Cours	Cours AL 2	TSI1 (Période 2)
	Alimenter : Signaux variables	**1h**
	Cycle 4 : Alimenter	2 semaines

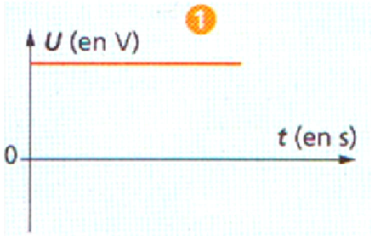
MODELISER : Modéliser le signal d'entrée.
RESOUDRE : Proposer une démarche permettant de déterminer des grandeurs électriques.
RESOUDRE : Déterminer les signaux électriques dans les circuits.
EXPERIMENTER : Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer.

1 Signaux alternatifs ou continus

Un signal électrique peut se présenter sous différentes formes :

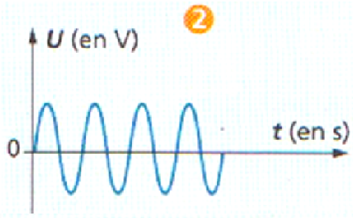
- **continue** : les signaux sont toujours du même signe (appellation **DC :** Direct Current),
- **alternative** : les signaux sont alternativement positif et négatif (appellation **AC :** Alternative Current). Les signaux alternatifs sont souvent périodiques : les alternances se répètent de façon cyclique (signal carré, triangulaire, sinusoïdal…)

continu lissé



Mesure :
- Multimètre en DC
- Oscilloscope en DC

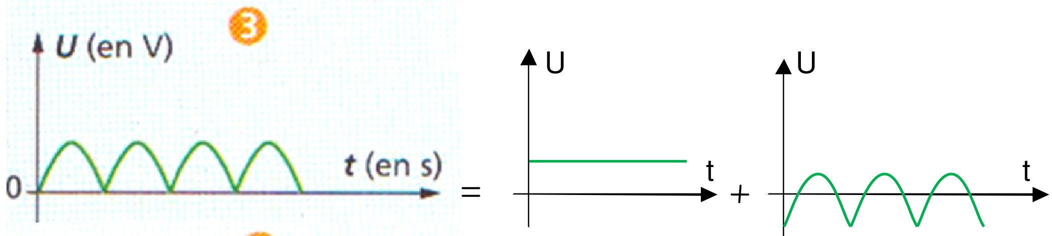
alternatif sinusoïdal



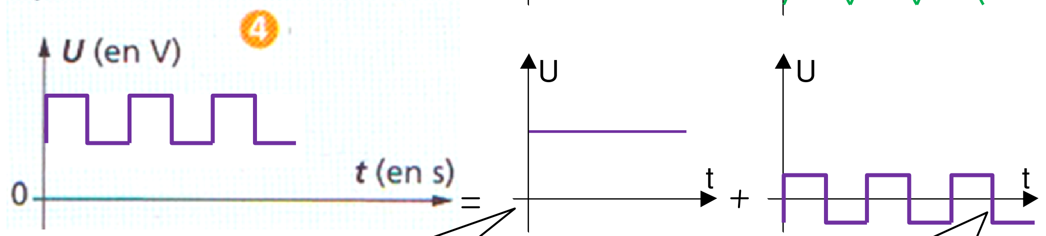
Visualisation du signal :
- Oscilloscope en AC

Valeur efficace :
- Multimètre en AC+DC

continu ondulé



continu ondulé



Mesure de la composante de la composante continue :
- multimètre en DC

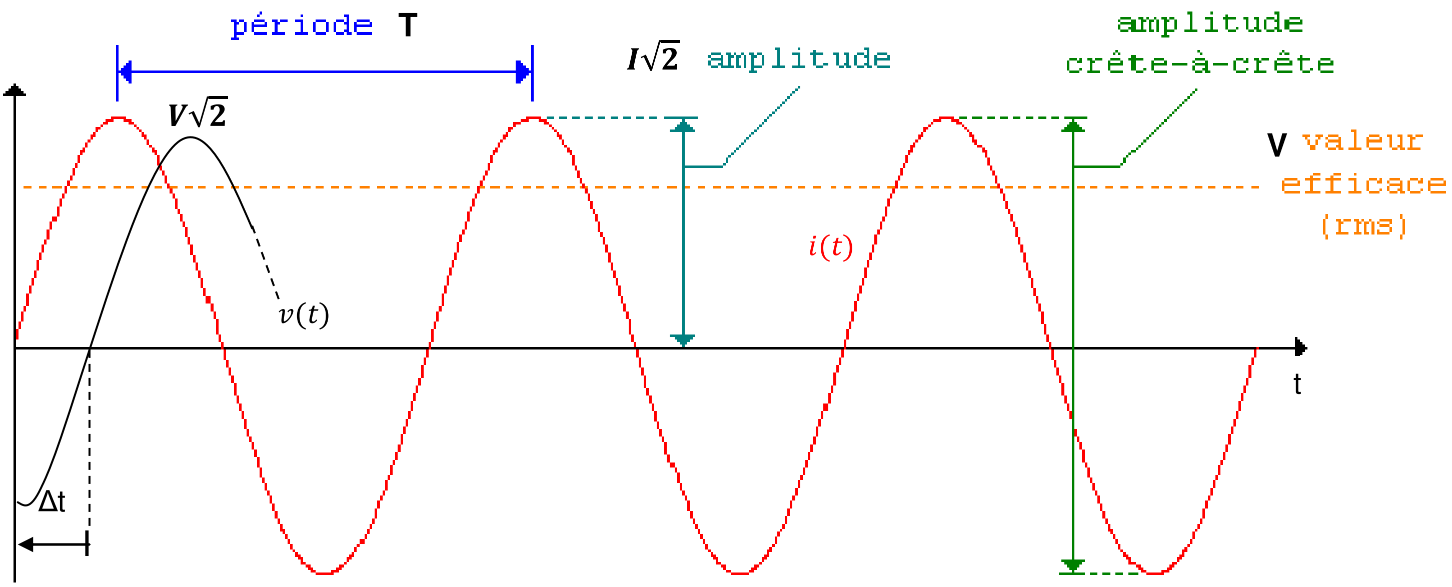
Visualisation de la composante ondulatoire
- oscilloscope en AC

Les signaux {2, 3, 4} peuvent être décomposés : signal continu lissé + signal alternatif.
On parlera alors de **composante continue** et de **composante ondulatoire** du signal.

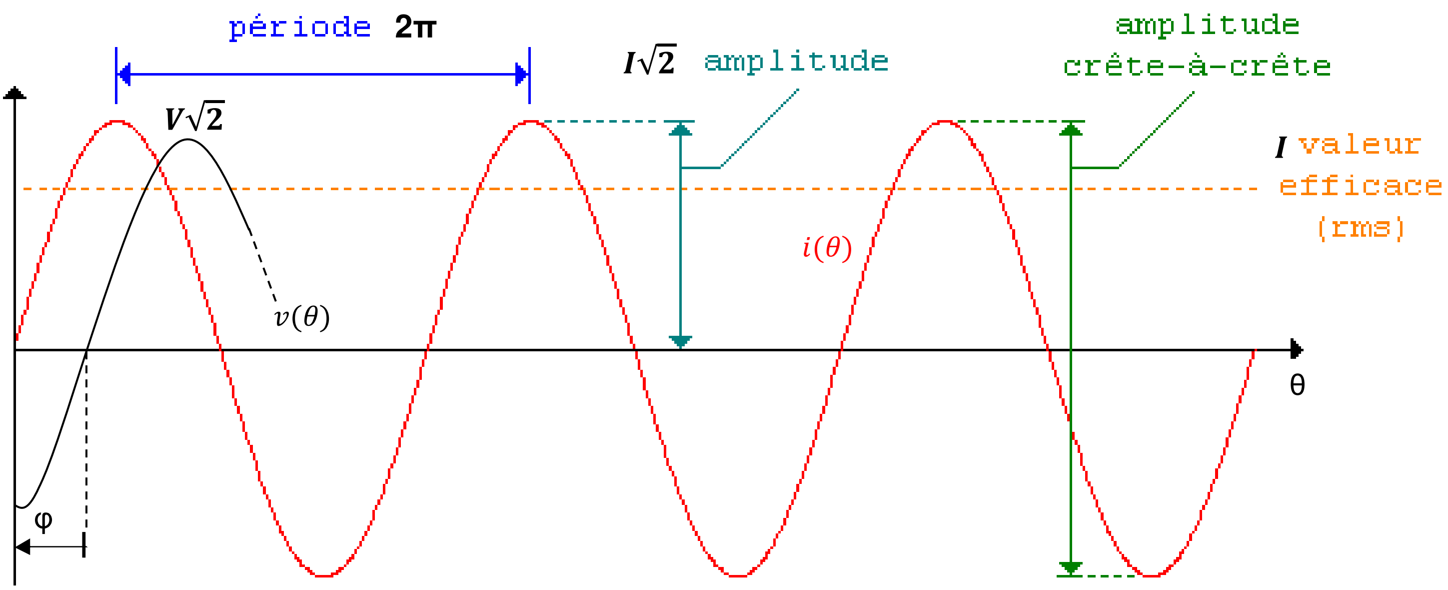
2 Signaux sinusoïdaux

Les alternateurs qui alimentent le réseau électrique sont entrainés par un système hydromécanique et génèrent une tension sinusoïdale de fréquence f = 50Hz.
La tension efficace délivrée chez les particuliers vaut V = 230V.

Exemple : tracé de la tension et du courant sinusoïdaux en fonction du temps t



Exemple : tracé de la tension et du courant sinusoïdaux en fonction de la phase θ



$$\boxed{f = \frac{1}{T}}$$

$$\boxed{\omega = 2\pi f}$$

$$\boxed{\theta = \omega t}$$

$$\boxed{\varphi = \frac{2\pi}{T}\Delta t}$$

f : fréquence du signal en Hz (exemple : f = 50Hz)
T : période du signal en s (exemple : T = 0,02s)
ω : pulsation du signal en rad.s^{-1}
2π est la période du signal en rad
θ : phase en rad
t : temps en s
Δt : retard (si Δt < 0) ou avance (si Δt > 0) en s
φ : déphasage en rad

Le déphasage φ est l'angle dont il faut décaler la courbe $v(\theta)$ pour être en phase avec le signal $i(\theta)$ pris comme origine des phases.
Le déphasage dépend de la nature du récepteur.

Par définition, l'expression cartésienne d'un signal sinusoïdal est la suivante :

$$\boxed{x(t) = amplitude * \sin(pulsation * t + déphasage)}$$

Pour un signal sinusoïdal il existe un rapport $\sqrt{2}$ entre l'amplitude et la valeur efficace :

$$\boxed{amplitude = X\sqrt{2}}$$

Exemple pour le signal $v(t)$ ou $i(\theta)$ représenté précédemment :

$$v(t) = V\sqrt{2}.sin(\omega t + \varphi)$$
$$i(\theta) = I\sqrt{2}.sin(\theta)$$

Vocabulaire supplémentaire (de préférence avec un déphasage $-\pi < \varphi \leq \pi$) :

- **Avance de phase** si φ > 0 $x_1(\theta) = X_1\sqrt{2}.sin(\theta + \varphi)$
- **Retard de phase** si φ < 0 $x_1(\theta) = X_1\sqrt{2}.sin(\theta + \varphi)$
- **En phase** si φ = 0 $x_1(\theta) = X_1\sqrt{2}.sin(\theta)$
- **En quadrature** si $\varphi = \pm\pi/2$
- **En opposition de phase** si φ = ±π

3 Caractéristiques des signaux alternatifs ou continus

3.1 Valeurs moyenne d'un signal périodique

Pour un signal périodique ***x*** de période T ou 2π, on note ***<x>*** sa valeur moyenne.

$$\boxed{< x > = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} x(\theta)d\theta}$$

Remarque : ***<x>*** représente la **composante continue** du signal x(t).

3.2 Valeur efficace d'un signal périodique

On note ***Xeff*** ou **X** la valeur efficace d'un signal quelconque **x(t)** périodique de période ***T ou 2π***.

$$\boxed{X = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T x^2(t)dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} x^2(\theta)d\theta}}$$

Remarque :

- la valeur efficace du courant représente l'intensité du courant qui en continu dissiperait la même puissance à travers une résistance.

4 Puissances

4.1 Puissance instantanée

Puissance électrique instantanée :

$$p(t) = u(t) * i(t)$$

$p(t)$: puissance instantanée (en W)
$u(t)$: tension instantanée (en V)
$i(t)$: courant instantané (en A)

4.2 Puissance moyenne

Le critère dimensionnant pour les composants de la chaine de puissance est souvent la puissance que le composant peut supporter continument sans dommage.
On s'intéresse alors la puissance moyenne pendant un cycle de fonctionnement :

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t).dt$$

4.2.1 Puissance moyenne avec une grandeur constante

La tension U est constante pour une source de tension parfaite notamment (c'est le courant I qui est constant pour une source de courant parfaite).

Puissance moyenne (si soit i soit u est constant) $\boldsymbol{P = \langle u \rangle . \langle i \rangle}$

P : puissance électrique moyenne (en W)
$\langle i(t) \rangle$ (parfois noté I ou $Imoy$) : courant moyen sur un cycle (en A)
$\langle u(t) \rangle$ (parfois noté U ou $Umoy$) : tension moyenne sur un cycle (en V)

Remarque :
si u(t) est constant à Uo alors <u> = Uo
si i(t) est constat à Io alors <i> = Io

4.2.2 Puissance moyenne dissipée par effet Joule

La puissance électrique P_R absorbée par une résistance est convertie en chaleur : c'est ce que l'on appelle l'effet Joule.

En intégrant la loi d'Ohm dans la définition de la puissance, on obtient :

$$P_R = \frac{1}{T}\int_0^T u_R(t).i_R(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T R.\left(i_R(t)\right)^2 dt = R.\frac{1}{T}\int_0^T \left(i_R(t)\right)^2 dt = R.I_R^2$$

Puissance dissipée par effet Joule : $\boldsymbol{P_R = R.I_R^2}$ ou de la même façon : $\boldsymbol{P_R = \frac{U_R^2}{R}}$

P_R : Puissance dissipée par effet Joule dans la résistance(en W)
U_R (ou U_{eff}) : tension efficace aux bornes de la résistance (en V)
I_R (ou I_{eff}) : courant efficace qui circule dans la résistance (en A)
R : résistance en ohm (en Ω)

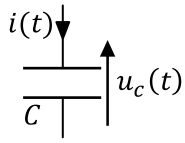
Exemple : Résistance R=12Ω traversée par un courant $I_R = 1A$ dissipe $P_R = 12W$

5 Etude des régimes transitoires en alimentation continue

5.1 Condensateur et supercondensateur

Un condensateur est un composant capable de stocker des charges électriques q.

Symbole électrique du condensateur



Le condensateur est un composant passif : **convention récepteur** (sens inverse pour $i(t)$ et $u_C(t)$).
Un condensateur se charge (ou se décharge) en présence d'un courant $i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \neq 0$.

Loi caractéristique d'un condensateur :

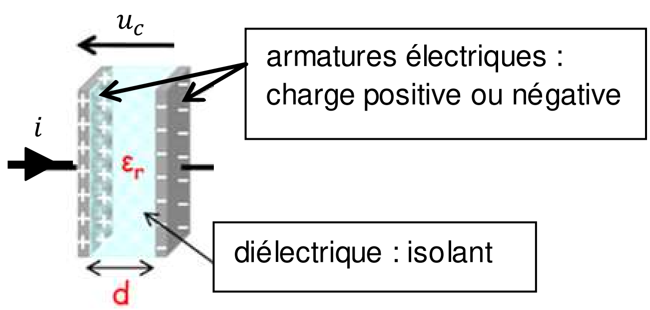
$$\boxed{i(t) = C.\frac{du_c(t)}{dt}}$$

$i(t)$: courant circulant dans le condensateur (en A)
C : capacité du condensateur (en farad : F) - ordre de grandeur 1 mF
$u_c(t)$: tension aux bornes du condensateur (en V)
$q(t)$: charge stockée sur la borne positive = coté flèche de $u_c(t)$) dans le condensateur (en coulomb : C)

Technologie (exemple d'un condensateur plan) et expression de la capacité C

$C = \frac{\varepsilon.S}{d}$

C : Capacité (en F)
ε : Constante diélectrique (en $F.m^{-1}$)
S : Surface d'interaction "électrode – diélectrique" (en m²)
d : Epaisseur du diélectrique (en m)

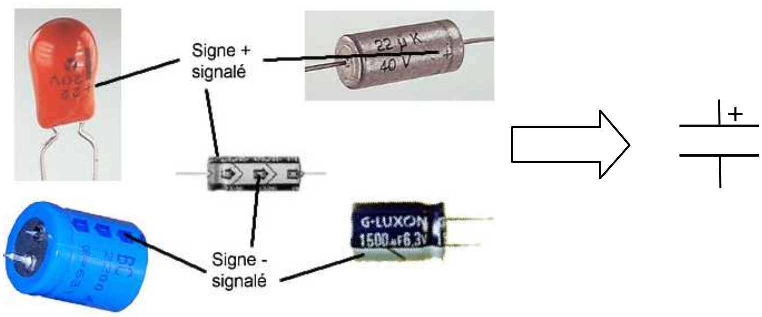


Matériaux constitutifs variés :

- céramique (mica, verre…)
- organique (papier, plastique…)
- métallique (aluminium, tantale…)

Taille et forme
Les condensateurs de forte capacité sont généralement cylindriques.
Il existe aussi des condensateurs carrés ou en forme de goutte.
D'après sa définition, la capacité est proportionnelle à la taille mais certains matériaux comme le tantale sont plus performants et donc plus compact.

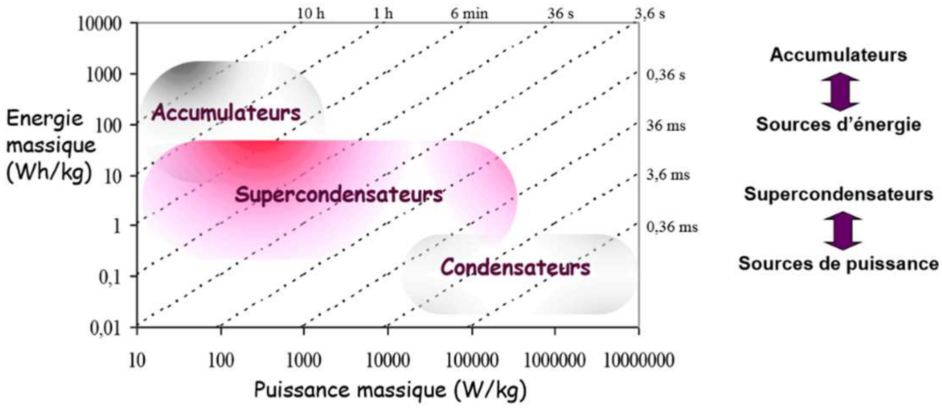
Polarité
Les condensateurs de fortes capacités (1mF à 1F) sont souvent électrochimiques (électrolyse d'aluminium) et sont généralement polarisés (non réversibles en tension).
On utilise alors un symbole électrique signé.
Les condensateurs de faible capacité (entre 1 µF et 1pF=10^{-12}F) sont souvent non polarisés.



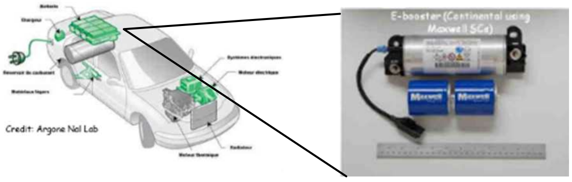
Supercondensateur

En énergie de puissance, on peut faire appel aux supercondensateurs dont l'électrolyte liquide et les armatures poreuses permettent d'augmenter la surface d'interaction et donc d'atteindre de grandes capacités supérieures à 1F.

Diagramme de Ragone



Exemple : Supercondensateur d'alterno/démarreur sur véhicule hybride e-Hdi :



−15% de carburant

CO_2 < 130 g/km

Accumulateur : regroupe les piles (non rechargeables) et les batteries (rechargeables).

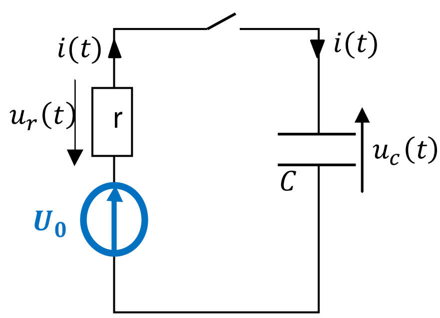
L'association supercondensateurs et accumulateurs en parallèles permet d'avoir :

- une énergie massique importante grâce **aux accumulateurs** : pour l'autonomie
- une puissance massique élevée grâce **aux supercondensateurs** : pour les transitoires (accélération ou démarrage)

Utilisation pratique des condensateurs :

- en parallèle avec une source continue, le condensateur (une fois chargé) permet de stabiliser la tension aux bornes de l'alimentation (atténue notamment sa composante ondulatoire éventuelle en tension),
- stocker de l'énergie (notamment le supercondensateur).

5.2 Charge d'un condensateur



Hypothèses :

- capacité **C = 1mF**
- à t=0, on ferme l'interrupteur et le condensateur est déchargé $u_c(0) = 0$
- une batterie de tension **Uo=5V** et de résistance interne **r=1Ω**.

Loi des mailles (à partir de t=0) **:**

$$u_r(t) + u_c(t) = U_0$$

Caractéristiques des composants passifs :

- condensateur : $i(t) = C.\frac{du_c(t)}{dt}$
- résistance (loi d'Ohm) : $u_r(t) = r.i(t)$ donc $u_r(t) = r.C.\frac{du_c(t)}{dt}$

On obtient l'équation différentielle de la charge suivante :

$$r.C.\frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) = U_0$$

de constante de temps $\tau = r.C$ (=1ms)
de solution particulière est U_0 (tension constante de dérivée nulle)
de la solution à l'équation homogène : $K.e^{-t/\tau}$ (où K est une constante d'intégration)

La solution est donc $u_c(t) = U_0 + K.e^{-t/\tau}$ à la constante d'intégration K près.

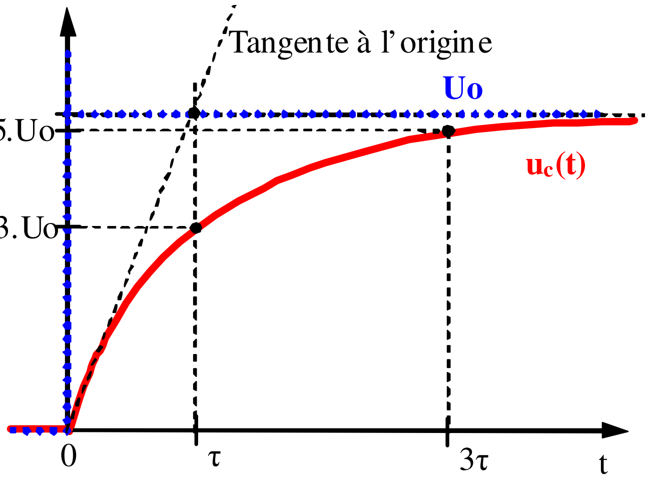
Condition initiale :

$u_c(0) = U_0 + K.e^0 = 0$ donc $K = U_0$

Finalement, l'équation de la charge est :

$$\boldsymbol{u_c(t) = U_0.\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)}$$

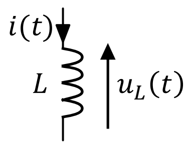
avec $\boldsymbol{\tau = r.C}$



5.3 Inductance

Une inductance est une bobine de fil conducteur qui va générer une tension à ses bornes en présence d'une variation du courant qui la traverse (phénomène d'induction). La tension va avoir tendance à s'opposer à la variation de courant qui lui a donné naissance.

Symbole électrique d'une inductance



L'inductance est un composant passif : **convention récepteur** (sens inverse pour $i(t)$ et $u_L(t)$).

Loi caractéristique d'une inductance:

$$\boxed{\boldsymbol{u_L(t) = L.\frac{di(t)}{dt}}}$$

$u_L(t)$: tension aux bornes de l'inductance (en V)
L : inductance (en henry : H) - ordre de grandeur 1mH
$i(t)$: courant circulant dans le condensateur (en A)

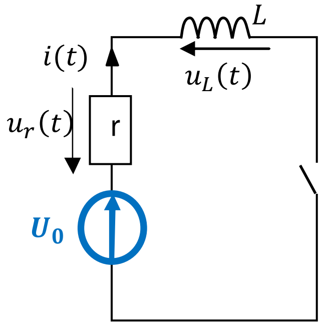
Technologie des inductances

On rencontre les inductances dans tous les actionneurs électromagnétiques et notamment dans le rotor d'un moteur à courant continu (inductance des moteurs du laboratoire de l'ordre de 1mH).

L'inductance est proportionnelle au nombre de spires et à la surface projetée d'une spire (πD^2 pour une spire circulaire de diamètre D).
L'inductance dépend aussi du noyau : matériau placé au centre de la bobine.

On obtient une inductance variable par déplacement du noyau (plaques métalliques) qui facilite la circulation du champ magnétique.

5.4 Charge d'une inductance



Hypothèses :

- inductance **L = 1mH**
- à t=0, on ferme l'interrupteur et la bobine est déchargée $\boldsymbol{i_L(0)=0}$
- une batterie de tension **Uo=5V** et de résistance interne **r=1Ω**.

Loi des mailles (à partir de t=0)

$$u_r(t)+u_L(t)=U_0$$

Caractéristiques des composants passifs :

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

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

On obtient l'équation différentielle de la charge suivante : $R.i(t)+\ L.\frac{di(t)}{dt}=U_0$ soit $i(t)+\frac{L}{R}.\frac{di(t)}{dt}=\frac{U_0}{R}$

Avec les conditions initiales nulles, on arrive à la solution $\boldsymbol{i(t)=\frac{U_0}{R}\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)}$ avec $\boldsymbol{\tau=\frac{L}{R}}$ (=1ms)

Utilisation pratique des inductances :

- en série avec une source continue, la bobine (une fois chargée) permet de stabiliser le courant (en atténuant notamment la composante ondulatoire de courant éventuelle),
- conversion d'énergie électromagnétique (moteur à courant continu, électroaimant…).

Références : https://elec4you.blogspot.com article "condensateurs" par hicham bouzouf