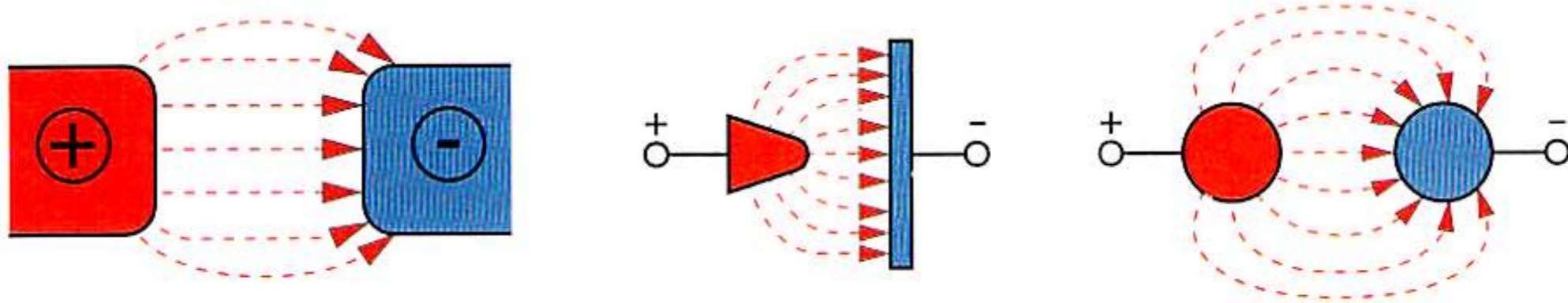
Champ électrique

- Deux charges électriques s'attirent ou se repoussent. Si théoriquement l'effet s'exerce jusqu'à l'infini, pratiquement les forces d'attraction ou de répulsion diminuent rapidement quand la distance entre les charges augmente.
- A un endroit de l'espace existe un champ électrique lorsqu'une charge Q_2 placée à cet endroit est repoussée ou attirée par une charge Q_1 placée au voisinage. L'intensité de la force F dépend de la charge de Q_1 et Q_2 . L'intensité de la force est une mesure de l'intensité du champ électrique au point P.



Champ électrique

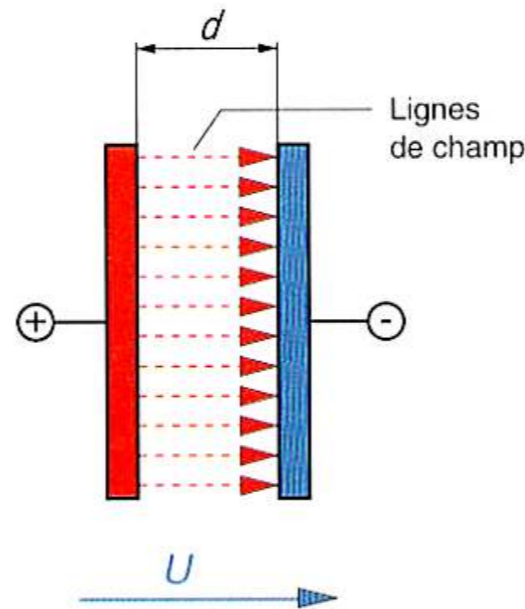
- Les lignes du champ électrique sont des lignes qui matérialisent le trajet que suivrait une charge positive placée dans l'espace du champ électrique. Elles sortent à angle droit du corps électrisé positivement et pénètrent à angle droit dans le corps électrisé négativement.
- Elles sont donc orientées du plus au moins.



Exemples de lignes de champ entre différentes électrodes

Intensité du champ électrique

- Un champ électrique uniforme peut être obtenu entre deux plans parallèles chargés.



Définition de la grandeur

- L'intensité d'un champ électrique uniforme est proportionnelle à la tension entre les deux plaques et inversement proportionnelle à la distance qui les sépare.

$$E = \frac{U}{d}$$

E: intensité du champ électrique $\left[\frac{V}{m}\right]$
U: tension [V]
d: distance entre les plaques [m]

Rigidité diélectrique

- Pour une tension constante, l'intensité d'un champ électrique est d'autant plus élevée que la distance entre les plaques est petite.
- On ne peut pas rapprocher les électrodes à volonté sans risquer le claquage, c'est-à-dire la perforation de l'isolant. L'isolant placé entre les deux plaques est appelé diélectrique.

Définition de la grandeur

- L'intensité du champ électrique capable de provoquer une décharge à travers le diélectrique est appelée rigidité diélectrique (champ électrique disruptif).
- La rigidité diélectrique s'exprime plus facilement en kilovolts par centimètre [kV/cm].

$$E_d = \frac{U}{d}$$

E_d : rigidité diélectrique $\left[\frac{V}{m}\right]$ ou $\left[\frac{kV}{cm}\right]$

U : tension provoquant le claquage [V] ou [kV]

d : épaisseur du diélectrique [m] ou [cm]

Rigidité diélectrique

Constantes physiques

- La rubrique “constantes physiques” d’un formulaire technique donne les renseignements suivants:

Matières	Rigidité diélectrique E_d en $\frac{kV}{cm}$
Air	30
Papier paraffiné	300
Verre	75 à 300
Mica	600 à 750

$$E_d = \frac{U}{d}$$

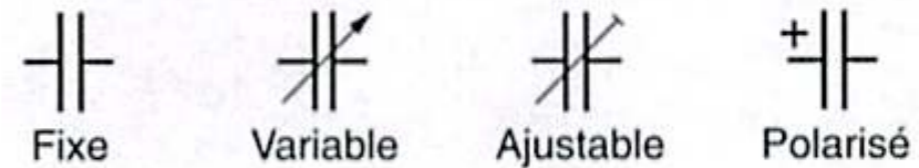
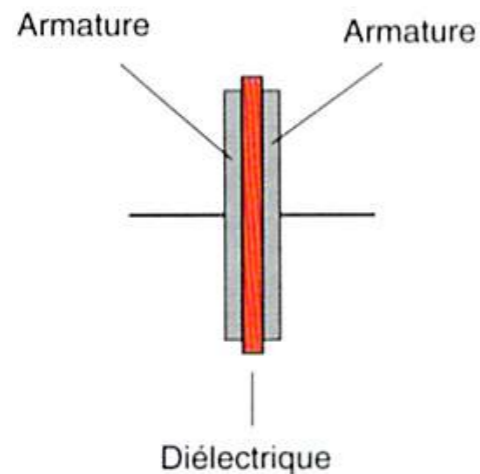
E_d : rigidité diélectrique $[\frac{V}{m}]$ ou $[\frac{kV}{cm}]$

U : tension provoquant le claquage $[V]$ ou $[kV]$

d : épaisseur du diélectrique $[m]$ ou $[cm]$

Condensateur

- Un condensateur est un élément capable d'accumuler une quantité d'électricité ou charge électrique et de la restituer.
- Un condensateur est constitué par deux plaques métalliques appelées armatures, séparées par un isolant ou diélectrique.



Symboles du condensateur

Condensateur

- Par exemple, on trouve:
 - des condensateurs au papier ou au papier métallisé;
 - des condensateurs au mica;
 - des condensateurs à air;
 - des condensateurs au polyester;
 - des condensateurs céramiques;
 - des condensateurs électrolytiques.
- Les armatures sont constituées d'aluminium, d'aluminium pulvérisé, d'argent, de cuivre, d'or, etc.



<http://taouile.chez.com/cond.html>

Capacité d'un condensateur

Définition de la grandeur

- La capacité d'un condensateur représente la quantité d'électricité dont il peut se charger sous une tension donnée.

Définition de l'unité

- Le farad est la capacité d'un condensateur entre les armatures duquel apparaît une tension de un volt, lors qu'il est chargé d'une quantité d'électricité égale à un coulomb.

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

C : capacité du condensateur [F]

Q : charge du condensateur [C]

U : tension [V]

Capacité d'un condensateur

- La capacité d'un condensateur dépend uniquement de sa construction.
- La capacité d'un condensateur est donc:
 - proportionnelle à la surface des armatures;
 - inversement proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique ;
 - dépendante de la nature du diélectrique.

$$C = \frac{A}{d} * \epsilon_r * \epsilon_0$$

C : capacité [F]

A : surface d'une des armatures [m^2]

d : épaisseur du diélectrique [m]

ϵ_r : permittivité relative [-]

ϵ_0 : permittivité du vide [$\frac{F}{m}$] ($\epsilon_0 = 8.86 * 10^{-12} \frac{F}{m}$)

Rigidité diélectrique

Chaque diélectrique multiplie la capacité d'un condensateur par un facteur appelé constante diélectrique ou permittivité relative ϵ_r (epsilon). Cette constante n'a pas d'unité.

Constantes physiques

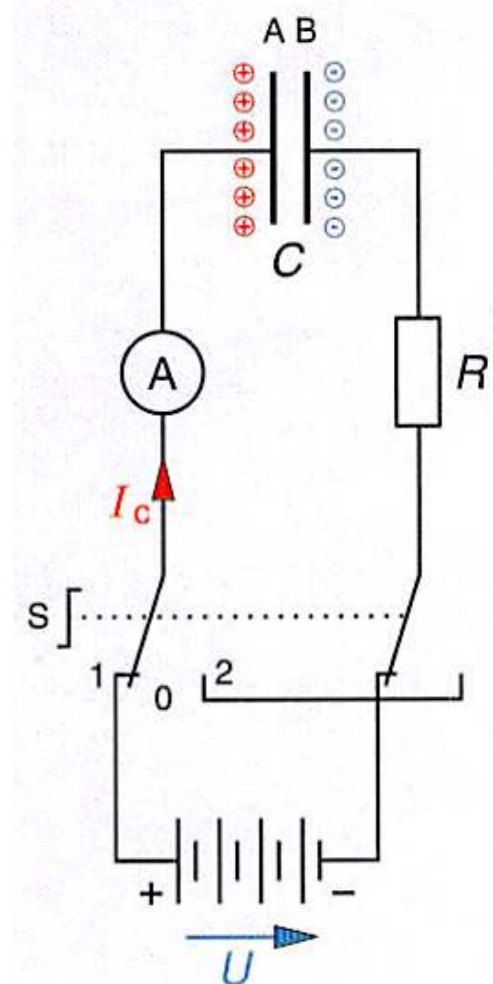
- La rubrique “constantes physiques” d'un formulaire technique donne les renseignements suivants:

Diélectriques	Permittivité ϵ_r
Air	1
Papier paraffiné	2 à 2.5
Verre	4 à 6
Mica	4 à 8

Charge et décharge d'un condensateur

Charge

- Lorsque le commutateur S est en position 1, l'armature A est reliée au pôle positif et B au pôle négatif. Bien que le circuit ne soit pas fermé, car interrompu par le diélectrique, l'ampèremètre indique un courant (déplacement d'électrons).
- Les électrons en excès au pôle négatif du générateur se déplacent sur l'armature B , tandis que le générateur pompe une quantité égale d'électrons sur l'armature A .
- Une charge négative $-Q$ (quantité d'électrons) est apparue sur B et une charge $+Q$ sur A .
- Au bout d'un certain temps, l'ampèremètre ne dévie plus car l'intensité du courant est nulle. Le condensateur est chargé.
- Un condensateur de très bonne qualité peut rester chargé très longtemps (plus de 10 ans).



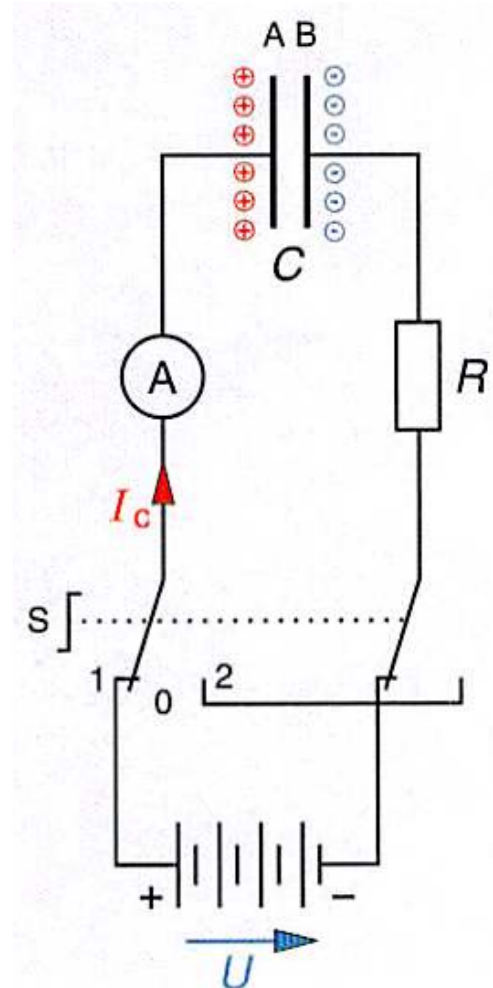
Charge et décharge d'un condensateur

Décharge

- Le commutateur S est mis en position 2. L'ampèremètre dévie à nouveau mais dans le sens contraire au courant de charge.
- Les armatures se trouvent réunies par les conducteurs. Les électrons en excès sur B circulent vers A jusqu'à l'équilibre. Le condensateur est déchargé.

Remarques

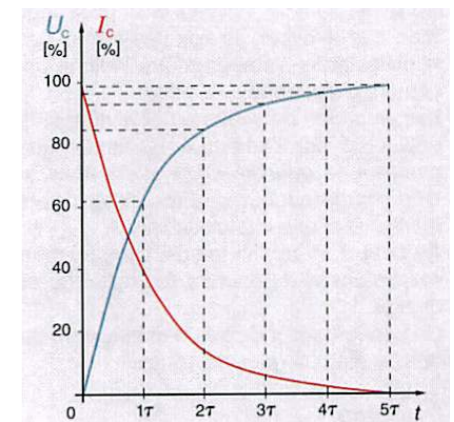
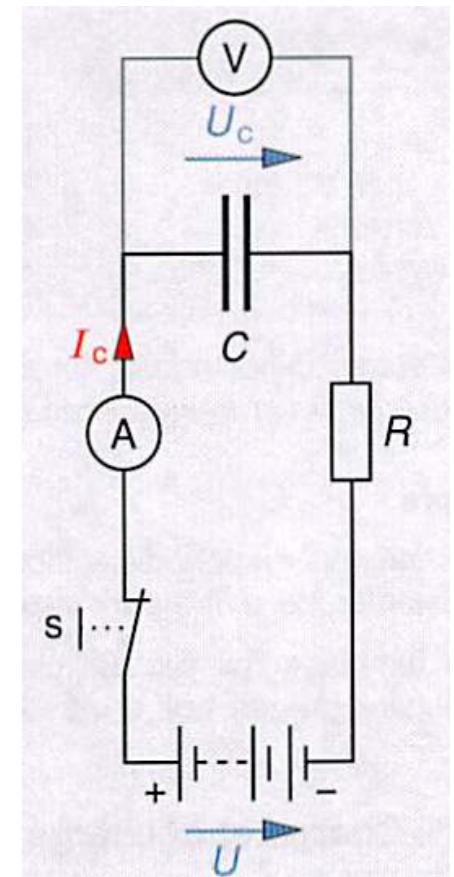
- A la charge, un condensateur se comporte comme un récepteur.
- A la décharge, il se comporte comme un générateur.
- Avant de saisir un condensateur qui était en service, il est indispensable de le décharger (par exemple au travers d'une résistance).



Charge et décharge d'un condensateur

Charge - Constante de temps d'un circuit capacitif

- Un condensateur est chargé avec une tension continue à travers une résistance. On ferme l'interrupteur S et on relève le courant de charge $I_c = f(t)$ et la tension aux bornes du condensateur $U_c = f(t)$.
- Dans le diagramme $U_c = f(t)$, on voit que la tension aux bornes du condensateur augmente en fonction du temps de manière exponentielle pour atteindre sa valeur finale après pratiquement cinq constantes de temps.
- Le courant de charge, très élevé au début, diminue lorsque la tension augmente.
- La constante de temps τ de charge d'un condensateur s'exprime en secondes [s] et est le produit de R (en ohms [Ω]) et de C (en farads [F]). Une fois chargé, le condensateur bloque le courant continu.



Charge et décharge d'un condensateur

Charge d'un condensateur sous tension constante

- A la fermeture de l'interrupteur S, courant et tension s'établissent selon les relations suivantes:

$$i = I * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

i : valeur instantanée du courant [A]

I : valeur initiale du courant [A]

e : base des logarithmes naturels ($e \approx 2.718$)

t : temps [s]

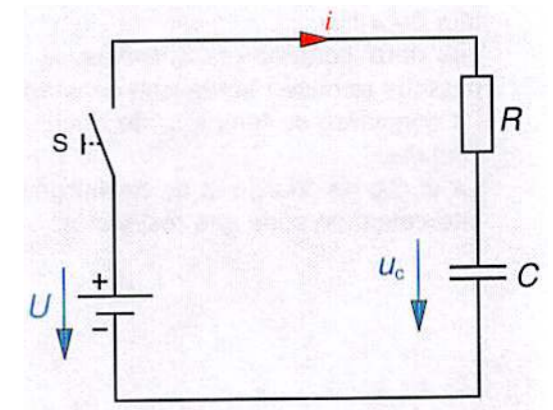
τ : constante de temps du circuit [s]

u_c : valeur instantanée de la tension [V]

U : tension de la source [V]

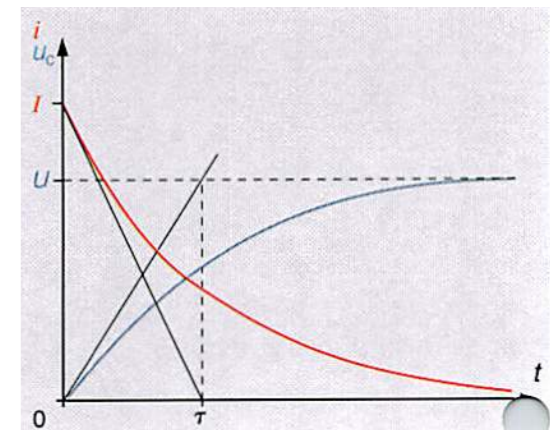
R : résistance de réglage [Ω]

C : capacité du condensateur [F]



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

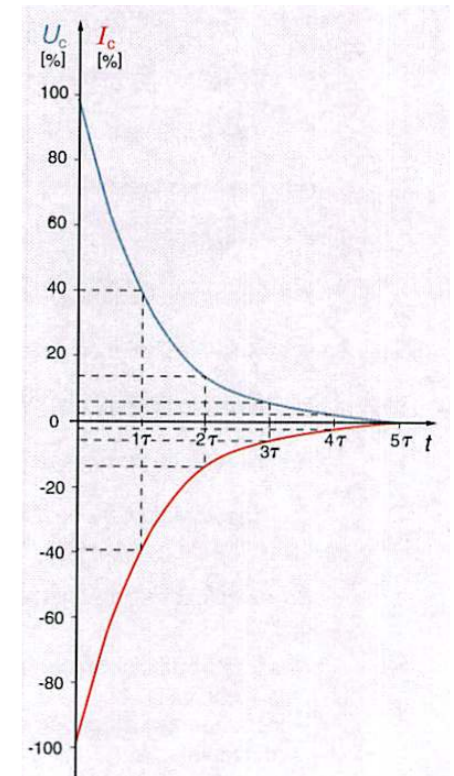
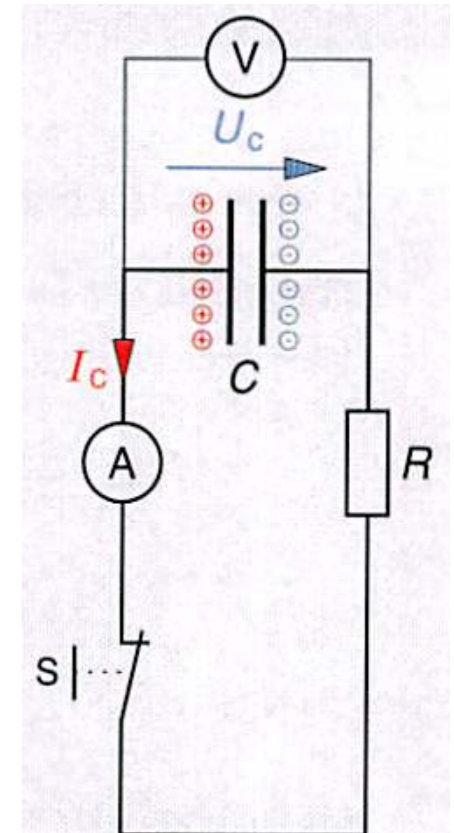
$$\tau = R * C$$



Charge et décharge d'un condensateur

Décharge - Constante de temps d'un circuit capacitif

- Le condensateur précédent est déchargé à travers la même résistance.
- On ferme l'interrupteur S et on relève le courant de décharge $I_c = f(t)$ et la tension aux bornes du condensateur $U_c = f(t)$.
- Les deux courbes ont la même allure. La décharge est presque terminée après cinq constantes de temps.
- La constante de temps τ de décharge est le produit de R et de C.
- La durée de charge et de décharge peut être choisie en intercalant en série une résistance.



Charge et décharge d'un condensateur

Décharge d'un condensateur

- A la fermeture de l'interrupteur S, le courant de décharge s'établit dans le circuit selon la relations suivante:

$$i = I * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_c = U_c * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

i : valeur instantanée du courant [A]

I : valeur finale du courant [A]

e : base des logarithmes naturels ($e \approx 2.718$)

t : temps [s]

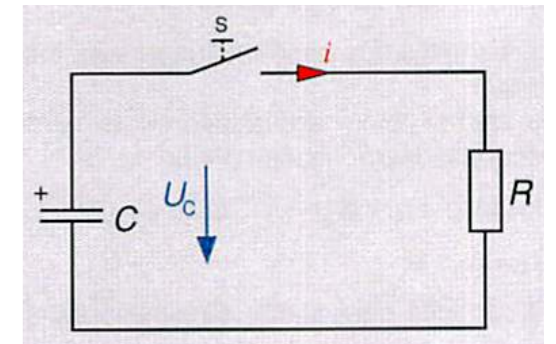
τ : constante de temps du circuit [s]

U_c : tension maximale de charge du condensateur [V]

U : tension de la source [V]

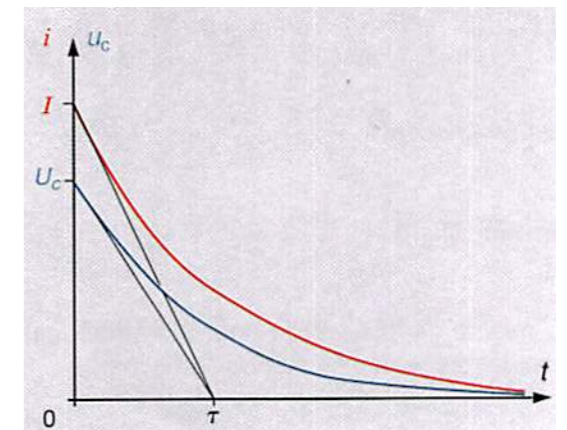
R : résistance de réglage [Ω]

C : capacité du condensateur [F]



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

$$\tau = R * C$$



Couplage des condensateurs

Couplage parallèle

- En parallèle, les condensateurs sont tous sous la même tension.
- La charge totale accumulée est la somme des charges accumulées par chacun d'eux.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = C * U$$

$$Q_1 = C_1 * U$$

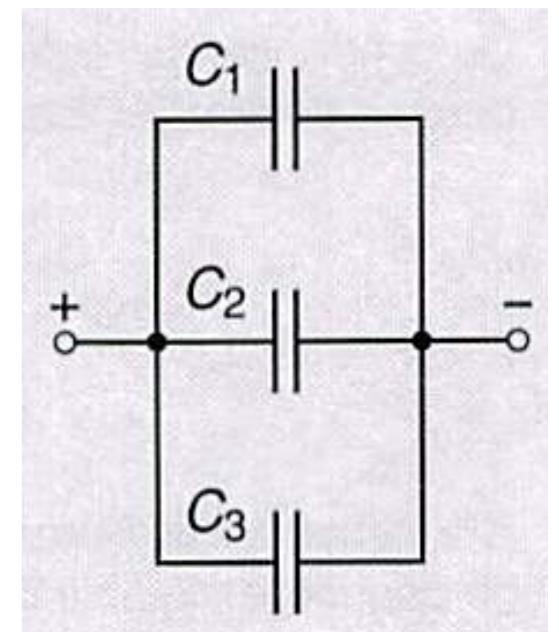
$$Q_2 = C_2 * U$$

$$Q_3 = C_3 * U$$

- La capacité équivalente de plusieurs capacités partielles montées en parallèle est égale à la somme de ces capacités.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

C : capacité du condensateur [F]



Couplage des condensateurs

Couplage série

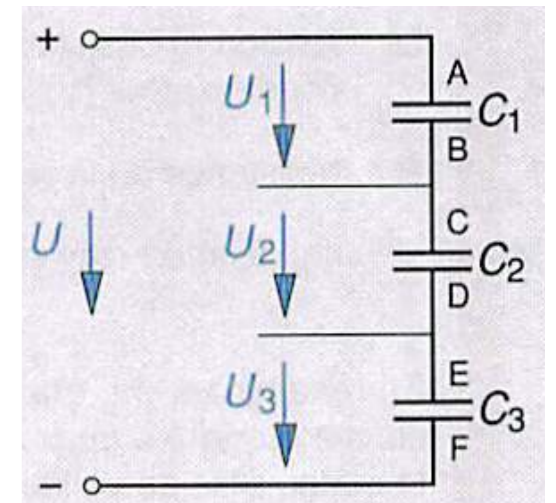
- L'armature A du condensateur C_1 prend la charge $+Q$ et l'armature F du condensateur C_3 prend la charge $-Q$. Chaque condensateur a donc accumulé la même charge Q .

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} \quad U_2 = \frac{Q}{C_2} \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}$$

- L'inverse de la capacité équivalente est égal à la somme des inverses des capacités partielles.
- La capacité équivalente de deux ou plusieurs condensateurs montés en série est toujours plus petite que la plus petite des capacités partielles.



$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$

C : capacité du condensateur [F]