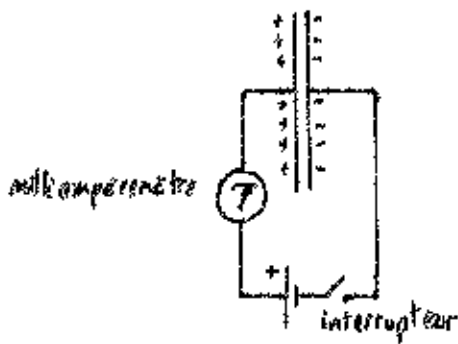


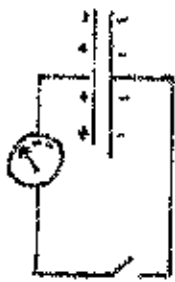
Les condensateurs

Considérons deux plaques métalliques (conductrices) de grande surface disposées parallèlement avec un écartement très faible de l'ordre du mm.

Branchons ces plaques à un générateur de courant continu (une pile par exemple). L'aiguille du milliampèremètre dévie très légèrement puis revient très rapidement à zéro.



Ouvrons l'interrupteur et remplaçons la pile par un fil conducteur.



Quand on referme l'interrupteur le milliampèremètre dévie de nouveau brusquement dans l'autre sens puis revient à zéro.

Dans la première partie de l'expérience bien que le circuit électrique soit ouvert (les plaques sont isolées l'une de l'autre) un courant est passé pendant quelques millisecondes; ce courant traduit un déplacement d'électrons qui globalement ont été "transportés" de la plaque reliée au plus vers la plaque reliée au moins, sous l'effet de la "pression électrique" du générateur.

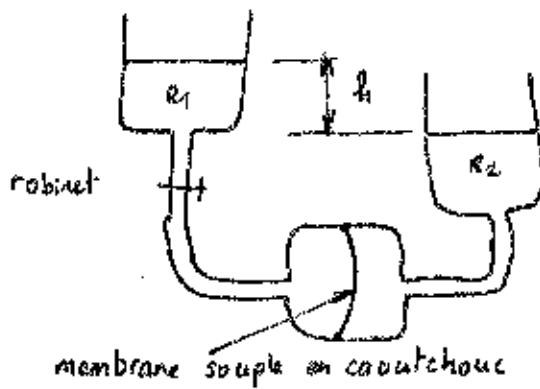
Des charges électriques positives et négatives se sont accumulées sur les plaques.

Quand on débranche le générateur les charges électriques restent stockées sur les plaques car elles s'attirent mutuellement (charges électriques de signes contraires).

Les plaques étant chargées électriquement et de signes contraires, il existe une différence de potentiel entre ces plaques qu'on peut d'ailleurs mesurer. Elle est égale à la force électromotrice du générateur.

Si on "court-circuite" les plaques, les électrons d'une plaque vont rejoindre les charges positives de l'autre plaque par le fil du court circuit d'où apparition d'un courant jusqu'à ce que les plaques soient complètement déchargées : les électrons ayant rejoint les charges positives et globalement s'annuleront.

analogie hydraulique



Deux réservoirs à des altitudes différentes sont reliés par un tuyau. Le tuyau est branché sur un cylindre obturé par une membrane souple en caoutchouc.

Quand on ouvre le robinet, la membrane se déforme sous l'effet de la pression et un léger déplacement de liquide se produit de R_1 vers R_2 .

Bien que le tuyau soit bouché un courant de liquide est passé.

Capacité d'un condensateur

Le système de plaques parallèles isolées est appelé: condensateur.

On le symbolise dans les schémas par $\text{---}||\text{---}$

La quantité d'électricité (de charges électriques) Q stockée sur chacune des plaques est d'autant plus importante que la ddp U fournie par le générateur est importante et dépend aussi des caractéristiques géométriques du condensateur.

On appelle capacité C du condensateur son aptitude à pouvoir stocker des charges électriques. La quantité d'électricité stockée est alors:

$$Q = C U$$

Q en coulomb (symbole C)

U en Volt (symbole V)

C capacité du condensateur en Farad (symbole F)

La capacité du condensateur est donnée par la formule

$$C = \epsilon \frac{S}{e}$$

S surface des plaques en m^2

e distance entre plaques en m

ϵ (lettre epsilon, prononcer épsilonne) coefficient

qui dépend de la nature du matériau isolant entre les plaques appelé diélectrique.

Dans l'exemple précédent le diélectrique était constitué par de l'air.

Dans l'analogie hydraulique ϵ correspond à l'élasticité de la membrane.

Si on augmente la tension aux bornes du condensateur, il arrive un moment où une étincelle électrique jaillit entre les plaques : On arrive à la tension de claquage tout comme la membrane de caoutchouc qui finit par céder sous l'effet de la pression.

La tension de claquage est d'autant plus élevée que la distance entre les plaques est élevée (que la membrane de caoutchouc est épaisse)

Exemple :

Deux plaques parallèles de $0,50\text{m} \times 0,50\text{m}$ distantes de 2cm avec l'air comme diélectrique ont une capacité C de :

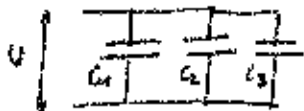
$$C = \epsilon_{\text{air}} \frac{S}{e} = 8,85 \times 10^{-12} \frac{0,50 \times 0,50}{2 \times 10^{-2}} \quad \epsilon_{\text{air}} = 8,85 \times 10^{-12}$$

$$C = 110 \text{ pF} \quad (\text{picofarad} = 10^{-12} \text{ Farad})$$

la tension de claquage de l'air sec (appelée rigidité électrique) étant de l'ordre de 3000 V par mm , le condensateur pourra supporter

$$3000 \text{ V/mm} \times 20 \text{ mm} = 60000 \text{ Volts.}$$

Grouperement de condensateurs



Trois condensateurs C_1, C_2, C_3 sont montés en parallèle et reliés à un générateur de fem U
la quantité d'électricité stockée sur chaque condensateur est :

$$Q_1 = C_1 U$$

$$Q_2 = C_2 U$$

$$Q_3 = C_3 U$$

La quantité totale d'électricité stockée est $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 U + C_2 U + C_3 U$

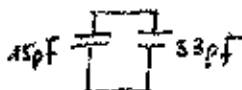
$$Q = (C_1 + C_2 + C_3) U$$

La capacité équivalente des trois condensateurs est $C = \frac{Q}{U} = \frac{(C_1 + C_2 + C_3) U}{U}$

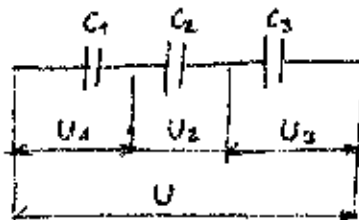
$$\text{soit } \boxed{C = C_1 + C_2 + C_3}$$

Quand les condensateurs sont montés en parallèle leurs capacités s'ajoutent

ex



capacité équivalente $15 + 33 = 48 \text{ pF}$



Si trois condensateurs sont montés en série et branchés à un générateur de fem U , la quantité d'électricité stockée sur chaque condensateur

est la même puisque montés en série les condensateurs ont été parcourus par le même courant. Cette charge vaut

$$Q = C_1 U_1 = C_2 U_2 = C_3 U_3$$

les condensateurs étant montés en série les tensions aux bornes de chacun d'eux U_1, U_2, U_3 s'ajoutent algébriquement :

$$U_1 + U_2 + U_3 = U \quad \text{comme } Q = C_1 U_1 \quad U_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$\text{de même } U_2 = \frac{Q}{C_2}, U_3 = \frac{Q}{C_3} \quad \text{si bien que : } U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

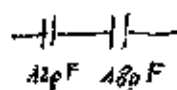
$$U = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

la capacité équivalente de l'ensemble des trois condensateurs vaut $C = \frac{Q}{U}$

$$\text{soit } C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}, \quad \text{d'où } \boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

Quand des condensateurs sont montés en série "les inverses des capacités s'ajoutent"

Exemple :



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{12 \times 18}{12 + 18} = 7,2 \text{ pF}$$

Energie d'un condensateur

En stockant des charges électriques, un condensateur emmagasine de l'énergie électrique. On parle plus exactement d'énergie potentielle puisqu'il y a une différence de potentiel entre les plaques la valeur de cette énergie stockée est :

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

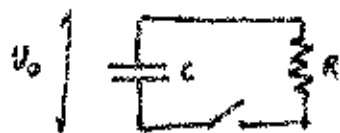
avec W en Joules, C en Farad, U en Volt

Exemple : un condensateur de $4700 \mu\text{F}$ chargé à 48V emmagasine

$$\frac{1}{2} \times 4700 \times 10^{-6} \times 48^2 = 5,41 \text{ J}$$

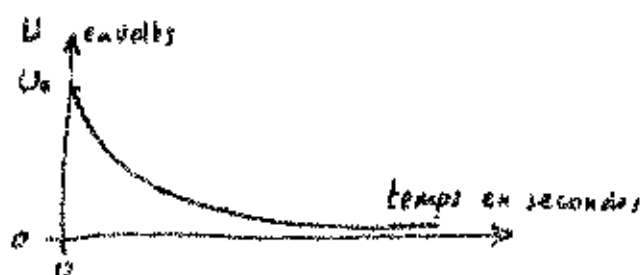
Si à la décharge l'énergie est utilisée en $0,2\text{s}$ la puissance moyenne fournie par le condensateur sera $P = \frac{W}{t} = \frac{5,41}{0,2} = 27,1 \text{ W}$.

Charge - décharge d'un condensateur



Si on décharge un condensateur chargé à la tension U_0 à travers une résistance R la tension aux bornes du condensateur est

la suivante :



la courbe représentant le courant dans la résistance (et aussi le condensateur puisqu'il sont en série) est analogue ($I = \frac{U}{R}$)

Cette courbe montre que la tension aux bornes du condensateur ne passe pas instantanément de U_0 à 0 volt.

Au fur et à mesure que la quantité de charges électriques sur les plaques diminue, la tension décroît et le courant aussi.

Le temps pour décharger le condensateur est d'autant plus important que sa capacité est élevée (beaucoup de charges électriques stockées) et que la résistance en série est élevée (qui limite la valeur du courant de décharge $I_0 = \frac{U_0}{R}$ au début).

On montre mathématiquement que le temps de décharge dépend d'une constante τ (lettre grecque τ) qui vaut :

$$\tau = RC \quad \tau \text{ en secondes, } R \text{ en Ohm et } C \text{ en Farad}$$

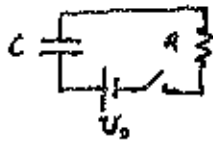
Au bout de τ secondes il ne reste plus que $0,37 U_0$ aux bornes du condensateur, au bout de 2τ seconde il reste $0,37 \times 0,37 U_0 \approx 0,13 U_0$, au bout de 3τ secondes il n'y a plus que $0,13 U_0 \times 0,37 \approx 0,05 U_0$, au bout de 4τ moins de $0,02 \approx 2\%$ de U_0 .

Exemple :

Un condensateur de $100 \mu F$ est chargé à $1000 V$ qui se décharge à travers une résistance de $1 M\Omega$. τ vaut $100 \times 10^{-6} \times 10^6 = 100 s$. Au bout de $100 s$ (1 min 40 s) il reste encore $1000 V \times 0,37 \approx 370 V$ à ses bornes.

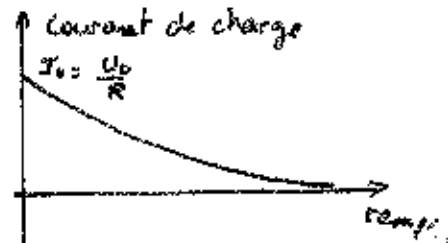
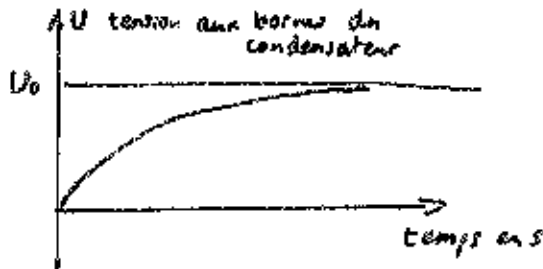
Attention : ne jamais toucher les bornes d'un condensateur chargé avec une haute tension. Toujours vérifier qu'il est bien déchargé.

Charge d'un condensateur



Tout comme la décharge, la charge d'un condensateur n'est pas instantanée dès mise sous tension.

La courbe de charge est la suivante



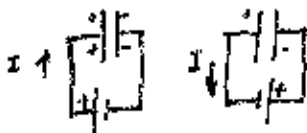
les courbes de charge et de décharge sont des courbes exponentielles où intervient la constante de temps $RC = \tau$

Plus τ est élevé plus charges et décharges sont lentes

Impédance d'un condensateur

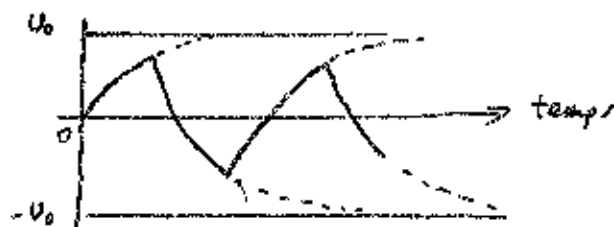
Un condensateur branché à un générateur de courant continu laisse passer un léger courant pendant quelques fractions de secondes ou plus si τ est élevé puis une fois chargé s'oppose au passage du courant. le condensateur "bloque" le courant continu.

Par contre si avant que le condensateur ne soit chargé on inverse les polarités du générateur il va se décharger puis se recharger de nouveau avec une polarité inverse.



Si au court de cette nouvelle charge on inverse à nouveau la polarité du générateur on repart pour une nouvelle décharge.

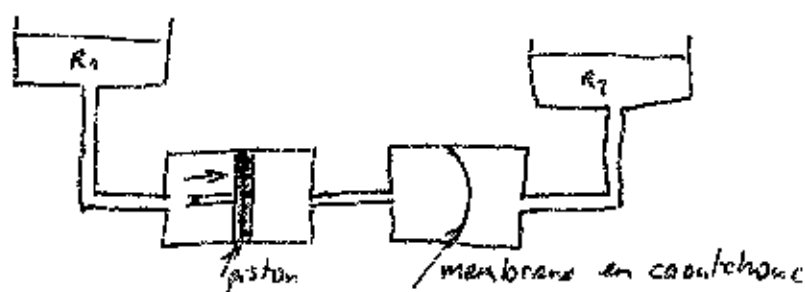
Pendant ces cycles de charge et de décharge il ne cesse de passer un courant dans le circuit, le sens du courant changeant à chaque cycle.



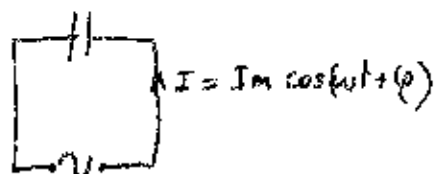
Ceci montre qu'un condensateur soumis à une ddp alternative (qui change de signe en permanence) est traversé par un courant alternatif.

Cela peut paraître un peu paradoxal car en fait aucun électron ne passe d'une plaque du condensateur à l'autre et pourtant il y a bien déplacement des électrons donc courant électrique dans les fils. Cela tient au fait que le condensateur est capable de stocker des charges électriques.

En reprenant l'analogie hydraulique si dans le circuit on intercale un piston animé d'un mouvement alternatif la membrane de caoutchouc va se déformer alternativement à droite et à gauche au rythme du piston.



Dans l'expérience précédente plutôt que d'utiliser un générateur de courant continu dont on inverse les polarités, si on utilise un générateur de courant alternatif sinusoïdal délivrant une tension $U = U_m \cos(\omega t)$ on observe que le courant est lui aussi une fonction sinusoïdale du temps de la forme : $I = I_m \cos(\omega t + \phi)$.



le rapport en U_m et I_m

$U = U_m \cos(\omega t)$ qui vaut d'ailleurs $\frac{U_{eff}}{I_{eff}}$ est appelé impédance du condensateur. Il est analogue à une résistance (rapport $\frac{U}{I}$) et s'exprime en Ohm (Ω)

L'impédance c'est en fait la résistance au passage du courant alternatif sinusoïdal

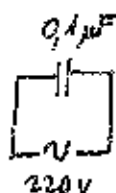
Si le condensateur a une capacité élevée, pendant les cycles de charge et de décharge le courant sera aussi élevé et d'autant plus élevé que les cycles sont rapides (c'est au début de la charge ou de la décharge que le courant est maximum)

On montre mathématiquement que l'impédance d'un condensateur soumis à une ddp sinusoïdale vaut

$$Z = \frac{1}{C\omega}$$

Z en Ω
C capacité en Farads
 ω pulsation en rd/s
($\omega = 2\pi f$)

Exemple



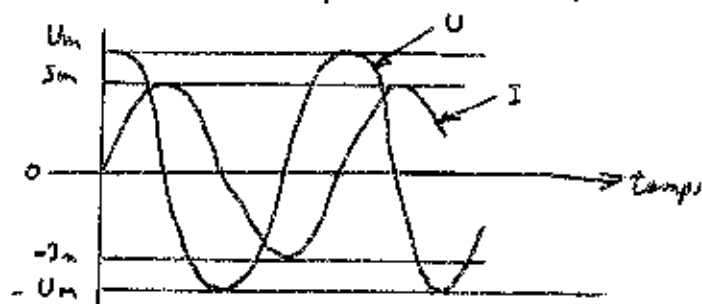
$$Z = \frac{1}{10^{-3} \times 2\pi \times 50} = 31,8 \text{ k}\Omega$$

Déphasage

Dans les cycles de charge et de décharge d'un condensateur soumis à une ddp alternative sinusoïdale, au moment où la tension aux bornes du condensateur est maximum il est à sa charge maximum ($Q = C.U$) mais ne se charge plus, il ne passe alors plus de courant.

De même quand la tension aux bornes du condensateur est nulle (inversion de polarité) le courant est maximum.

Courants et tension ne sont pas en phase. On montre et on vérifie que le déphasage est de $\frac{\pi}{2}$ radians ($= 90^\circ$). Tension et intensité sont en quadrature de phase



le courant est en retard d'un quart de période par rapport à la tension (déphasage de $-\frac{\pi}{2}$)

$$\text{Si } U = U_m \cos \omega t \quad I = I_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

avec $I_m = \frac{U_m}{Z}$

Technologie :

Les condensateurs sont souvent constitués de deux feuilles métallisées séparées par une feuille d'isolant (diélectrique) et enroulées sur elles mêmes. Dans les condensateurs "chimiques" l'isolant est déposé par électrolyse. Ces condensateurs sont polarisés. Toujours brancher le + de l'alimentation au + du condensateur.

symbole: