

Le condensateur

Définition

Un condensateur (qu'on appelle aussi « une capa ») est constitué de deux armatures conductrices séparées par un isolant appelé diélectrique.

Un condensateur est caractérisé par sa capacité C qui s'exprime en Farad et sa tension maximale.

Le Farad (unité homogène dans le système MKSA) est une unité trop grande pour être utilisée. En pratique les grandeurs utilisées sont généralement des valeurs allant de l'ordre du pico-Farad ($1 \text{ pF} = 10^{-12}$ Farad) aux valeurs de l'ordre du micro-Farad ($1 \mu\text{F} = 10^{-6}$ Farad).

La tension maximale correspond à la tension qui peut lui être appliquée sans risque de détruire le diélectrique.

Certains condensateurs (notamment les électrochimiques) sont polarisés. Cela signifie que la nature de leur diélectrique est telle que la tension ne doit être appliquée que dans le bon sens.

Fonctionnement

Un condensateur accumule la charge électrique.

En régime permanent le condensateur se comporte comme un circuit ouvert.

En régime variable, il se comportera suivant les relations suivantes :

$$q = C U$$

q en Coulombs, C en Farads, U en Volts, i en Ampères, t en secondes

$$i = \frac{d q}{d t} \quad \text{et} \quad q = C U \quad \Rightarrow \quad i = C \frac{d U}{d t}$$
$$U = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + U_0 \quad (U_0 \text{ est la charge initiale})$$

L'énergie emmagasinée quand la tension U varie de 0 à U_{\max} sera :

$$E = \frac{1}{2} C U^2 \quad \text{E en Joules}$$

La puissance pourra être soit positive quand E augmente, soit négative quand E diminue.

$$P = U(t) i(t) \quad \text{P en Watts}$$

En régime sinusoïdal le condensateur sera d'autant plus « passant » que la fréquence est élevée.

On définira son impédance Z en Ω (Ohms) de la façon suivante :

Soit la fréquence sinusoïdale ω en Hz (Hertz) et le terme imaginaire j tel que $j^2 = -1$

$$Z = \frac{1}{j C \omega} \quad \text{donc} \quad U = Z i \Rightarrow U = \frac{i}{j C \omega}$$

Associations de condensateurs

Aussi bien en régime continu, en régime variable, sinusoïdal, etc...

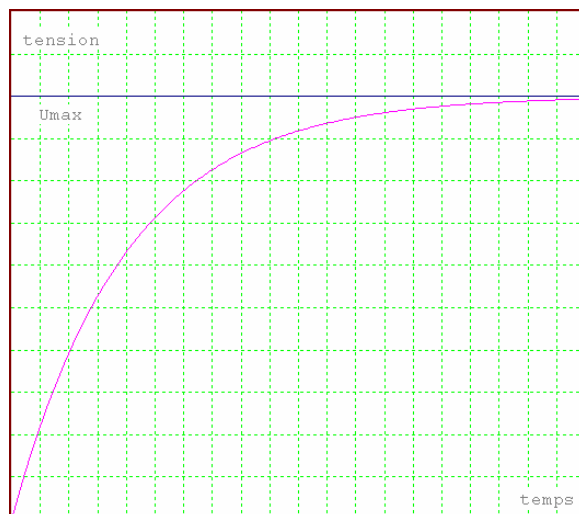
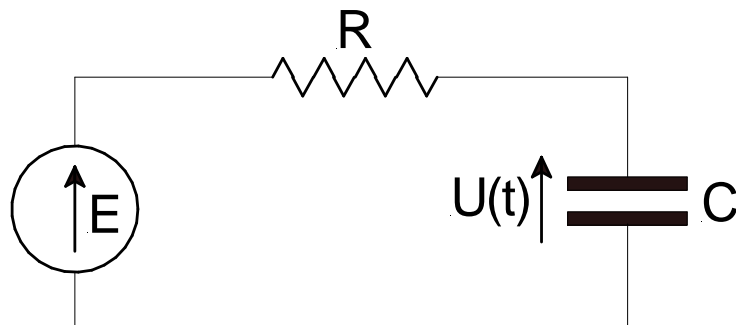
En parallèle: $C_{total} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$

En série : $\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$

Charge

Calcul de la tension $U(t)$ aux bornes d'un condensateur pendant la charge :

Si on met en série avec un condensateur C un générateur E et une résistance R **on le charge.**



$$U(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

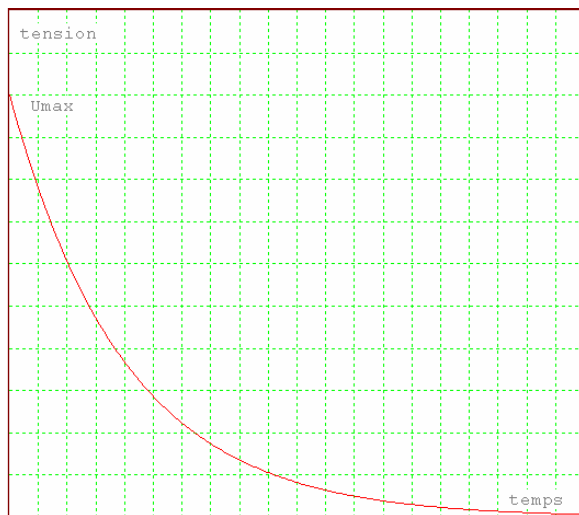
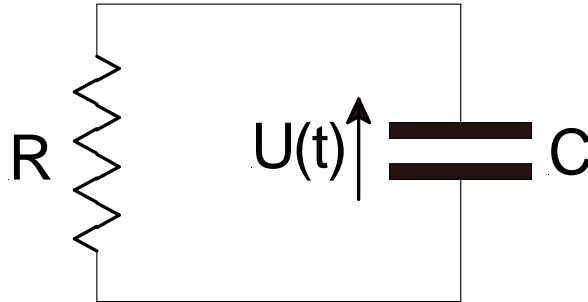
$$i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

La tension est une exponentielle partant de 0 V à $t = 0$ s et ayant comme asymptote la valeur E (ou U_{max}) du générateur.

Décharge

Calcul de la tension $U(t)$ aux bornes d'un condensateur pendant la décharge :

Si on referme un condensateur C chargé à la tension E sur une résistance R , **on le décharge.**



$$U(t) = E e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$i(t) = \frac{E}{R} e^{\frac{-t}{RC}}$$

La tension est une exponentielle partant de la valeur E (ou U_{\max}) de la charge initiale du condensateur à l'instant $t = 0$ s et ayant comme asymptote $U = 0$

Remarques sur la charge et la décharge

Dans les 2 cas la tension part rapidement de sa valeur initiale et tend asymptotiquement vers sa valeur finale.

Le courant, au début, a la même valeur que si C était un court-circuit ($i = E / R$) et tend asymptotiquement vers zéro en fin de charge/décharge.

La vitesse de descente/montée de l'exponentielle dépend du produit $R.C$ qu'on appellera la *période* et qu'on notera : τ (tau). $\tau = RC$

Approximation par segments de droite :

$$U(\tau) = 63 \% E.$$

$$U(3\tau) = 95 \% E.$$

$$U(5\tau) = 99 \% E.$$

La bobine

Définition

Une bobine (qu'on appelle aussi « une self-inductance » ou tout simplement « une self ») est constituée d'un enroulement de spires conductrices autour d'un isolant ou d'un noyau ferromagnétique (ferrite, tôles, etc...).

Elle est caractérisée par son inductance L qui s'exprime en Henry (H).

Étant constituée d'une certaine longueur de fil enroulé, il faudra aussi tenir compte de sa résistance interne.

Fonctionnement

Le passage d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique.

Si le courant varie, le champ magnétique varie aussi. Et quand une bobine est soumise à un champ magnétique variable il y a *induction*.

C'est le phénomène de l'auto-induction :

Le passage d'un courant i qui varie dans les spires de la bobine crée un champ magnétique qui fait apparaître aux bornes de celle-ci une tension u s'opposant au courant qui l'a générée.

À l'inverse du condensateur, en régime permanent la bobine est *passante*.

En régime variable, elle se comportera suivant les relations suivantes :

Dans les formules ci-dessous la résistance interne a été ignorée. Elle sera incluse dans la résistance série représentant toutes les résistances du circuit (générateur, charge,...)

L en Henry, U en Volts, i en Ampères, t en secondes

$$U = -L \frac{d i}{d t}$$
$$i = \frac{1}{L} \int_0^t U dt + I_0 \quad (I_0 \text{ est le courant initial})$$

L'énergie emmagasinée quand le courant i varie de 0 à i_{\max} sera :

$$E = \frac{1}{2} L i^2 \quad \text{E en Joules}$$

La puissance pourra être soit positive quand E augmente, soit négative quand E diminue.

$$P = U(t) i(t) \quad \text{P en Watts}$$

En régime permanent la bobine est « passante ».

En régime sinusoïdal la bobine sera d'autant moins « passante » que la fréquence augmente.

On définira son impédance Z en Ω (Ohms) de la façon suivante :
 Soit la fréquence sinusoïdale ω en Hz (Hertz) et le terme imaginaire j tel que $j^2 = -1$

$$Z = j L \omega \quad \text{donc} \quad U = Z i \Rightarrow U = j L i \omega$$

Associations de bobines

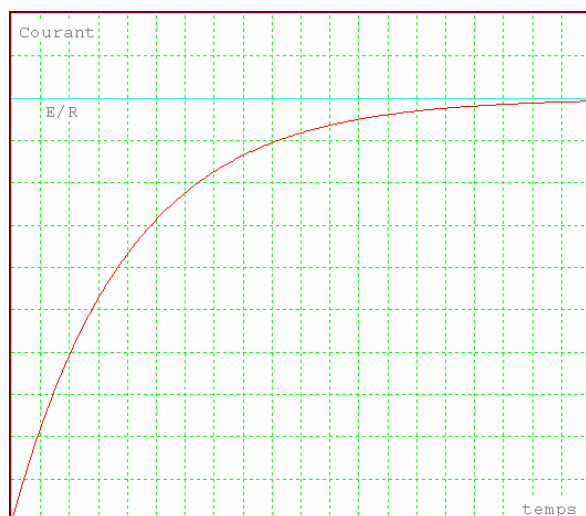
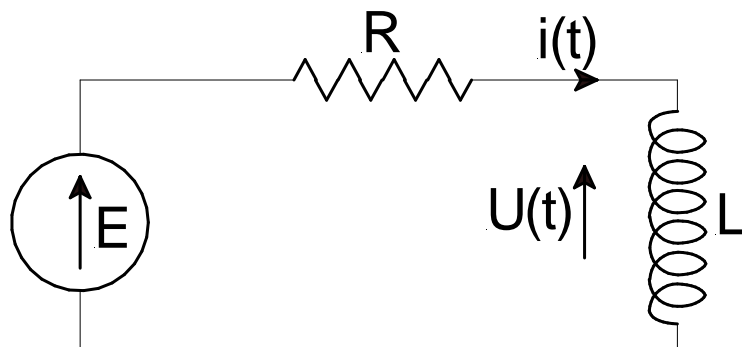
Aussi bien en régime continu, en régime variable, sinusoïdal, etc...

En série : $L_{total} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$

En parallèle: $\frac{1}{L_{total}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$

Charge

Calcul de la tension $U(t)$ aux bornes d'une bobine pendant la charge :
 Si on met en série avec une bobine L un générateur E et une résistance R on la charge.



$$i(t) = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right)$$

$$U(t) = E e^{-\frac{Rt}{L}}$$

Le courant est une exponentielle partant de 0 à $t = 0$ s et ayant comme asymptote la valeur E/R

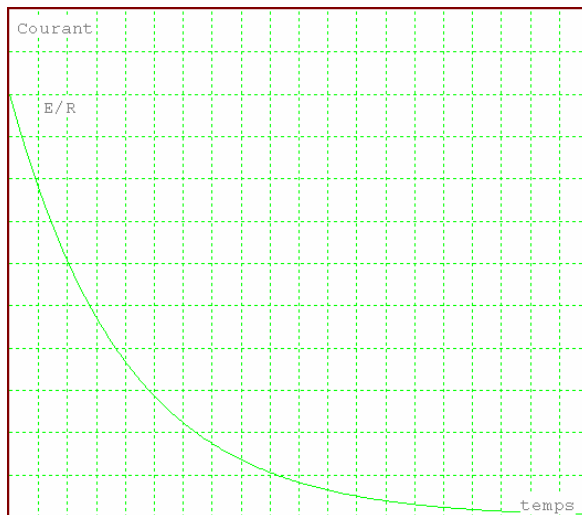
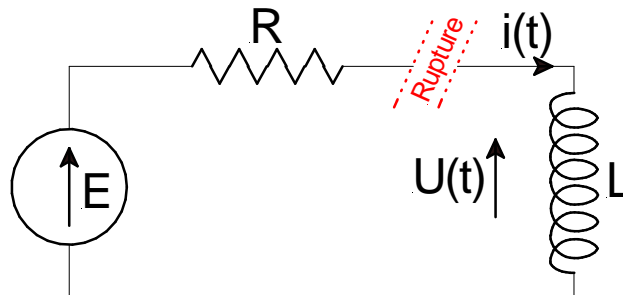
Rupture

On décharge un condensateur en refermant le circuit sur une charge (voir § précédent).

Ça n'aurait aucun sens pour une bobine.

Au contraire, on récupèrera l'énergie en ouvrant le circuit. La variation du courant établi qui chutera à zéro auto-induira une tension tentant de s'opposer à cette chute du courant.

C'est le principe utilisé pour l'allumage des moteurs à essence.



$$i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{Rt}{L}}$$

$$U(t) = -E e^{-\frac{Rt}{L}}$$

Le Courant est une exponentielle partant de sa valeur initiale E/R à l'instant $t = 0$ s et ayant comme asymptote $i = 0$

Remarques sur la charge et la rupture

On remarque que le comportement de la bobine est l'inverse de celui d'un condensateur.

La vitesse de descente/montée de l'exponentielle dépend du produit $R.C$ qu'on appellera la *période*

et qu'on notera : \mathcal{T} (tau). $\mathcal{T} = L / R$

Approximation par segments de droite :

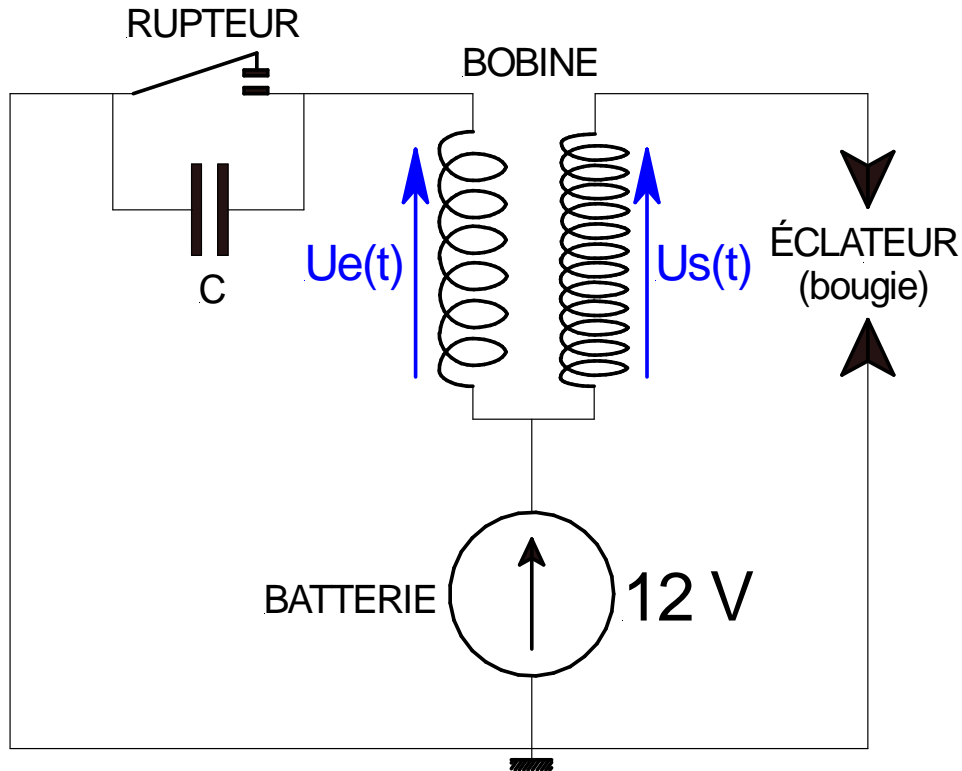
$$i(\mathcal{T}) = 63 \% i_{\max.}$$

$$i(3\mathcal{T}) = 95 \% i_{\max.}$$

$$i(5\mathcal{T}) = 99 \% i_{\max.}$$

PRINCIPE D'ALLUMAGE (Moteur à essence)

Ce système, basé sur le principe de la bobine de Ruhmkorff, a été utilisé jusqu'aux années 70. Ensuite l'électronique a commencé à en remplacer presque tous les éléments.



Au départ le rupteur est fermé. Un courant constant passe dans le circuit primaire (côté gauche de la bobine).

La bobine est en réalité un transformateur avec un rapport de nombre de spires de l'ordre de 100. Le courant du primaire étant continu il n'y aura pas de courant au secondaire.

Au moment où le rupteur (vis platinées) s'ouvre, la rupture du courant provoque un pic de tension d'environ 150 V tentant de s'opposer à l'arrêt du courant.

Ce pic de tension se répercutant aux bornes du rupteur pourrait provoquer une étincelle et en brûler les contacts. C'est le rôle du condensateur qui, devenu *passant* pour ce régime transitoire protège le rupteur.

Ce pic de tension au primaire, $U_e(t)$, provoque au secondaire un pic, $U_s(t)$, amplifié par le rapport de spires, d'environ 15 000 V.

Ce pic de tension provoquera une étincelle aux bornes de l'éclateur (les bougies).

Dans ces anciens moteurs un organe mécanique, le distributeur (ou Delco), non représenté sur le schéma, était chargé de provoquer l'ouverture du rupteur au moment précis où on avait besoin de l'étincelle, et en sortie il distribuait la tension à la bougie qui en avait besoin.