plan du cours d'électrostatique

CONDENSATEURS
ÉNERGIE POTENTIELLE ÉLECTROSTATIQUE

I) CONDUCTEUR EN ÉQUILIBRE ÉLECTROSTATIQUE :

1) Conducteur en équilibre électrostatique :

définition: un conducteur est en équilibre électrostatique si, et seulement s'il n'est pas le siège d'un mouvement d'ensemble des porteurs de charges (ou : charges libres)

2) Propriétés d'un conducteur en équilibre électrostatique :

théorème : à l'intérieur d'un conducteur en équilibre électrostatique :
  1) le champ électrostatique est nul en tout point : $E(M) = 0, \forall M$
  2) le potentiel électrostatique est uniforme : V(M) = constante/M
  3) la densité volumique totale de charge (charges libres et charges fixes) ρ est nulle en tout point : $\rho(M) = 0, \forall M$

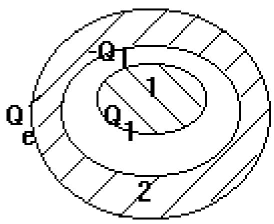
conséquence : un conducteur en équilibre électrostatique ne peut être chargé (éventuellement) qu'en surface

II) DÉFINITION D'UN CONDENSATEUR ; NOTION DE CAPACITÉ :

1) Condensateur :

définition : on appelle condensateur un ensemble de deux conducteurs dont l'un est creux et entoure complètement l'autre

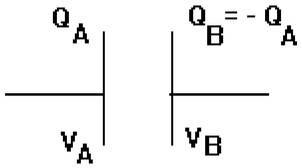
2) Capacité d'un condensateur:



si Q_1 est la charge totale de l'armature 1 (interne), si V_1 et V_2 sont les potentiels des armatures 1 et 2 respectivement, on montre que l'on a :

$$Q_1 = C.(V_1 - V_2)$$

définition: C est la capacité du condensateur (C > 0) schématiquement :



$Q_A = C.(V_A - V_B)$
$Q_B = - Q_A = C.(V_B - V_A)$

<u>III) EXEMPLES DE CALCULS DE CAPACITÉS :</u>

<u>1) Méthode générale :</u>

On calcule, en fonction de la charge d'une armature, par exemple Q_1, (souvent à l'aide du théorème de Gauss) le champ électrostatique E entre les armatures ; par intégration, on en déduit $V_1 - V_2$ en fonction de Q_1 et on identifie alors cette équation avec: $Q_1 = C.(V_1 - V_2)$, ce qui permet de déduire C

<u>2) Condensateur sphérique :</u>

théorème: la capacité d'un condensateur sphérique de rayons R_1 et R_2 ($R_2 > R_1$) est :

$$C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{R_1 . R_2}{R_2 - R_1}$$

<u>3) Condensateur cylindrique :</u>

théorème: la capacité d'un condensateur cylindrique de hauteur h et de rayons R_1 et R_2 ($R_2 > R_1$) est :

$$C = 2\pi\varepsilon_0 \frac{h}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

<u>4) Condensateur plan :</u>

théorème: la capacité d'un condensateur plan de surface S et d'épaisseur e est : $C = \varepsilon_0 \frac{S}{e}$

<u>IV) CONDENSATEURS A DIÉLECTRIQUE :</u>

introduire un diélectrique entre les armatures d'un condensateur revient à multiplier la capacité du condensateur par la permittivité diélectrique relative ε_r du diélectrique:
comme ε_r est toujours supérieur à 1, cela augmente la capacité du condensateur

définitions :

- on appelle rigidité diélectrique la valeur maximale du module du champ électrique qui peut exister à l'intérieur d'un diélectrique sans que celui-ci soit modifié ou détruit par le passage d'un courant électrique
- on appelle tension de claquage d'un condensateur la valeur maximale de la tension que l'on peut imposer entre les armatures d'un condensateur à diélectrique sans qu'il se produise une décharge (c'est-à-dire un courant électrique) entre les deux armatures

V) GROUPEMENT DE CONDENSATEURS :

1) Groupement en série :

théorème : le groupement en série de n condensateurs de capacités C_i (i = 1,.....,n) est équivalent à un condensateur unique de capacité C :

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i} \qquad \text{ou:} \qquad C = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}}$$

2) Groupement en parallèle :

théorème: le groupement en parallèle de n condensateurs de capacités C_i (i = 1,...,n) est équivalent à un condensateur unique de capacité C : $C = \sum_{i=1}^{n} C_i$

VI) ÉNERGIE POTENTIELLE ÉLECTROSTATIQUE :

1) Définition fondamentale :

définition : l'énergie potentielle d'un système, est le travail minimal (c'est-à-dire sans apport d'énergie cinétique) que l'extérieur doit fournir pour constituer le système, lorsque ce travail est défini, c'est-à-dire lorsque sa valeur est indépendante de la manière dont on constitue le système

2) Énergie potentielle électrostatique d'une charge ponctuelle placée dans un champ électrostatique :

théorème : l'énergie potentielle électrostatique d'une charge q placée dans un champ électrostatique dérivant du potentiel électrostatique V est : W = q.V (cette énergie ne prend pas en compte l'énergie nécessaire à l'installation du champ électrostatique)

3) Énergie potentielle électrostatique d'un dipôle électrique placé dans un champ électrostatique :

définition : l'énergie électrostatique d'un dipôle électrostatique placé dans un champ électrostatique (ou : énergie mutuelle champ-dipôle) est le travail minimal qu'il faut fournir au dipôle pour l'amener depuis l'infini jusqu'au point considéré (cette énergie ne prend en compte ni l'énergie nécessaire à la constitution du dipôle, ni celle nécessaire à l'installation du champ électrostatique) théorème : l'énergie électrostatique d'un dipôle électrostatique de moment dipolaire p placé dans un champ électrostatique E existe et vaut : $W = -\mathrm{p.E}$

théorème : les actions mécaniques s'exerçant sur un dipôle électrique de moment dipolaire p placé en un point M où règne un champ électrostatique sont :

la force : $F = -\mathrm{grad}(W) = -\mathrm{grad}(-\mathrm{p.E}) = +\mathrm{grad}(+\mathrm{p.E})$

le moment en M : $\Gamma(M) = \dfrac{\partial W}{\partial \alpha} u_x + \dfrac{\partial W}{\partial \beta} u_y + \dfrac{\partial W}{\partial \gamma} u_z$

<u>4) Energie potentielle électrostatique d'un ensemble de charges ponctuelles seules dans l'espace :</u>

théorème : l'énergie potentielle électrostatique d'un ensemble de n charges ponctuelles q_i seules dans l'espace est : $W = \frac{1}{2}\sum q_i V_i$, où V_i est le potentiel électrostatique (créé par toutes les charges qj autres que qi) au point A_i où se trouve la charge q_i

5) <u>Energie potentielle électrostatique d'une distribution quelconque de charge :</u>

<u>a) Cas d'une distribution volumique de charge :</u>

théorème : l'énergie d'une distribution volumique de charge définie par la densité volumique de charge ρ à l'intérieur d'un volume(V) est :

$$W = \frac{1}{2}\iiint_V \rho V d\tau$$

<u>b) Cas d'une distribution surfacique de charge :</u>

théorème : l'énergie d'une distribution surfacique de charge définie par la densité surfacique de charge σ sur une surface (S) est :

$$W = \frac{1}{2}\iint_S \sigma V dS$$

<u>c) Cas d'une distribution linéique de charge :</u>

théorème : l'énergie d'une distribution linéique de charge définie par la densité linéique de charge λ sur une courbe (C) est :

$$W = \frac{1}{2}\int_C \lambda V dl$$

4) Énergie potentielle électrostatique d'un condensateur :

étude de la charge réversible d'un condensateur :

théorème : l'énergie électrostatique d'un condensateur de capacité C, dont les armatures sont aux potentiels V_1 et V_2 respectivement et portent respectivement les charges Q_1 et ($-Q_1$), est

$$W = \frac{1}{2} Q_1 . (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} C . (V_1 - V_2)^2 = \frac{1}{2} \frac{Q_1^{\ 2}}{C}$$

5) Délocalisation de l'énergie potentielle électrostatique :

théorème: l'énergie électrostatique d'une distribution de charge définie à l'intérieur d'un volume (V) fini de l'espace peut s'écrire sous la forme : $W = \iiint_{\text{espace}} \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 d\tau$

interprétation : l'énergie d'une distribution de charge définie à l'intérieur d'un volume fini (V) de l'espace peut être considérée comme répartie **dans tout l'espace** avec une densité volumique d'énergie électrostatique:

$w_{els} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$ où E est le champ électrostatique au point considéré