Physique appliquée
BTS 1 Electrotechnique

Electrocinétique

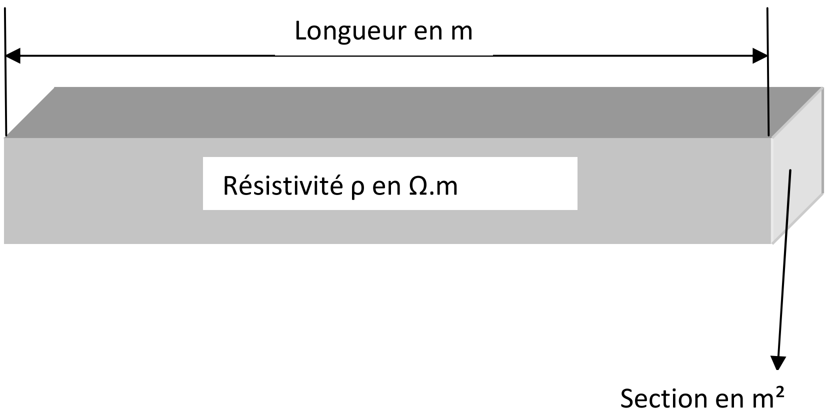
Dipôles passifs en régime quelconque

1. Les dipoles élémentaires

1.1. La résistance électrique.

Toute matière conductrice de l'électricité possède une résistance électrique.
La résistance est un comportement passif de la matière.
Dans un circuit électrique donné, la résistance électrique limite la valeur du courant.
Si un courant traverse une résistance électrique, un dégagement d'énergie est dissipé.
Exemple : plaque chauffante, chauffe eau électrique etc.…

La résistance électrique dépend de la matière et des dimensions :



$$R = \rho.\frac{L}{S}$$

R en Ohms (Ω)
ρ en Ohms mètre (Ω.m)
L en mètre (m)
S en mètre carré (m²)

Element	Résistivité (à 20°C) 10^{-8} Ω.m	Coefficient de température moyen (0 - 100°C) 10^{-3} K^{-1}
Aluminium	2,826	4,03
Antimoine	25 - 39	4
Argent	1,57	4,1
Arsenic	35 - 46	4,7
Baryum	40 - 60	6,1
Béryllium	04 - 10	6 - 22
Bismuth (très pur)	144	4,2 - 4,8
Bismuth	120	4,3
Cadmium	7,2	3,9
Calcium	4,6 - 6,8	4,6
Cérium	75	0,8
Césium	19	-
Chrome	13	-
Cobalt pur	6,2	6,5
Cobalt pur à 99,2%	13,5	3
Cuivre	1,724	3,93
Dysprosium	56	-
Etain	11,5	4,6
Erbium	110	2
Fer pur à 99,99%	9,8	6,5

Exercices sur la variation de la résistance électrique des matériaux
Exercice 1 :

a) Si on prend une barre de fer de longueur 10m et de coté 2cm par 5cm ,calculer la valeur de sa résistance électrique.

b) Refaire le calcul avec une barre identique de cuivre.

c) Constatation.

Exercice 2 :

Quelle sera la résistance d'un fil de longueur 12m, de diamètre 2 mm et de résistivité de $1{,}8.10^{-8}$ Ω.m ?

Variation de la résistance en fonction de la température :

La résistance électrique d'un matériau dépend également de la température.

En effet on utilise cette propriété pour réaliser des capteurs de température.

La relation se note :

$$R_\theta = R_{0°C}.(1 + a.\Delta\theta)$$

$R_{\theta1}$ résistance à la température θ1
$R_{\theta2}$ résistance à la température θ2
a coefficient de température en $°C^{-1}$
θ température en K

Exercices sur la résistance en fonction de la température :

Exercice 3 : Calculer la résistance d'un fil d'aluminium à 60°C sachant que sa résistance à 0°C est de 40 Ω et que son coefficient de température est
$a = 4{,}5.10^{-3}$

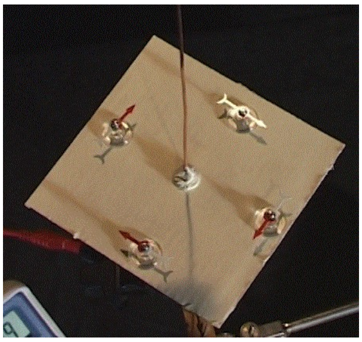
Exercice 4 : Les enroulements d'un moteur à courant continu sont constitués d'un fil de cuivre bobiné. La résistance est R_{40} = 100 Ω à 40°C et le coefficient de température est $a = 4.10^{-3}$
Exprimer d'abord la résistance à 0°C (R_0) puis la résistance à 90°C (R_{90}).

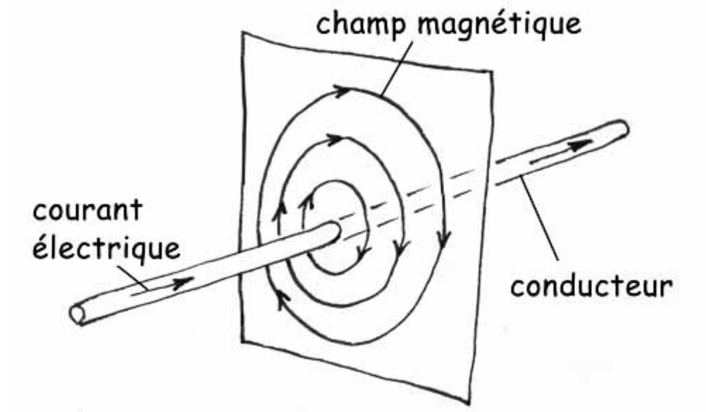
Exercice 5 : Une ligne de transport d'énergie en cuivre a une résistance de 5 Ω à 20°C et un coefficient de température $a = 4.10^{-3}$.
Exprimer d'abord la résistance à 0°C puis la résistance à 50°C.

Exercice 6 : Un fil électrique en cuivre ($a = 4.10^{-3}$) de 1500 m présente une résistivité $\rho_0 = 16.10^{-9}$ Ωm à 0°C et une section de 25 mm^2
Calculer la résistance du fil à zéro degré (R_0) par ses caractéristiques techniques puis la résistance de ce fil pour les températures suivantes :
θ = -30°C et θ = - 40°C.

1.2. La bobine

Quand on fait circuler un courant dans un fil,on remarque qu'un champ magnétique est généré :
https://www.youtube.com/watch?v=Rnd58H-3vlQ





Lorsqu'on enroule sur lui-même ce fil, on utilise plusieurs fois le champ crée par le fil :
https://www.youtube.com/watch?v=pFhfKWfvUGc

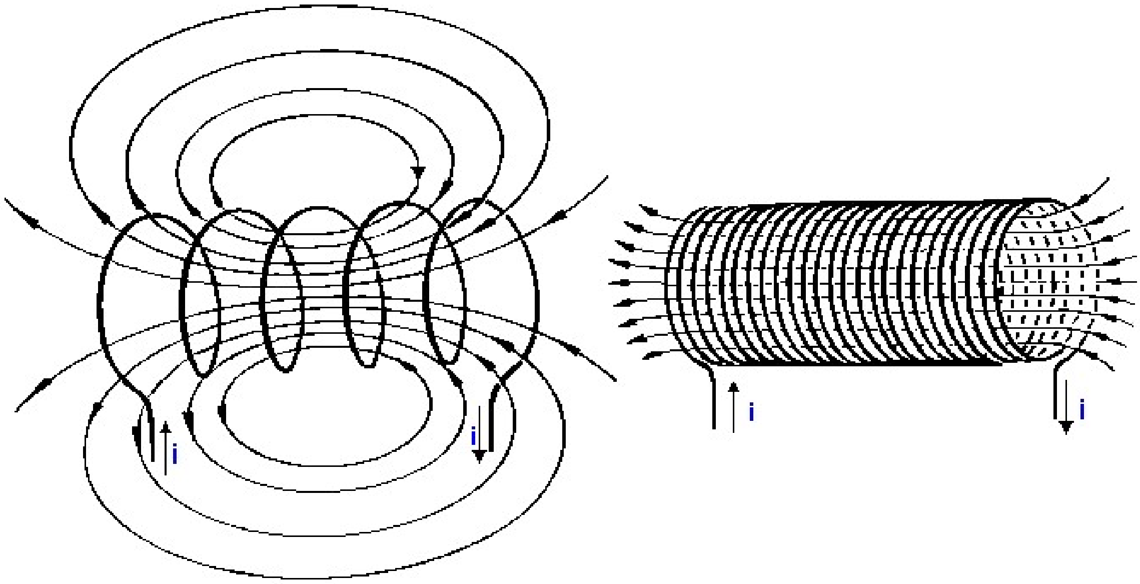


Fig. 6. - Comparaison du champ magnétique de deux bobines.

Le champ magnétique est définit par la lettre B est son unité est le tesla.

Le flux magnétique est la somme de tous les champs magnétiques sur une surface donnée.

$$\Phi = N.\vec{B}.\vec{S}$$

Avec :
Φ en Weber (Wb)
N nombre de spires
B en Tesla (T)
S en mètre carré (m²)

Il y a un rapport entre le courant qui circule dans la bobine et le flux.
C'est ce qu'on appelle l'inductance.

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

Avec :
L en Henry (H)
Φ en Weber (Wb)
I en Ampère (A)

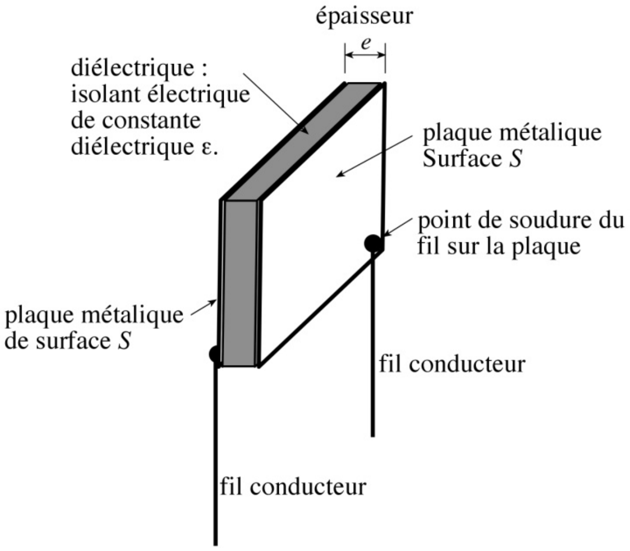
Exercices :
Exercice 7 : Que vaut l'inductance d'une bobine si le flux crée par celle-ci vaut 10 mWb et qu'on y fait circuler I = 200 mA.

Exercice 8 : Quel courant faut'il faire circuler dans un bobine de 200 mH pour qu'elle produise un flux de 500 mWb.

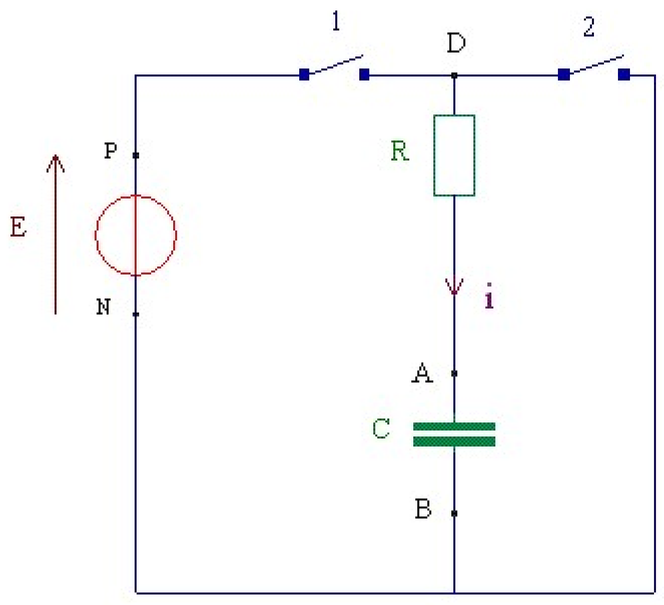
Exercice 9 : Une bobine d'inductance 1H est parcourue par un courant de 500mA,calculer le flux crée par la bobine.

1.3. Le condensateur

Un condensateur est composé de deux plaques conductrices séparées par un isolant.



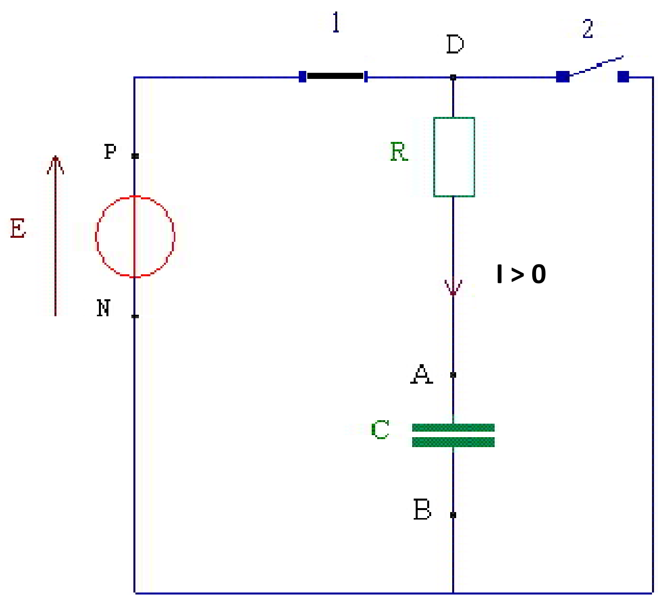
Comportement dans un circuit électrique :



Fermeture de l'interrupteur 1 :

https://www.youtube.com/watch?v=IvFVu7Jxa2I

vidéo Charge du condensateur



Les électrons libres de l'électrode A du condensateur vont rejoindre la polarité positive du générateur.

Tandis que le pole négatif du générateur envoie des éléectrons libres vers l'électrode B.

Au niveau des électrodes,sur A s'accumulent des ions positifs et sur B des ions négatifs.

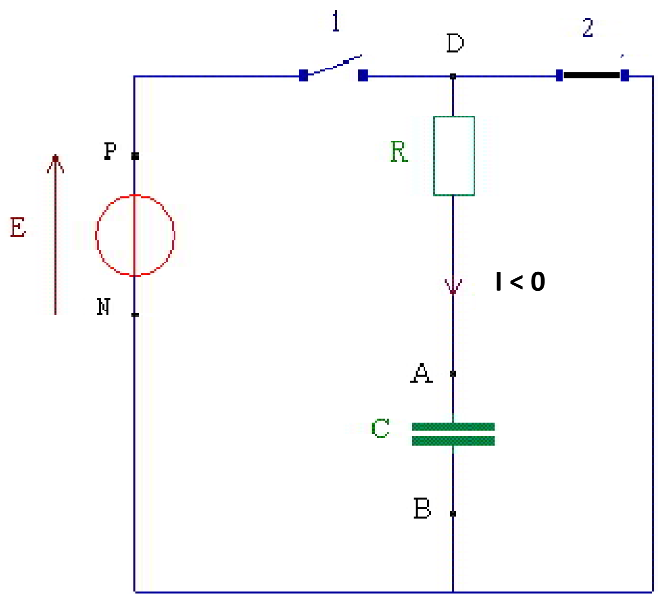
Lorsque tous les électrons libres de l'électrode A se seront déplacés,le courant sera nul dans le cicuit et le condensateur sera chargé sous la tension E.

Si on ouvre l'interrupteur 1 ,les ions positifs ne peuvent pas récuper leur électrons manquants et les ions négatifs,évacuer ceux en excès,par conséquent le condensateur reste chargé.

Fermeture de l'interrupteur 2 :

https://www.youtube.com/watch?v=5D2cLj28Pc8

vidéo Décharge du condensateur



Les électrons en exès des ions de l'électrode B vont venir compenser le manque d'electrons des ions positifs de l'électrode A.

Le courant s'inverse et devient donc négatif.

Lorsque les ions des électrodes A et B seront neutres électriquement alors le condensateur sera déchargé.

Quantité d'électricité et capacité :

La quantité d'électricité est : $dq = i(t).dt$ et $Q = \int i(t).dt$

Cela correspond à la quantité de charge électrique élémentaire comptabilisé en un point du circuit soit : $Q = I.t$ si I = Cte

Avec :

Q en Coulomb (C)

I en Ampère (A)

t en seconde (s)

On définit le rapport entre la quantité d'électricité stockée dans le condensateur et la tension entre ses bornes par la capacité exprimé en Farad.

$$C = \frac{Q}{U_{AB}}$$

Avec :

C en Farad (F)

Q en Coulomb (C)

U en Volt (V)

La capacité d'un condensateur dépend de la surface de ses électrodes,du type de diélectrique utilisé et de son épaisseur.

$$C = \varepsilon_0 . \varepsilon_r . \frac{S}{e}$$

Avec :

C capacité en Farad (F)

ε_0 permittivité du vide $\varepsilon_0 = \frac{1}{36.\pi.10^9}$ en Farad par mètre ($F.m^{-1}$)

ε_r permittivité RELATIVE sans dimension

S surface des électrodes en m²

e épaisseur du diélectrique en mètre (m)

On donne dans le tableau ci-dessous la

Champ disruptif : E_{disrup} en $MV.m^{-1}$

Isolant	permittivité relative	Rigidité diélectrique
Air sec	1	4
Bakélite	5 à 6	10
Caoutchouc	4	15
Caoutchouc silicone	4,2	
Carton	4	10
Duraform		16
Kapton		110
Mica	6	70
Papier	2	6
Papier bakélisé	5	10
Paraffine	2,2	
PVC	5	20
Plexiglas	3,3	
Polyester	3,3	
Polyéthylène	2,25	18
Polypropylène	2,2	
Polystyrène	2,4	24
Polycarbonate	2,9	30
Porcelaine	5 à 6	16
Presspahn	3	100
Stéatite	5,8	
Styroflex	2,5	
Teflon	2,1	17
Verre	5 à 7	10
Stratifé-verre-époxy	5	20

Exercices :

Exercice 10 : On prend deux électrodes de cuivre de 20 cm² de surface , on intercale entre les deux une feuille de papier d'épaisseur 1mm.Calculer la valeur de la capacité du condensateur ainsi réalisé.

a) Si on charge celui-ci sous une tension de 100V,quelle sera la quantité d'électricité stockée ?
b) Si on remplace la feuille de papier par une plaque de mica,calculer la nouvelle valeur du condensateur.Quelle sera la quantité d'électricité stockée sous 100V ?
c) Peut'on charge ces condensateurs sous 8000V ?

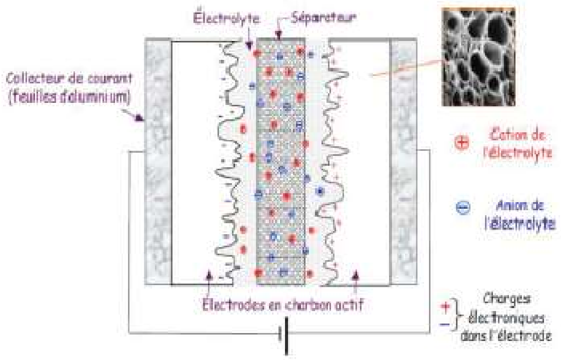
Exercice 11 :

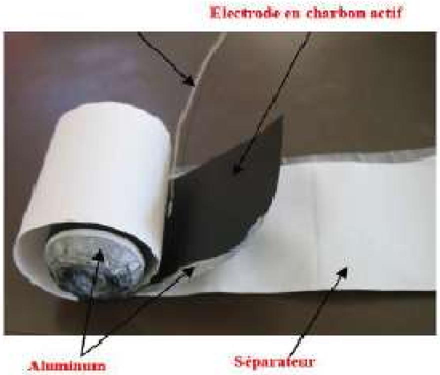
a) Si on veut construire un condensateur de capacité 1µF,quelle devrait être la surface de ses électrodes si on prend un diélectrique de papier bakélisé d'épaisseur 0,1mm.
b) Calculer la tension maximum que ce condensateur peut supporter.
c) Calculer alors la valeur maximum de la quantité d'électricité stockable dans ce condensateur.

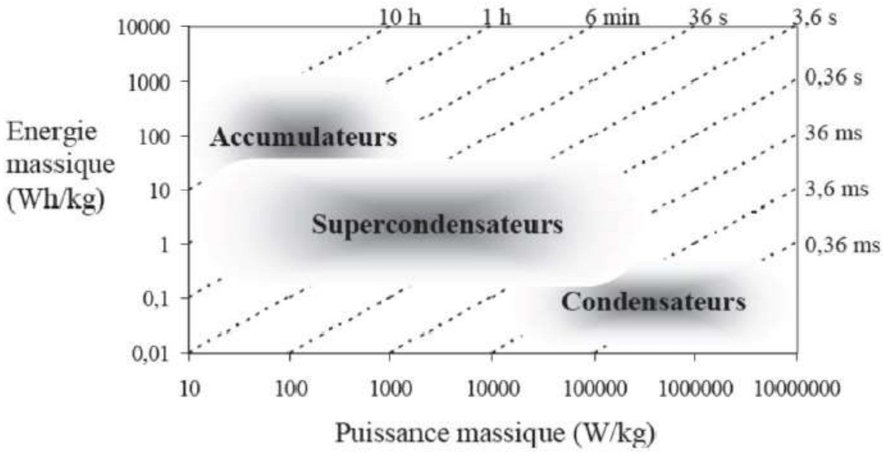
Exercice 12 : Si on veut construire un condensateur de capacité 3000F,quelle devrait être la surface de ses électrodes si on prend un diélectrique de papier bakélisé d'épaisseur 0,01 mm.
Avec cette technique,peut'on réaliser ce type de capacité ?

Remarque sur les super condensateurs :

Les super condensateurs sont des condensateurs à electrolyte qui grace à leurs électrodes en charbon actif très poreux offrent une surface de contact avec le diélectrique très importante.
De ce fait on aura des capacités extrèmement importantes.





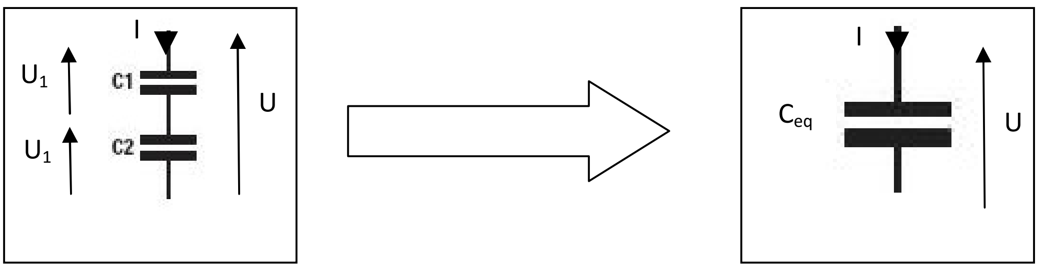


On utilisera ces constituants comme soutien aux batteries classiques (très fort courant de pointe); de système de récupération d'énergie ou source d'énergie pour appareil portable grace à leur propriété de recharge à fort courant et donc rapide.

Association de condensateurs :

Quand on connecte des condensateurs en série ou en parrallèle, on peut exprimer facilement la capacité équivalente :

Association série :



On peut écrire :

$$Q = C_{eq.}U = I.t$$

$$Q = C_{eq.}(U_1 + U_2) = I.t$$

$$Q = C_{eq.}(\frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}) = I.t$$

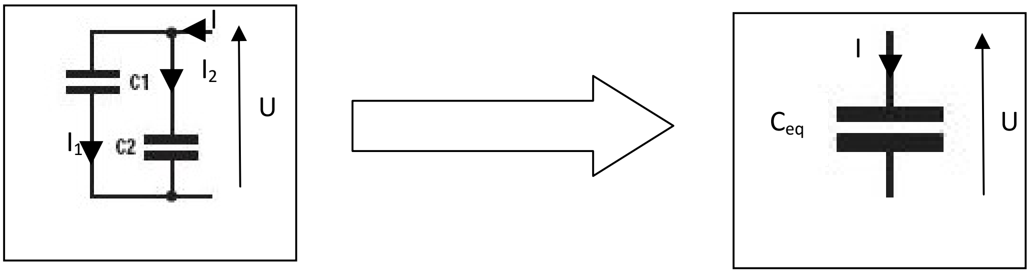
$$C_{eq.}(\frac{I.t}{C_1} + \frac{I.t}{C_2}) = I.t$$

$$C_{eq.}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right).I.t = I.t$$

D’où la relation générale :

$$C_{eq.} = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)}$$

Association parallèle :



$$Q = C_{eq.}U = I.t$$

$$Q = C_{eq.}U = (I_1 + I_2).t$$

$$Q = C_{eq.}U = (\frac{C_1.U}{t} + \frac{C_2.U}{t}).t$$

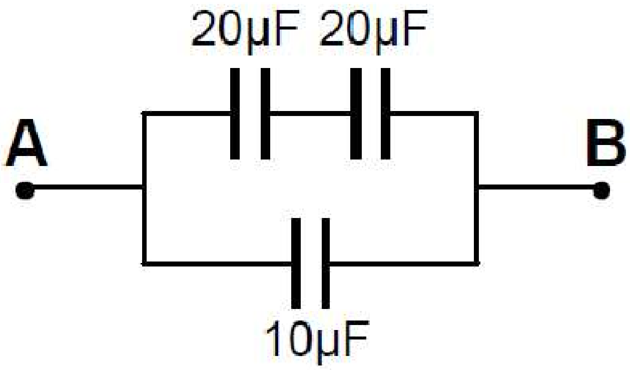
D’ou

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

Exercices :

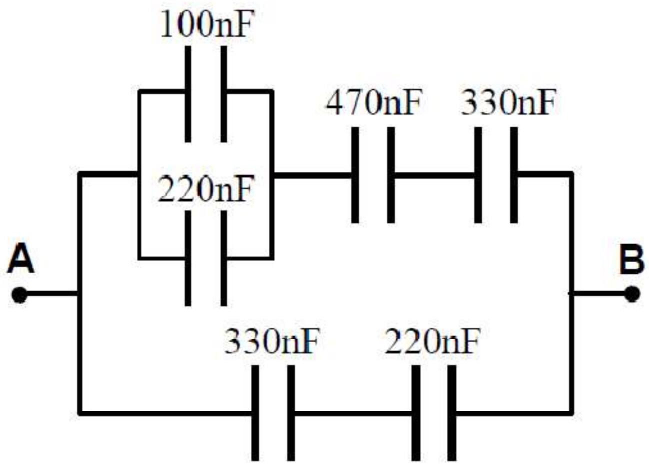
Exercice 13 :

Calculer la capacité équivalente de l'association suivante :



Exercice 14 :

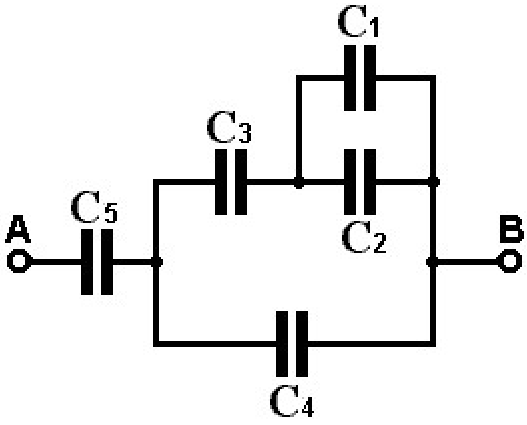
Calculer la capacité équivalente de l'association suivante :



Exercice 15 :

Exprimer la capacité équivalente en fonction de C de l'association suivante :

On donne C1=C2=C ;C3=2C ;C4=C ;C5=3C



Exercice 16 :

ASSOCIATION DE CONDENSATEURS EN PARALLÈLE.

Un condensateur de C1 = 6 μF est branché en parallèle avec un condensateur de C2 = 10 μF.

La charge accumulée sur les armatures du groupe de condensateurs est de 200 μC.

1. Quelle est la capacité équivalente du groupe de deux condensateurs ?

2. Quelle est la d.d.p. aux bornes des condensateurs en parallèle ?

3. Quelle est la charge accumulée sur les armatures du condensateur de 6 μF ?

4. Quelle est la charge accumulée sur les armatures du condensateur de 10 μF ?

Exercice 17 :

ASSOCIATION DE CONDENSATEUR EN SÉRIE.

Deux condensateurs, initialement déchargés, de capacité C1 = 20 nF et C2 = 33 nF sont branchés en série. L'ensemble est alimenté sous la tension U = 20 V.

1. Déterminer la capacité équivalente C_{EQ}.

2. Calculer la charge Q portée par la capacité équivalente.

3. Quelle sont les charges Q1 et Q2 portées par les condensateurs C1 et C2.

4. En déduire la tension U1 aux bornes de C1 et U2 aux bornes de C2.

2. La loi d'Ohm

2.1. Application sur la résistance électrique

La résistance est un composant linéaire dans un intervale de température donné .

On peut noter que :

$$u(t) = R.i(t)$$

Avec :
u(t) en Volts (V)
R en Ohms (Ω)
i(t) en Ampère (A)

2.2. Application sur la bobine

La bobine n'est pas un dipole linéaire ,par conséquent la loi d'Ohms s'écrit à l'aide d'une équation différentielle :

$$u(t) = L.\frac{di}{dt}$$

Avec :
u(t) en Volts (V)
L en Henry (H)
i(t) en Ampère (A)

2.3. Application sur le condensateur

La bobine n'est pas un dipôle linéaire, par conséquent la loi d'Ohms s'écrit à l'aide d'une équation différentielle :

$$i(t) = C.\frac{du}{dt}$$

Avec :
i(t) en Ampère (A)

C en Farad (F)

u(t) en Volts (V)
sous

2.4. Application sur la loi d'Ohms généralisée

Exercice 18 :

On soumet un condensateur C=10µF à une charge sous courant constant : I=200mA.

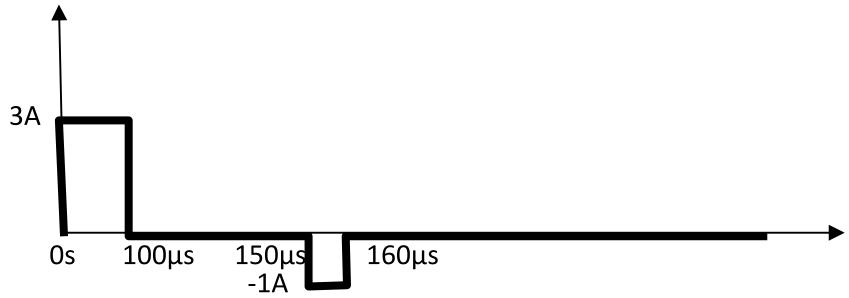
a) Exprimer la fonction u(t)
b) Si le condensateur était chargé sous U_0=2V à t=0s,calculer le temps mis par le dipôle pour se charger sous une tension de 10V.
c) Calculer alors la quantité d'électricité Q_{charge} stockée durant la charge.
d) Calculer la quantité d'électricité totale Q_{totale} stockée dans ce condensateur.

Exercice 19 :

On soumet une bobine à une tension de 30V,son inductance est de 0,2H.
a) Exprimer la fonction i(t) (à t=0s I_0=0A)
b) Calculer le temps mis par la bobine pour atteindre I=5A

Exercice 20 :

On soumet un condensateur C=10µF à un courant pulsé suivant le graphe ci-dessous :

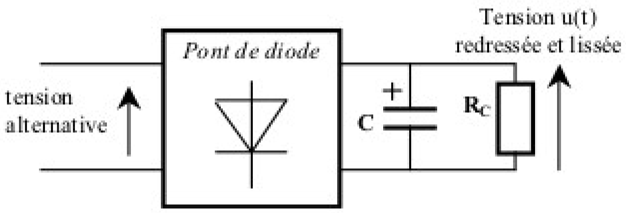


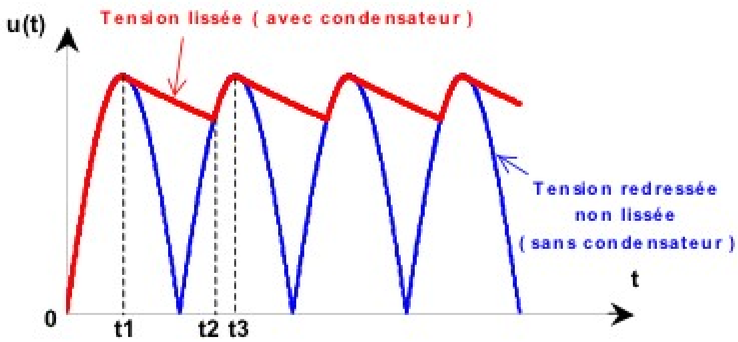
La valeur de U_{co} à t=0s est de 0V,

a) Déterminer la valeur de la tension au bout de 100µs
b) Déterminer la valeur de la tension au bout de 160µs
c) Tracet le graphe de u(t) de 0 à 160 µs

Exercice 21 :

On utilise un condensateur électrochimique en sortie de pont redresseur afin de filtrer la tension redressée.





On souhaite avoir seulement une ondulation de 5% de la valeur maximale de la tension redressée.

Pendant la décharge du condensateur on considère que le courant est constant et égal à 0,3A et que le temps de décharge est au pire de 10ms.

La valeur maximale de la tension redressée est de 34V.

a) Calculer la valeur du condensateur permettant d'avoir le filtrage de la tension souhaitée.
b) Choisir la valeur normalisée dans la série E12.

E 3 (±20%) : 100 - 220 - 470

E 6 (±10%) : 100 - 150 - 220 - 330 - 470 - 680

E12 (±10%) : 100 - 120 - 150 - 180 - 220 - 270 - 330
390 - 470 - 560 - 680 - 820

E24 (±5%) : 100 - 110 - 120 - 130 - 150 - 160 - 180
200 - 220 - 240 - 270 - 300 - 330 - 360 - 390
430 - 470 - 510 - 560 - 620 - 680 - 750 - 820 - 910

E48 : 100 - 105 - 110 - 115 - 121 - 127 - 133
140 - 147 - 154 - 162 - 169 - 178 - 187 - 196
205 - 215 - 226 - 237 - 249 - 261 - 274 - 287
301 - 316 - 332 - 348 - 365 - 383 - 402 - 422
442 - 464 - 487 - 511 - 536 - 562 - 590 - 619
649 - 681 - 715 - 750 - 787 - 825 - 866 - 909 - 953

E96 (±1%) : 100 - 102 - 105 - 107 - 110 - 113 - 115
118 - 121 - 124 - 127 - 130 - 133 - 137 - 140
143 - 147 - 150 - 154 - 158 - 162 - 165 - 169
174 - 178 - 182 - 187 - 191 - 196 - 200 - 205
210 - 215 - 221 - 226 - 232 - 237 - 243 - 249
255 - 261 - 267 - 274 - 280 - 287 - 294 - 301
309 - 316 - 324 - 332 - 340 - 348 - 357 - 365
374 - 383 - 392 - 402 - 412 - 422 - 432 - 442
453 - 464 - 475 - 487 - 499 - 511 - 523 - 536
549 - 562 - 576 - 590 - 604 - 619 - 634 - 649
665 - 681 - 698 - 715 - 732 - 750 - 768 - 787
806 - 825 - 845 - 866 - 887 - 909 - 931 - 953 - 976

c) Choisir la tension de service sachant q'on prend un marge de sécurité de 20%.

Tension de service les plus courantes :

5.5, 6.3, 10, 16, 25, 35, 40, 50, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000

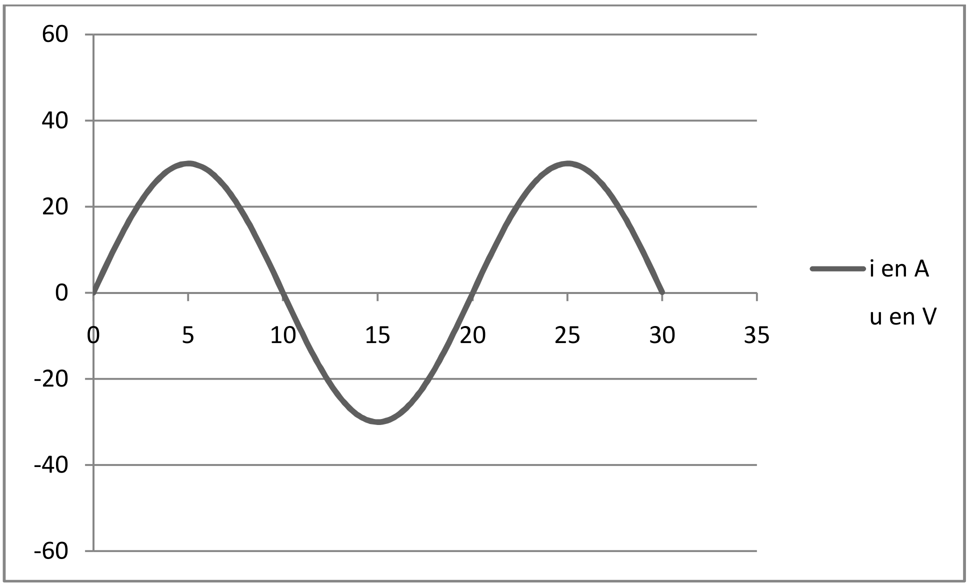
Exercice 22 :

Une bobine est parcourue par un courant sinusoïdal d'équation :

$$i(t)=10.\sin(314.t)$$

Avec
10 valeur maximale du courant en A
$\omega=314\ rad.s^{-1}$

a) A l'aide de la loi d'Ohms généralisée,trouver l'expression de la tension u aux bornes de la bobine de 15mH et représenter son allure sur le graphe ci-dessous :



b) Constatation entre les courbes de courant et de tension

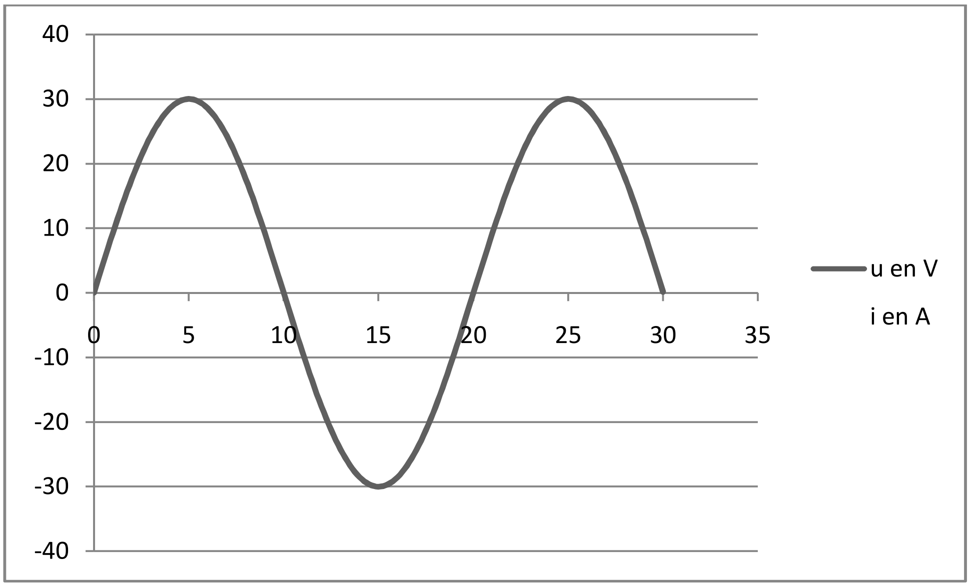
Exercice 23 :

Un condensateur est soumis à une tension sinusoïdale d'équation :

$$u(t)=30.\sin(314.t)$$

Avec
30 valeur maximale de la tension en V
$\omega=314 \text{ rad.s}^{-1}$

a) A l'aide de la loi d'Ohms généralisée,trouver l'expression du courant i qui circule dans le condensateur C=1000µF et représenter son allure sur le graphe ci-dessous :



b) Constatation entre les courbes de courant et de tension

3. Energie stockée ou dissipée par les dipôles associés

La bobine emmagasine de l'énergie sous forme électromagnétique,
La relation correspondante est :

$$W = \frac{1}{2}.L.i^2$$

Avec:
W en Joule (J)
L en Henry (H)
i en Ampère (A)

Le condensateur emmagasine de l'énergie sous forme électrostatique,
La relation correspondante est :

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

Avec:
W en Joule (J)
C en Farad (F)
u en Volt (V)

Exercice 24
Application sur le stockage d'énergie :

1. Stockage de l'énergie dans une bobine

La bobine d'allumage (**figure 4**) assure la distribution de la haute tension pour les moteurs à essence.

L'énergie est stockée sous forme électrique puis une étincelle est produite lors de la restitution de cette énergie.

Figure 4. Bobine d'allumage

On souhaite stocker une énergie E_L dans une bobine idéale d'inductance L.
On dispose d'une alimentation continue qui délivre une tension $U = 6,0\ V$.
On utilise le circuit de la **figure 5** ci-dessous :

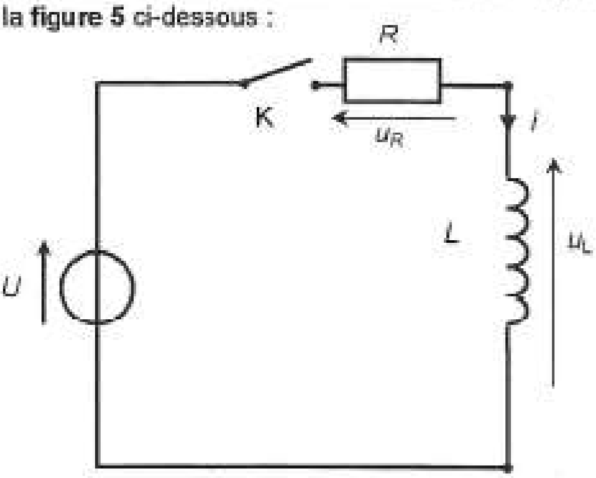


Figure 5. Circuit pour le stockage de l'énergie dans une bobine

À $t = 0$, on ferme l'interrupteur K.
1.1. À l'aide de la relation liant u_L, L et i, déterminer la valeur de u_L en régime permanent.
1.2. Montrer que l'expression de l'intensité I du courant en régime permanent est $I = \frac{U}{R}$.
1.3. Exprimer l'énergie E_L emmagasinée par la bobine lorsque le régime permanent est atteint.
1.4. On souhaite que la bobine stocke l'énergie $E_L = 10$ J en régime permanent. On dispose d'une résistance R égale à 1,8 Ω. Calculer alors la valeur de L pour satisfaire cette condition.

1.5. Aujourd'hui, il existe des bobines supraconductrices (**figure 6**) capables de stocker de l'énergie en les court-circuitant sur elles-mêmes. Ces bobines possèdent une résistance interne que l'on peut considérer comme nulle. Par exemple, une de ces bobines a une inductance de 0,10 H et peut être parcourue par un courant d'intensité égale à 500 A.
Que vaut l'énergie E_{supra} stockée par cette bobine ?

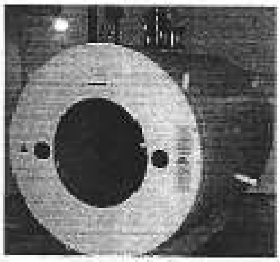


Figure 6. Bobine supraconductrice

2. Stockage de l'énergie dans un condensateur

On charge un condensateur, préalablement déchargé, de capacité C en le branchant en série avec une résistance R' et un générateur de tension de force électromotrice U = 12 V. Le schéma du montage est représenté sur la **figure 7** ci-dessous :

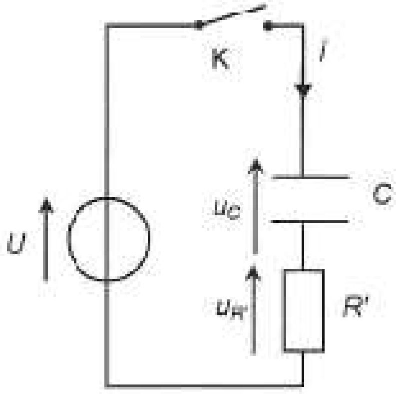


Figure 7. Circuit de charge du condensateur

À t = 0, on ferme l'interrupteur K.
2.1. Que vaut la tension u_C juste après la fermeture de l'interrupteur K ? Justifier.
2.2. En déduire l'expression I_0 de l'intensité i à cet instant.
2.3. L'interrupteur étant fermé depuis suffisamment longtemps, le régime permanent est atteint. Quelle est alors la tension u_C aux bornes du condensateur ?
2.4. Donner l'expression de l'énergie emmagasinée E_C par le condensateur lorsque la charge est terminée.
2.5. On souhaite que le condensateur stocke une énergie E_C = 10 J.
Calculer la valeur de C pour satisfaire à cette condition.
2.6. Aujourd'hui, il existe des supercondensateurs (**figure 8**) dont les capacités peuvent atteindre le millier de farads. On utilise un supercondensateur possédant une capacité de 800 F et dont la tension maximale à ses bornes est égale à 2,5 V.
Que vaut l'énergie E_{super} stockée par ce supercondensateur lorsqu'il est chargé sous la tension maximale ?

Figure 8. Supercondensateur