



8.1 Electricité statique

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.

8.1.1 Charges positives et charges négatives

Un bâton de plexiglas sec est frotté avec un chiffon. Une boule métallique est d'abord attirée puis après contact, elle est repoussée.

Approchons maintenant du pendule le chiffon qui a servi à frotter le bâton. La boule est attirée.

Les forces qui agissent sur le pendule sont de sens contraire.

Le plexiglas et le chiffon portent des charges électriques. Le plexiglas frotté acquiert des charges négatives (–).

Le chiffon se charge positivement (+) (perd des charges négatives).

Frottons un bâton de verre avec un chiffon de drap sec, puis approchons-le du pendule.

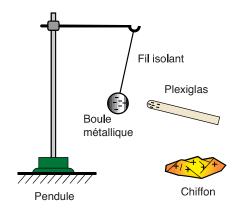
Ce dernier est attiré. Le verre frotté se comporte comme le chiffon.

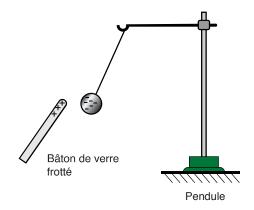
Le verre frotté acquiert donc des charges positives (+). Les charges mises en jeu dans ces phénomènes sont appelées charges électrostatiques.

Loi des charges

L'expérience montre que :

- deux charges de même nom se repoussent;
- deux charges de noms contraires s'attirent.







8.1.2 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 frottements. 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.

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.

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.

Valeurs de tensions produites par l'homme

	Tensions avec:		
Activités	10 à 20% d'humidité relative	65 à 90% d'humidité relative	
Marcher sur une moquette	35000 V	1500 V	
Marcher sur un sol en PVC	12000 V	250 V	
Manipuler un porte-document en plastique	7000 V	600 V	

8.1.3 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.





8.2 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.

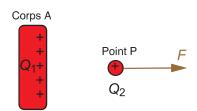
Un champ électrique existe lorsqu'une charge Q_2 placée à cet endroit est repoussée ou attirée par une charge Q_1 placée au voisinage.

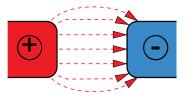
L'intensité de la force F dépend de la charge de Q_1 et Q_2 . L'intensité de la force est une mesure de l'intensité du champ électrique au point P.

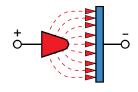
Les lignes du champ électrique sont des lignes qui matérialisent le trajet que suivrait une charge positive placée dans l'espace du champ électrique.

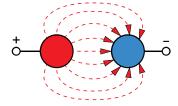
Elles sortent à angle droit du corps électrisé positivement et pénètrent à angle droit dans le corps électrisé négativement.

Elles sont donc orientées du plus (+) au moins (-).





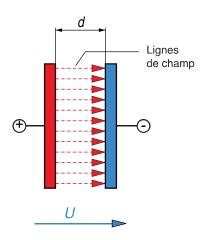




Exemples de lignes de champ entre différentes électrodes

8.2.1 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.

Formule

E intensité du champ électrique $\left[\frac{V}{m}\right]$

U tension [V]

d distance entre les plaques [m]

8.2.2 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).

En pratique, la rigidité diélectrique s'exprime en kilovolts par centimètre [kV/cm].

Formule

 $E_{\rm d}$ rigidité diélectrique [$\frac{V}{m}$] ou [$\frac{kV}{cm}$]

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

d épaisseur du diélectrique [m] ou [cm]

Constantes physiques

Matières	Rigidité diélectrique E_d en $\left[\frac{kV}{cm}\right]$
Air sec	30
Air humide	10
Papier paraffiné	300
Verre	75 à 300
Mica	600 à 750

Pour d'autres matières, on consultera un formulaire technique sous la rubrique « constantes physiques ».

L'intensité d'un champ électrique uniforme E s'exprime en volts par mètre $\left[\frac{V}{m}\right]$

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

La rigidité diélectrique $E_{\rm d}$ s'exprime en volts par mètre $[\frac{V}{m}]$

$$E_{\rm d} = \frac{U}{d}$$





8.3 Condensateur

8.3.1 Généralités

Un condensateur est un élément capable d'accumuler une quantité d'électricité ou charge électrique et de la restituer

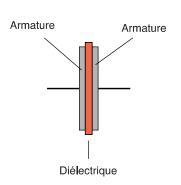
Un condensateur est constitué de deux plaques métalliques appelées armatures, séparées par un isolant ou diélectrique.

Les condensateurs se différencient par la matière qui constitue leur diélectrique.

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.





Symboles du condensateur

8.3.2 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, lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité égale à un coulomb.

La capacité d'un condensateur *C* s'exprime en farads [F]

Coulomb Charles de, 1736-1806.

Physicien français, connu pour ses travaux sur l'électricité et le magnétisme, son invention du pendule de torsion et ses travaux sur les frottements. Il établit les bases expérimentales et théoriques du magnétisme et de l'électrostatique. Il développa la théorie de l'électrisation superficielle des conducteurs, énonça l'effet d'écran produit par des conducteurs creux et introduisit la notion de moment magnétique. On a donné son nom à l'unité de la quantité d'électricité.





Formule

- C capacité du condensateur [F]
- Q charge du condensateur [C]
- U tension [V]

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

Multiples et sous-multiples

Le farad est une unité très grande. On utilise ses sousmultiples.

microfarad : 1 μ F = 0,000001 F = 1 · 10 ⁻⁶ F = 1000 nF = 1000000 pF nanofarad : 1 nF = 0,000000001 F = 1 · 10 ⁻⁹ F = 1000 pF = 0,001 μ F picofarad : 1 pF = 0,000000000001 F = 1 · 10 ⁻¹² F = 0,001 nF = 0,000001 μ F

Exemple

Quelle est la capacité d'un condensateur qui accumule $108~\mu C$ sous une tension de 18~V ?

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{108 \cdot 10^{-6}}{18} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 6 \,\mu\text{F}$$

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.

Formules

- C capacité [F]
- A surface d'une des armatures [m²]
- d épaisseur du diélectrique [m]
- ε_r permittivité relative [–]
- ε_0 permittivité du vide ($\varepsilon_0 = 8.86 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$)
- U tension [V]
- W énergie [J]

Chaque diélectrique multiplie la capacité d'un condensateur par un facteur appelé constante diélectrique ou permittivité relative \mathcal{E}_r (epsilon). Cette constante n'a pas d'unité.

$$C = \frac{A}{d} \cdot \mathcal{E}_{r} \cdot \mathcal{E}_{0}$$

$$[F] = \left[\frac{m^2}{m}\right] \cdot \left[\frac{F}{m}\right]$$

$$W = \frac{1}{2} CU^2$$





Constantes physiques

Diélectriques	Permittivité $arepsilon_{r}$
Air	1
Papier paraffiné	2 à 2,5
Verre	4 à 6
Mica	4 à 8

Pour d'autres diélectriques, on consultera un formulaire technique sous la rubrique «constantes physiques».

Exemple

Ce condensateur a pour diélectrique de l'air, les armatures sont distantes de d. Il a pour capacité par exemple 2 nF.

Si l'on remplace l'air par du mica, il aura une capacité huit fois plus grande, soit $C = 8 \cdot 2 = 16$ nF.

8.3.3 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).

Décharge

Le commutateur S est mis en position 2. L'ampèremètre dévie à nouveau mais dans le sens contraire au courant de charge.

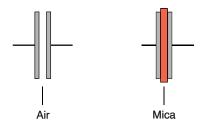
Les armatures se trouvent réunies par les conducteurs. Les électrons en excès sur B circulent vers A jusqu'à l'équilibre. Le condensateur est déchargé.

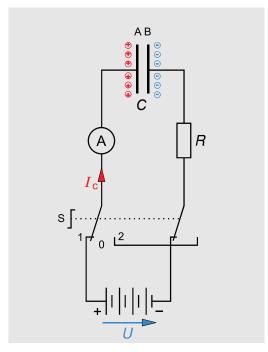
Remarques

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).









8.3.4 Constante de temps d'un circuit capacitif

Charge

Un condensateur est chargé avec une tension continue à travers une résistance.

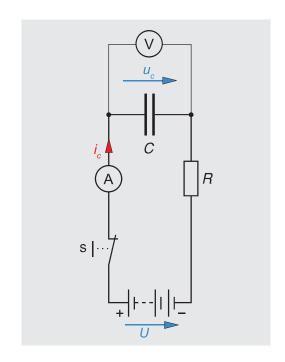
On ferme l'interrupteur S et on relève le courant de charge $i_C = f(t)$ et la tension aux bornes du condensateur $u_C = f(t)$.

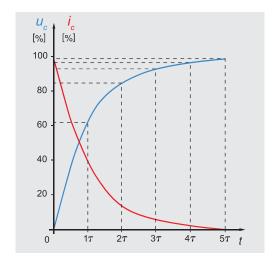
Dans le diagramme $u_{\rm C}={\rm f}(t)$, on voit que la tension aux bornes du condensateur augmente en fonction du temps de manière exponentielle pour atteindre sa valeur finale après pratiquement cinq constantes de temps.

Le courant de charge, très élevé au début, diminue lorsque la tension augmente.

La constante de temps $\ensuremath{\mathcal{T}}$ de charge d'un condensateur s'exprime en secondes [s] et est le produit de R (en ohms $[\Omega]$ et de C (en farads [F]).

Une fois chargé, le condensateur bloque le courant continu.









Décharge

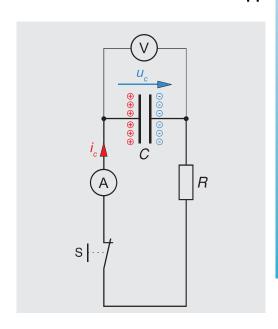
Le condensateur précédent est déchargé à travers la même résistance.

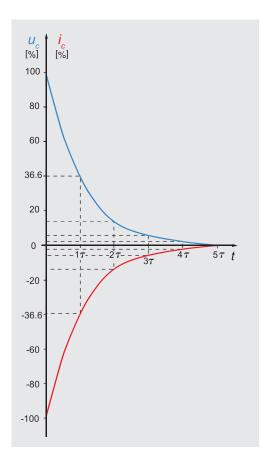
On ferme l'interrupteur S et on relève le courant de décharge $i_{\mathbb{C}} = f(t)$ et la tension aux bornes du condensateur $u_{\mathbb{C}} = f(t)$.

Les deux courbes ont la même allure. La décharge est presque terminée après cinq constantes de temps.

La constante de temps $\, au \,$ 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.







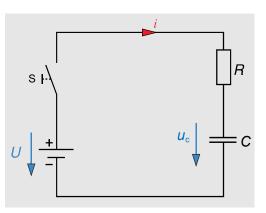
En savoir plus...



Charge et décharge d'un condensateur

Charge d'un condensateur sous tension constante

Une source de tension continue \boldsymbol{U} alimente le circuit ci-contre.



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

avec
$$I = \frac{U}{R}$$
 et $\tau = R \cdot C$

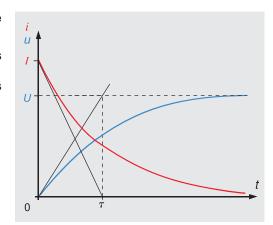
- i valeur instantanée du courant [A]
- I valeur initiale du courant [A]
- e base des logarithmes naturels (e ≈ 2,718)
- t temps [s]
- τ constante de temps du circuit [s]
- u_C valeur instantanée de la tension [V]
- U tension de la source [V]
- R résistance de réglage $[\Omega]$
- C capacité du condensateur [F]

 $u_{\rm C} = U \cdot (1 - \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}})$

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

En examinant le graphique ci-contre, on constate que:

- les courbes s'approchent des horizontales sans les toucher;
- les tangentes au départ des courbes coupent les horizontales à $t = \tau$;
- à $t = 5 \tau$, on obtient: $u = U \cdot (1 - e^{-5}) \approx 0.993 \cdot U$ $i = I \cdot e^{-5} \approx 0.00674 \cdot I$







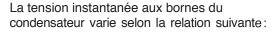


Décharge d'un condensateur

Un condensateur, chargé sous tension $U_{\rm c}$, peut se décharger à travers une résistance.

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

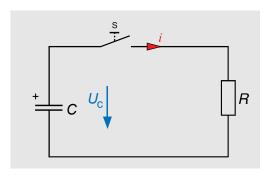
avec
$$I = \frac{U_{\rm C}}{R}$$
 et $\tau = R \cdot C$



- i valeur instantanée du courant [A]
- I valeur initiale du courant [A]
- e base des logarithmes naturels (e ≈ 2,718)
- t temps [s]
- au constante de temps du circuit [s]
- *u*_C valeur instantanée de la tension [V]
- U_C tension initiale de charge du condensateur [V]
- R résistance de réglage $[\Omega]$
- C capacité du condensateur [F]

En examinant le graphique ci-contre, on constate que les deux grandeurs présentent le même type de variation.

Les tangentes passent par le point τ .



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

$$u_{\rm C} = U_{\rm C} \cdot {\rm e}^{-\frac{t}{\tau}}$$

