Electricité Générale

Electricité 1

Livret 6

Condensateur

gagnez en compétences

Mise à jour février 2007

FC 1207 06 1.1

Centre National d'Enseignement et de Formation A Distance

Réalisation : AFPA - Le Pont de Claix

Avertissement
au lecteur

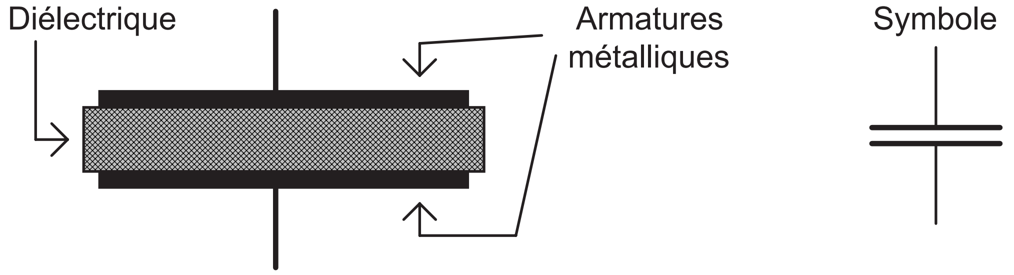
Dépôt légal juillet 1997

SOMMAIRE

1 CONSTITUTION - CAPACITE

1.1 Définition et symbole

Un condensateur est un dipôle constitué de deux conducteurs (les armatures métalliques) séparés par un isolant (le diélectrique).
Le diélectrique peut être un gaz (air), un liquide (huile), un solide (papier, mica, verre, polyester...etc.).

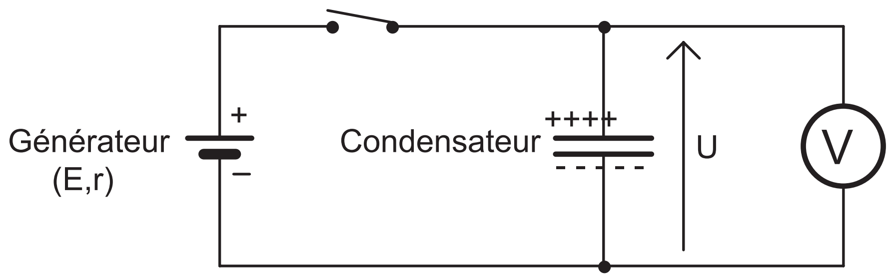


Deux plaques d'aluminium séparées par de l'air constituent un condensateur.

1.2 Caractéristique d'un condensateur

1.2.1 Expérience

Réalisons le circuit ci-dessous.



- Avant la fermeture de l'interrupteur le voltmètre indique U = 0 V.

- Fermons l'interrupteur : le voltmètre indique très rapidement U = E; on dit que le condensateur est **chargé**.

- Ouvrons l'interrupteur : le voltmètre indique encore U = E; le condensateur reste chargé.

A la mise sous tension une quantité d'électricité Q a été stockée dans le condensateur. Elle correspond à un excès d'électrons sur l'armature reliée au pôle moins et à un manque d'électrons sur l'armature reliée au pôle plus.

Si on double ou triple la tension E, la quantité d'électricité Q double ou triple. Il y a proportionnalité entre la quantité d'électricité emmagasinée Q et la tension U aux bornes du condensateur.

1.2.2 Capacité d'un condensateur

Par définition, le coefficient de proportionnalité entre Q et U décrit précédemment est appelé **capacité**. Cette grandeur, propre au condensateur, est notée C.

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

Q - s'exprime en coulombs (C);
U - s'exprime en volts (V);
C - s'exprime en coulombs par volt ou **farads** (F).

Le farad (F) est une unité trop grande pour les condensateurs usuels; on utilise ses sous-multiples :

le microfarad (µF) = 10^{-6} F
le nanofarad (nF) = 10^{-9} F
le picofarad (pF) = 10^{-12} F

Exercice d'entraînement n° 1

Les caractéristiques d'un condensateur sont les suivantes :

C = 4 µF $\quad$ $U_{(max)}$ = 250 V

Quelle quantité maximale d'électricité peut-il stocker ?

1.3 Calcul de la capacité d'un condensateur

Pour déterminer la valeur de la capacité d'un condensateur il est nécessaire de tenir compte de son aspect géométrique et de la nature du diélectrique utilisé.

1.3.1 Les dimensions du condensateur

La capacité C dépend de la surface S des armatures en regard; lorsqu'on augmente la surface, la capacité du condensateur croît.

La capacité C dépend de la distance e qui sépare les deux armatures; lorsqu'on rapproche les armatures, la capacité du condensateur croît.

La capacité d'un condensateur est d'autant plus importante que ses armatures ont une surface plus grande et qu'elles sont plus rapprochées.

1.3.2 La nature du diélectrique

Deux condensateurs d'égales dimensions, mais constitués d'un diélectrique différent, ont une capacité différente; toutes choses égales par ailleurs, un condensateur au mica a une capacité pouvant être jusqu'à dix fois plus grande qu'un condensateur à air.

La grandeur qui permet de caractériser un diélectrique s'appelle la **permittivité**; elle se note ε (lire epsilon).
Pour chiffrer la permittivité d'un matériau, on se réfère habituellement à la permittivité du vide, constante notée ε_0; (la permittivité de l'air est très peu différente de celle du vide).
Les tables de valeurs donnent la permittivité **relative** (ε_r) des diélectriques par rapport au vide (ou à l'air).

$$\boxed{\varepsilon = \varepsilon_0 \times \varepsilon_r}$$

ε et ε_0 s'expriment en farads par mètre (F/m);
$\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}$ F/m
ε_r est un coefficient sans dimension.

Permittivité relative de quelques diélectriques

Matériau	air	papier	verre	porcelaine	mica
ε_r	1	2,5	5 à 8	6	6 à 10

La permittivité **relative** est encore appelée **constante diélectrique**.

Exercice d'entraînement n° 2

Calculer la permittivité ε de la porcelaine.

1.3.3 Capacité d'un condensateur plan

C'est un condensateur dont les armatures sont planes, parallèles, de même surface S et séparées par un diélectrique d'épaisseur e et de permittivité ε.
Sa capacité se calcule suivant la formule suivante :

$$\boxed{C = \varepsilon \times \frac{S}{e}}$$

S - s'exprime en mètres carrés (m^2);
e - s'exprime en mètres (m);
ε - s'exprime en farads par mètre (F/m);
C - s'exprime en farads (F).

Remarques : Afin de réaliser des condensateurs de grande capacité on est conduit à utiliser des armatures de grande surface et un isolant de faible épaisseur. Pour réduire l'encombrement, les armatures sont faites de longues feuilles métalliques fines enroulées. Mais l'épaisseur du diélectrique ne peut pas être aussi mince que souhaitée car il y a risque de claquage (étincelle interne).
L'épaisseur et la nature du diélectrique conditionnent la tension maximale (U_{max}) que peut supporter un condensateur.

Exercice d'entraînement n° 3

- Déterminer la capacité C d'un condensateur au papier dont les dimensions sont les suivantes :

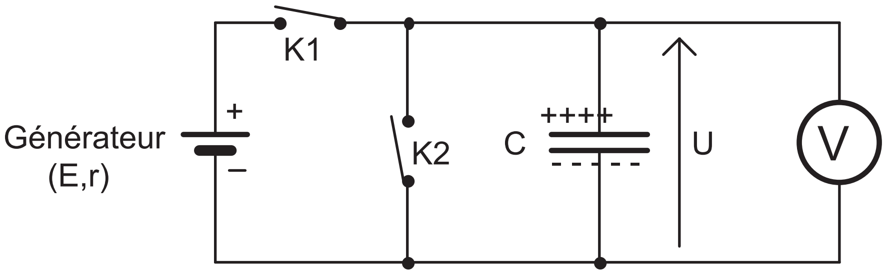
Surfaces des armatures   S = 30 dm^2
Epaisseur du diélectrique   e = 0,2 mm

- En conservant le même diélectrique (e = 0,2 mm), quelle doit être la nouvelle surface S des armatures pour obtenir un condensateur de capacité C = 100 nF ?

- En conservant la même surface (S = 30 dm2), quelle est la nouvelle capacité si on remplace le papier par du mica (ε_r = 10) dont l'épaisseur est e = 0,1 mm ?

2 ENERGIE EMMAGASINEE

2.1 Expérience



Fermons K1 pour charger le condensateur à la tension U = E.
Ouvrons K1, le condensateur reste chargé (voir paragraphe 1.2.1).

Si maintenant nous fermons K2 (K1 restant ouvert), une étincelle apparaît aux bornes des contacts.
Cette expérience prouve que le condensateur a emmagasiné de l'énergie lors de sa charge.

2.2 Expressions de l'énergie

L'énergie stockée est directement proportionnelle à Q. On démontre qu'elle peut s'exprimer par la relation :

$$\boxed{W = \frac{1}{2} \times Q \times U}$$

Q - s'exprime en coulombs (C);
U - s'exprime en volts (V);
W - s'exprime en joules (J).

Exercice d'application : Calcul de l'énergie stockée par un condensateur de capacité C = 47 nF chargé sous une tension U = 250 V.

$$Q = C \times U = 47.10^{-9} \times 250 = 11{,}75.10^{-6}\ C$$
$$W = \frac{1}{2} \times Q \times U = \frac{1}{2} \times 11{,}75.10^{-6} \times 250 = 1{,}47.10^{-3}\ J$$

De cet exercice, il découle une autre formulation de l'énergie stockée :

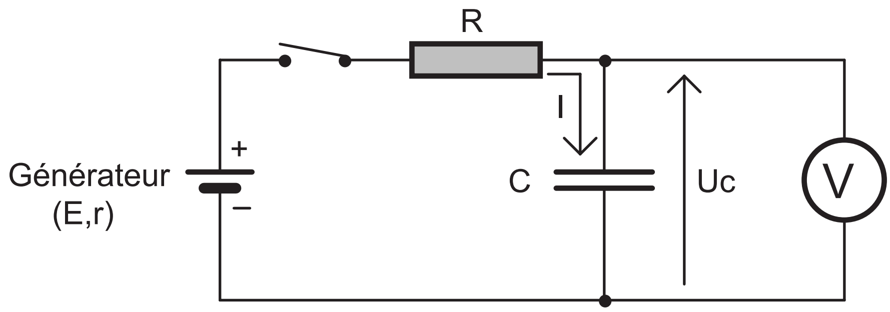
$$\boxed{W = \frac{1}{2} \times C \times U^2}$$

Exercice d'entraînement n° 4

Un condensateur de 100 µF a emmagasiné une énergie de 312 mJ.
Quelle est la tension à ses bornes ?

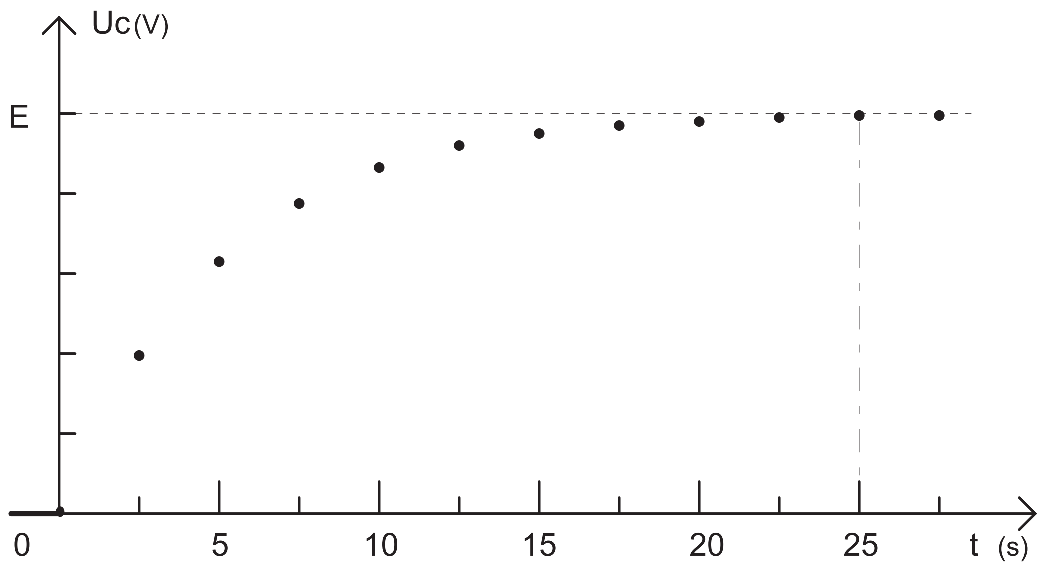
3 CHARGE A TRAVERS UNE RESISTANCE

3.1 Evolution de la tension aux bornes du condensateur



Dans ce schéma, R = 1 MΩ et C = 5 µF.
On suppose que la résistance interne r du générateur est très petite devant R et que le condensateur est préalablement déchargé.

Fermons l'interrupteur : une tension Uc croissante (indiquée par le voltmètre) apparaît aux bornes du condensateur.
A intervalles de temps réguliers, mesurons cette tension à l'aide du voltmètre et portons Uc en fonction du temps sur un graphique (l'origine du temps correspond à l'instant de fermeture de l'interrupteur).



3.2 Interprétation de la courbe de charge

On constate que la tension Uc croît rapidement au début de la charge, puis de moins en moins vite par la suite. Elle atteint la valeur E au bout de 25 secondes environ et au delà n'évolue plus. Cette courbe est d'allure exponentielle (elle peut être complétée à main levée).

Si on renouvelle l'expérience précédente en changeant la valeur des composants R et C, l'allure de la courbe reste la même mais la durée de la charge varie.

- Doublons la valeur de la résistance (R = 2 MΩ) :

    La tension Uc atteint E au bout de 50 secondes environ.

- Divisons maintenant par deux la valeur de la capacité du condensateur (C = 2,5 µF ; R = 2 MΩ) :

    La tension Uc atteint de nouveau E au bout de 25 secondes.

On en conclut que la durée de la charge est directement proportionnelle au produit R x C.

3.3 Constante de temps

Dans un circuit contenant résistance et condensateur, on appelle constante de temps le produit **R x C**.

R - s'exprime en ohms (Ω);
C - s'exprime en farads (F);
R x C - s'exprime en **secondes** (s).

Dans la pratique on estime que la charge d'un condensateur est terminée au bout d'un temps égal à 5 fois la constante de temps.

$$\boxed{\text{Temps de charge} = 5 \times R \times C}$$

Exercice d'application :

- Calcul de la constante de temps d'un circuit contenant une résistance R = 82 kΩ et un condensateur C = 18 nF :

    $R \times C = 82.10^{3} \times 18.10^{-9} = 1\,476.10^{-6}$ s # 1,5 ms

- Calcul du temps nécessaire à la charge du condensateur :

    $5 \times R \times C$ # $5 \times 1{,}5 = 7{,}5$ ms

Exercice d'entraînement n° 5

Dans le schéma du paragraphe 3.1 prenons les valeurs suivantes :

E = 50 V; r = 1 Ω   R = 5,6 kΩ   C = 680 pF.

- Calculer le temps nécessaire à la charge complète du condensateur.
- Quelle est alors la valeur atteinte par Uc ?
- Quelle est la valeur de Uc pour t = 27 µs ?

3.4 Evolution du courant dans le circuit

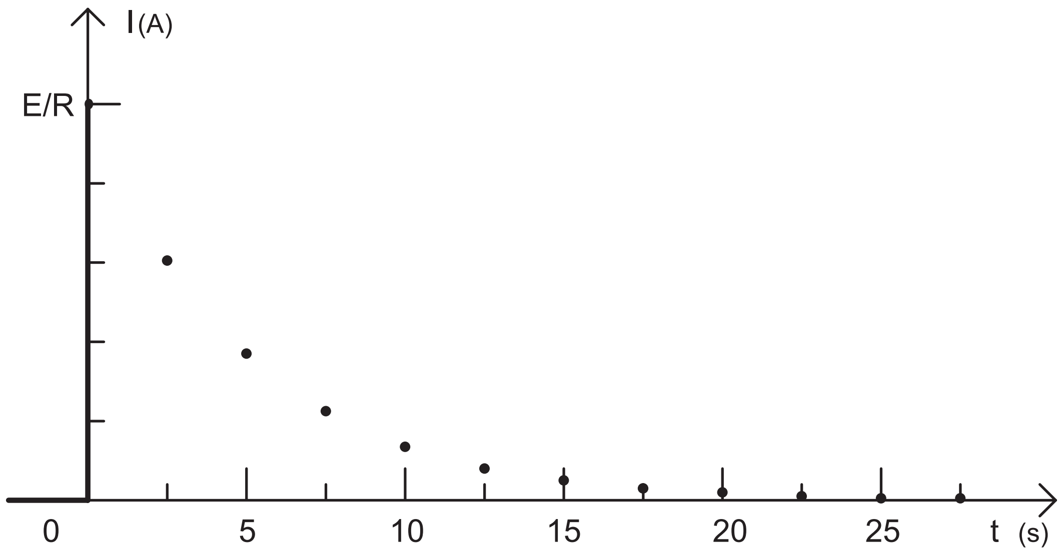
La tension aux bornes de la résistance est égale à :

$U_R = E - U_c$ (loi des mailles)

Pendant la charge Uc est croissante et tend vers E. Donc U_R est décroissante et tend vers zéro.
Or le courant dans le circuit est égal à :

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{E - U_c}{R}$$ (loi d'Ohm)

Donc le courant I suit la loi de décroissance de U_R comme représenté ci-dessous.



La courbe du courant illustre le transport des charges électriques.
A la fermeture de l'interrupteur, instant t = 0, l'intensité du courant passe immédiatement de 0 à E/R (pointe de courant) puis décroît exponentiellement. L'intensité est quasiment nulle au bout d'un temps t = 5 x R x C et n'évolue plus : le condensateur a stocké son maximum d'énergie.

Exercice d'entraînement n° 6

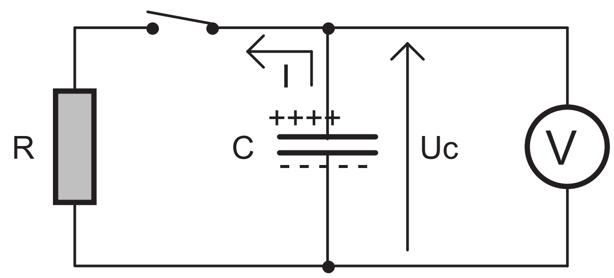
Dans le schéma du paragraphe 3.1 prenons les valeurs suivantes :

E = 120 V ; r = 4 Ω   R = 12 kΩ   C = 220 µF

- Calculer la valeur de la pointe de courant à t = 0.
- Calculer la durée pratique de la circulation du courant.
- Quelle est la valeur du courant pour t = 20 s ?
- Quelle est alors la valeur de l'énergie stockée par le condensateur ?

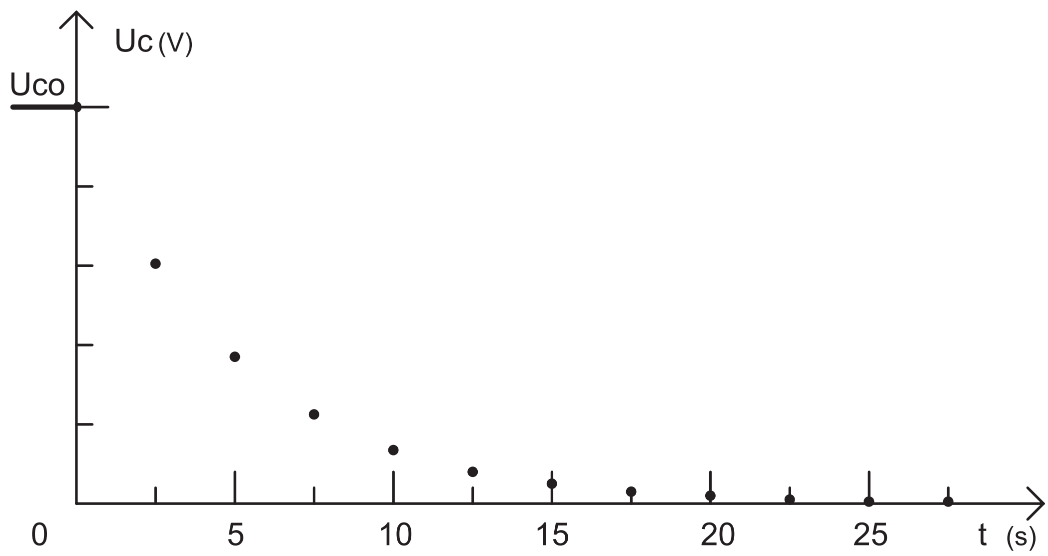
4 DECHARGE DANS UNE RESISTANCE

4.1 Evolution de la tension aux bornes du condensateur



Dans ce schéma, R = 1 MΩ et C = 5 µF.
Le condensateur a été préalablement chargé à une tension U_{c0}.

Fermons l'interrupteur : la tension Uc indiquée par le voltmètre décroît.
A intervalles de temps réguliers, mesurons cette tension à l'aide du voltmètre et portons Uc en fonction du temps sur un graphique (l'origine du temps correspond à l'instant de fermeture de l'interrupteur).



4.2 Interprétation de la courbe de décharge

On constate que la tension Uc, dont la valeur initiale est U_{c0}, décroît exponentiellement. Elle est nulle au bout de 25 secondes environ et au delà elle n'évolue plus.

Si on renouvelle l'expérience précédente en changeant la valeur des composants R et C, l'allure de la courbe reste la même mais la durée de la décharge est directement proportionnelle au produit R x C.

Dans la pratique on estime que la décharge d'un condensateur est terminée au bout d'un temps égal à 5 fois la constante de temps.

$$\boxed{\text{Temps de décharge} = 5 \times R \times C}$$

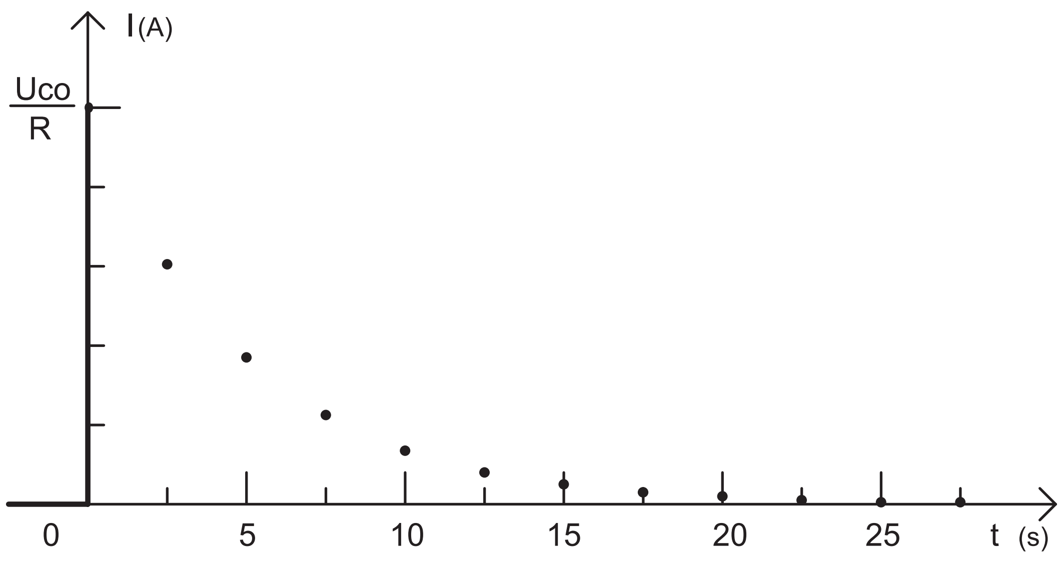
R - s'exprime en ohms (Ω);
C - s'exprime en farads (F);
R x C - s'exprime en **secondes** (s).

4.3 Evolution du courant dans le circuit

Dès la fermeture de l'interrupteur la résistance se trouve en parallèle avec le condensateur et $U_R = U_c$.
A t = 0, $U_R = U_{c0}$; puis lors de la décharge U_R suit la décroissance de Uc et tend vers zéro.
Or le courant dans le circuit est égal à :

$I = \dfrac{U_R}{R}$ (loi d'Ohm) d'où $I = \dfrac{U_c}{R}$ puisque $U_R = U_c$

D'où la courbe d'évolution du courant qui se déduit de celle de Uc.



A t = 0, l'intensité du courant passe immédiatement de 0 à U_{c0}/R (pointe de courant). Puis le courant décroît exponentiellement. Son intensité est quasiment nulle au bout d'un temps t = 5 x R x C et elle n'évolue plus : le condensateur a perdu toute son énergie; celle-ci s'est transformée en chaleur dans la résistance R (effet Joule).

Exercice d'entraînement n° 7

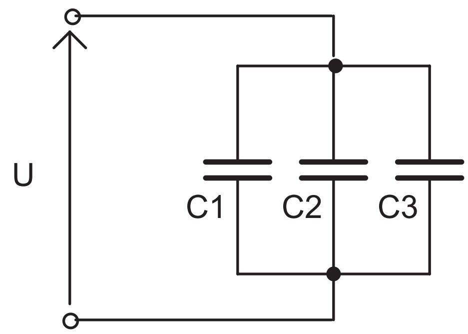
Dans le schéma du paragraphe 4.1, le condensateur est initialement chargé à la tension U_{C0} = 120 V.

$C = 12\ \mu F \qquad R = 220\ k\Omega$

- Quelle est l'énergie emmagasinée dans le condensateur ?
- Calculer la valeur de la pointe de courant à la fermeture de l'interrupteur.
- Calculer le temps nécessaire à la disparition de l'énergie stockée ?

5 ASSOCIATIONS

5.1 Association parallèle



Les condensateurs sont soumis à la même tension U. Ils accumulent respectivement une quantité d'électricité égale à :

$Q_1 = C_1 \times U \quad Q_2 = C_2 \times U \quad Q_3 = C_3 \times U$

La charge totale Qt emmagasinée est donc égale à :

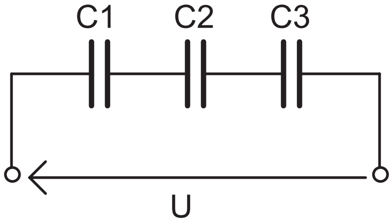
$Qt = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 \times U + C_2 \times U + C_3 \times U$

$Qt = (C_1 + C_2 + C_3) \times U = C_{(équ)} \times U$

Le condensateur équivalent (c'est à dire qui stocke la même quantité d'électricité sous la tension U) a pour valeur la somme des capacités de chaque condensateur.

$$\boxed{C_{(équ)} = C_1 + C_2 + C_3}$$

5.2 Association série



Cette association est rarement utilisée. On peut démontrer que, dans ce cas, le condensateur équivalent est tel que :

$$\boxed{\frac{1}{C_{(équ)}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

CORRIGE
DES EXERCICES D'ENTRAINEMENT 6

Exercice d'entraînement n° 1
Quantité d'électricité max. que le condensateur peut stocker

$$Q_{(max)} = C \times U_{(max)} = 4.10^{-6} \times 250 = 10^{-3}\ C$$

Exercice d'entraînement n° 2
Permittivité de la porcelaine

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \times \varepsilon_r = 8{,}85.10^{-12} \times 6 = 53{,}1.10^{-12}\ F/m$$

Exercice d'entraînement n° 3
- Calcul de la capacité d'un condensateur au papier

$$C = \varepsilon \times \frac{S}{e} = \varepsilon_0 \times \varepsilon_r \times \frac{S}{e} = 8{,}85.10^{-12} \times 2{,}5 \times \frac{30.10^{-2}}{0{,}2.10^{-3}}$$

$$C = 3318.10^{-11}\ F \# 33\ nF$$

- Calcul de la nouvelle surface pour obtenir une capacité de 100 nF
La capacité est 3 fois plus grande (100 nF # 3 x 33 nF), il faut donc multiplier la surface par 3.

$$S = 3 \times 30 = 90\ dm^2$$

- Calcul de la capacité obtenue avec du mica
La permittivité du mica est 4 fois plus grande que celle du papier et l'épaisseur du diélectrique est réduite de moitié; la capacité est donc multipliée par 4 x 2 = 8.

$$C = 8 \times 33 = 264\ nF$$

Exercice d'entraînement n° 4
Calcul de la tension U aux bornes du condensateur

$$W = \frac{1}{2} \times C \times U^2 \quad \text{d'où} \quad U = \sqrt{2 \times \frac{W}{C}}$$

$$U = \sqrt{2 \times \frac{312.10^{-3}}{100.10^{-6}}} = 79\ V$$

Exercice d'entraînement n° 5

La résistance interne r du générateur est négligeable devant la résistance R.
- Calcul du temps t nécessaire à la charge complète

$t = 5 \times R \times C = 5 \times 5{,}6.10^3 \times 680.10^{-12}$
$t = 19\ 040.10^{-9}$ s # 19 µs

- La d.d.p Uc aux bornes du condensateur est égale à 50 V.

- Il faut 19 µs pour charger complètement le condensateur; au delà de ce temps, la tension à ses bornes n'évolue plus. Au bout de 27 µs la tension Uc vaut donc toujours 50 V.

Exercice d'entraînement n° 6

La résistance interne r du générateur est négligeable devant la résistance R.
- Calcul de la pointe de courant à t = 0

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120}{12.10^3} = 10.10^{-3} \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

- Le courant circule évidemment pendant toute la durée de la charge, c'est à dire pendant un temps t égal à :

$t = 5 \times R \times C = 5 \times 12.10^3 \times 220.10^{-6}$
$t = 13\ 200.10^{-3}$ s = 13,2 s

- Il faut 13,2 s pour charger complètement le condensateur; au delà de ce temps, le courant ne circule plus.
Au bout de 20 s le courant est donc égal à 0.

- Calcul de l'énergie stockée par le condensateur

$$W = \frac{1}{2} \times C \times U^2 = \frac{1}{2} \times 220.10^{-6} \times (120)^2 \ \# \ 1{,}6 \text{ J}$$

Exercice d'entraînement n° 7

Calcul de l'énergie emmagasinée par le condensateur

$$W = \frac{1}{2} \times C \times (U_{C0})^2 = \frac{1}{2} \times 12.10^{-6} \times (120)^2 = 86{,}4 \text{ mJ}$$

- Calcul de la valeur de la pointe de courant

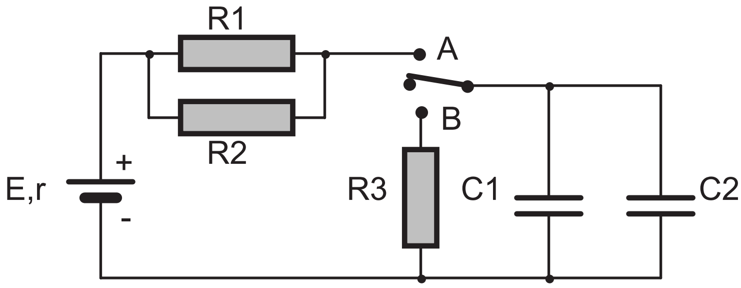
$$I = \frac{U_{C0}}{R} = \frac{120}{220.10^3} = 0{,}545.10^{-3} \text{ A} = 0{,}545 \text{ mA}$$

- Calcul du temps de décharge

$$t = 5 \times R \times C = 5 \times 220.10^3 \times 12.10^{-6} = 13{,}2 \text{ s}$$

DEVOIR N° 6

Effectuez le devoir sur la feuille de copie préimprimée que vous trouverez en encart au milieu du fascicule. Ne recopiez pas les énoncés et soignez la présentation de votre travail.



Commutateur sur la position A : on charge 2 condensateurs identiques, associés en parallèle, à travers un dipôle constitué de deux résistances égales en parallèle.

$E = 50$ V ; $r \# 0\ \Omega$ $C_1 = C_2 = 0{,}1\ \mu F$ $R_1 = R_2 = 200\ k\Omega$

1 - Quelle est la valeur de la capacité équivalente ?

2 - Quelle est la valeur de la résistance équivalente ?

3 - Quelle est la valeur de la pointe de courant à l'instant initial ?

4 - Quelle est la constante de temps et la durée pratique de la charge des condensateurs ?

5 - Quelle est l'énergie totale emmagasinée ?

6 - Quelle est l'énergie emmagasinée par chaque condensateur ?

Commutateur sur la position B : on décharge ces condensateurs dans la résistance $R_3 = 100\ \Omega$.

7 - Quelle est la nouvelle valeur de la pointe de courant ?

8 - Quelle la constante de temps de décharge.

9 - Sous quelle forme et où l'énergie s'est-elle dissipée ?

Chaque question (2 points); Présentation (2 points)

Notes personnelles

Impression AFPA - SEDEX