ECOLE SUPÉRIEURE DE NAVIGATION
D'ANVERS

MÉQANIQUE NAVALE

Électricité générale

Auteur:
Willem MAES

December 5, 2010

Contents

List of Figures

List of Tables

0.1 INTRODUCTION

0.1.1 Connaissance préalable

La matière de ce module rejoint la matière de l'enseignement secondaire. Les étudiants de l'enseignement secondaire général vont trouver la matière dans leurs cours de physique. Les étudiants d'un enseignement technique ou industriel ont peut-être déjà vu toute la matière. Les étudiants pour lesquels la matière est nouvelle sont encouragés de bien étudier la matière, ceci est une condition essentielle pour savoir suivre la matière dans les modules suivantes.

0.1.2 Livre d'étude

Pendant les trois ans qui vont suivre, on va utiliser le livre d'étude suivant [Wildi, 2006] *Electrical Machines, Drives, and Power Systems* Theodore Wildi ISBN 0-13-196918-8.

0.1.3 Cours

Les cours et toutes informations concernant les leçons se trouvent ici http://magelhaes.hzs.be/willem

0.1.4 Préfix

Terra	**T**	x10^9
Giga	**G**	x10^9
Mega	**M**	x10^6
Kilo	**K**	x10^3
-	-	-
milli	**m**	x10^{-3}
micro	μ	x10^{-6}
nano	η	x10^{-9}
pico	**p**	x10^{-12}

Dans l'electricité et dans l'électronique ont choisit de rendre le chiffres avec prefix. On va presque jamais rencontrer la notation scientifique (utilisé en physique) dans notre spécialité. Un courant de 0,012A on utilise 12mA (=12 x 10^{-3}A) au lieu de 1,2 x 10^{-2}A On va jamais écrire $0,15mV$. mais on ecrit 150μV.

0.2 COURANT TENSION ET RÉSISTANCE

0.2.1 Charge,Q (Coulomb, C)

Le coulomb est l'unité de charge électrique dans le système international (SI). C'est une unité dérivée. Son nom vient de celui du physicien français Charles de Coulomb.

D'après la loi de Coulomb, deux charges ponctuelles d'un coulomb chacune et séparées d'un mètre dans le vide exercent l'une sur l'autre une force de 9x10^9 N, c'est-à-dire approximativement le poids d'un objet de 900000000 kg.

On peut dire aussi que:

Un coulomb c'est la quantité d'électricité traversant une section d'un conducteur parcouru par un courant d'intensité de 1 ampère pendant 1 seconde (1C = 1A x 1s). Elle est équivalente à 6,24150962915265x10^{18} charges élémentaires.

0.2.2 Courant, I (Ampère, A)

Un courant électrique est un déplacement d'ensemble de porteurs de charge électrique, généralement des électrons, au sein d'un matériau conducteur. Ces déplacements sont imposés par l'action de la force électromagnétique, dont l'interaction avec la matière est le fondement de l'électricité.

$$I = \frac{d_q}{d_t}\ [\frac{C}{s} = A]$$

Le courant électrique peut avoir différentes causes : un écoulement de particules négatives ou un écoulement de particules positives, ou un écoulement de particules négatives et positives dans des directions opposées.

Pour réduire cette complexité, les électriciens emploient toujours la convention de Franklin et, imaginent le courant électrique, connu sous le nom de courant conventionnel, comme constitué d'un écoulement de particules exclusivement positives.

Le courant conventionnel simplifie les concepts et les calculs, mais masque le fait que dans quelques conducteurs (électrolytes, semi-conducteurs, et plasma) les deux types de charges électriques se déplacent dans des directions opposées, ou que dans les métaux, les charges négatives sont quasi exclusivement responsables de la circulation du courant. Ces derniers paramètres sont l'affaire des scientifiques de recherche sur le sujet et des ingénieurs de conception en électrotechnique et électronique.

0.2.3 Tension, U of V (Volt,V)

La tension électrique représente le travail de la force électrique (qui règne au sein du dipôle) sur une particule chargée, divisé par la valeur de la charge (dans le cas d'un générateur de tension continue, une pile par exemple, la tension électrique à vide de cette pile, appelée force électro motrice (fem), est le travail de la force electro de propulsion sur les électrons). On parlera donc d'énergie échangée par unité de charge, qui peut être comparée, si l'on ne tient pas compte des unités, à l'énergie échangée pour une charge de 1 Coulomb. Son unité est donc celle d'une énergie divisée par une charge électrique, c'est-à-dire, le Joule/Coulomb qui équivaut à des Volts.

$$U = \frac{W}{Q}$$

0.2.4 Conductivité, G(Siemens,S)

La conductivité électrique est l'aptitude d'un matériau à laisser les charges électriques se déplacer librement, autrement dit à permettre le passage du courant électrique.

$$G = \frac{I}{U} \quad [\frac{A}{V} = S]$$

0.2.5 Résistance, R [Ohm,Ω]

C'est la propriété d'un matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique. La différence de potentiel ou tension U (en volts) aux bornes d'une résistance R (en ohms) est proportionnelle à l'intensité du courant électrique I (en ampères) qui la traverse.

$$I = \frac{U}{R} \quad [A = \frac{V}{\Omega}]$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1}{G} \quad [\Omega = \frac{1}{S}]$$

0.2.6 Puissance, P [Watt, W]

En physique, la puissance est la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. La puissance correspond donc à un débit d'énergie : deux systèmes de puissance différente pourront fournir le même travail (la même énergie), mais le système le plus puissant sera le plus rapide. On peut allors dire

$$P = U.I \quad [W = V.A]$$

La résistance est responsable d'une dissipation d'énergie sous forme de chaleur. Cette propriété porte le nom d'effet Joule. Cette production de chaleur est parfois un effet souhaité (résistances de chauffage), parfois un effet néfaste (pertes Joule). La puissance dissipée par effet Joule est

$$P = U.I = U.\frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

$$P = U.I = I.R.I = I^2.R$$

0.3 CIRCUITS AVEC DES RÉSISTANCES

0.3.1 Circuit en série.

En électricité, un circuit en série désigne un circuit électrique (ou une branche d'un circuit électrique), où les composants (résistances, condensateurs, générateurs, etc.) appartiennent à la même branche. Pour que des éléments soient en série il faut que les mêmes charges traversent les dits éléments.

Analyse

Dans un circuit, des dipôles sont en série si, et seulement si, ils sont traversés par le même courant. L'intensité du courant traversant chacun d'eux est donc égale soit I = I1 = I2 = ... = In

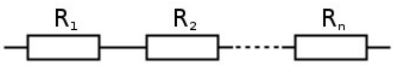


Figure 1: Une connexion de résistances en serie.

Pour une connexion de résistances en série la résistance équivalente (total) du circuit est égale à:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + ... + R_n$$

Cette équation peut être démontrée en se basant sur les propriétés du circuit:

$$U_{total} = U_1 + U_2 + ... + U_n$$

$$I_{total} = I_1 = I_2 = ...I_n$$

En utilisant la loi d'Ohm et les deux énoncés ci-dessus:

$$U_{total} = R_1.I + R_2.I + ... + R_n.I$$

$$\frac{U_{total}}{I} = R_1 + R_2 + ... + R_n$$

$$R_{total} = R_1 + R_2 + ... + R_n$$

0.3.2 Circuit en parallèle

En électricité, un circuit en parallèle est un circuit électrique dont les branches sont connectées par des noeuds communs. Dans le cas d'un élément à deux bornes, les éléments en parallèle partagent une paire de noeuds, trois pour un élément à trois bornes et ainsi de suite.

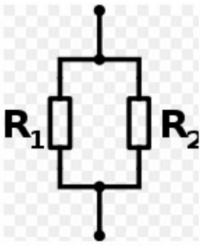


Figure 2: Deux résistances en parallèle.

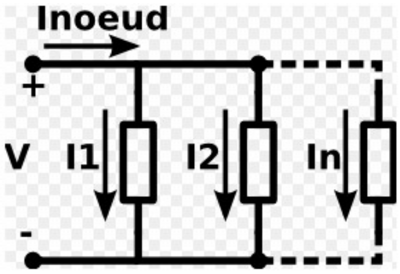


Figure 3: Courants dans un circuit en parallèle.

Analyse

Dans un circuit en parallèle, les branches sont soumises à la même tension mais le courant n'est pas le même dans chaque branche (sauf cas particuliers). Pour un noeud se divisant en n branches, on a la relation :

$$I_{noeud} = I_1 + I_2 + ... + I_n$$

où I_n est le courant qui traverse la branche n. Cette relation indique donc que la somme des courants dans chaque branche est égale au courant de noeud. Ces caractéristiques sur la distribution des courants et de la tension dans un circuit parallèle permettent de déduire les valeurs équivalentes d'éléments passifs linéaires combinés en parallèle. Ces formules peuvent être utilisées lors de l'analyse d'un circuit pour simplifier l'obtention de la solution.
Pour une connexion de résistances en parallèle, la résistance total est égale à:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ...\frac{1}{R_n}$$

La résistance totale équivalente est donc plus faible que chacune des résistances individuelles composant le circuit. Dans le cas particulier où toutes les résistances en parallèle sont de mêmes valeurs, la résistance équivalente sera égale à cette valeur divisée par le nombre d'éléments en parallèle.

Cette équation peut être démontrée en se basant sur les propriétés du circuit:

$$U_{total} = U_1 = U_2 = ... = U_n$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + ... + I_n$$

En utilisant la loi d'Ohm et les deux énoncés ci-dessus on peut écrire:

$$I_{total} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + ... + \frac{U}{R_n} = \frac{U}{R_{total}}$$

Après simplification par U:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n}$$

0.3.3 Diviseur de tension

Le diviseur de tension est un montage électronique simple qui permet de diviser une tension d'entrée. Un circuit constitué de deux résistances en série est par exemple un montage élémentaire qui peut réaliser cette opération. Il est couramment utilisé pour créer une tension de référence ou comme un atténuateur de signal à basse fréquence.

0.4 LOIS ET THÉORÈMES

0.4.1 Les lois de Kirchoff.

Les lois de Kirchhoff expriment la conservation de l'énergie et de la charge dans un circuit électrique. Elles portent le nom du physicien allemand qui les a établies en 1845 : Gustav Kirchhoff.

Dans un circuit complexe, il est possible de calculer les différences de potentiel aux bornes de chaque résistance et l'intensité du courant continu dans chaque branche de circuit en appliquant les deux lois de Kirchhoff : **la loi des noeuds** et **la loi des mailles**.

Loi des noeuds

La somme des intensités des courants qui entrent par un nIJud est égale à la somme des intensités des courants qui en sortent. Les intensités des courants sont des grandeurs algébriques (positives ou négatives). Sur la figure est représenté le sens (choisi arbitrairement) des courants entrant ou sortant du nIJud A. D'après la loi des noeuds, on a donc :$i1 + i4 = i2 + i3$. Cette loi découle directement de la

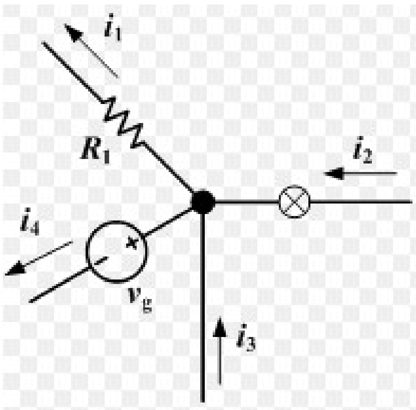


Figure 4: Schéma d'un montage électrique illustrant la loi des noeuds.

conservation de la charge électrique, en tenant compte du fait que ces charges ne peuvent pas s'accumuler à un endroit quelconque du circuit. Les charges qui arrivent à un nIJud compensent celles qui en repartent.

Loi des mailles

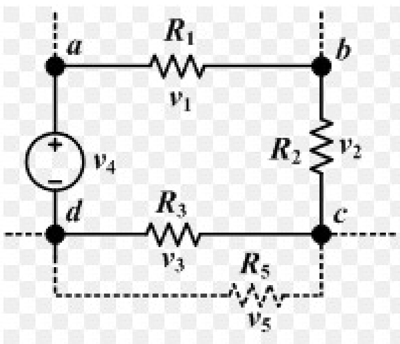


Figure 5: Schéma d'un montage électrique illustrant la loi des mailles.

Dans une maille quelconque d'un réseau, la somme algébrique des tensions le long de la maille est constamment nulle. Cette loi découle de la définition de la tension comme différence de potentiel entre deux points. La tension entre a et b est $U = Vb - Va$. Va et Vb étant les potentiels respectifs aux points a et b. En additionnant toutes les tensions d'une maille et en se servant de cette définition, on obtient un résultat nul.

0.4.2 Théorème de Thévenin.

Le théorème de Thévenin a été initialement découvert par le scientifique allemand Hermann von Helmholtz en 1853, puis en 1883 par l'ingénieur télégraphe français Léon Charles Thévenin. Ce théorème est une propriété électronique qui se déduit principalement des propriétés de linéarité[1] et du principe de superposition qui en découle. Il s'utilise pour convertir une partie d'un réseau complexe en un dipôle plus simple.

Un réseau électrique linéaire vu de deux points est équivalent à un générateur de tension parfait dont la force électromotrice est égale à la différence de potentiels à vide entre ces deux points, en série avec une résistance égale à celle que l'on mesure entre les deux points lorsque les générateurs indépendants sont rendus passifs.

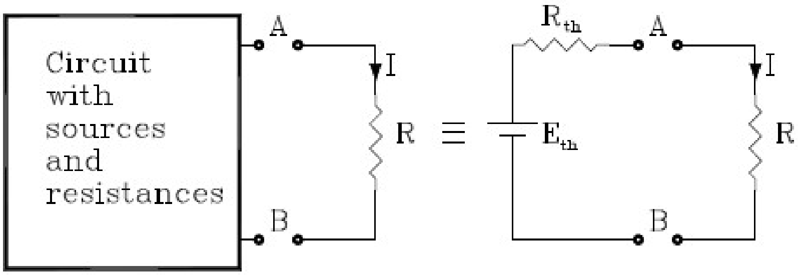


Figure 6: réseau équivalent.

Détermination du modèle de Thévenin

Soit un circuit composé de plusieurs sources et de plusieurs résistances possédant deux bornes A et B entre lesquelles est raccordée une charge :

1. La tension de Thévenin est la tension calculée ou mesurée, entre les bornes A et B lorsque la charge est déconnectée (tension à vide). .
2. La résistance de Thévenin est la résistance calculée, ou mesurée, entre les bornes A et B lorsque la charge est déconnectée et que les sources sont éteintes : les sources de tension indépendantes sont remplacées par un court-circuit et les sources de courant indépendantes par un circuit ouvert.

Example.

- Calcul de la tension aux bornes de AB.

$$V_{AB} = V_1.\frac{R_2 + R_3}{(R_2 + R_3) + R_4}$$

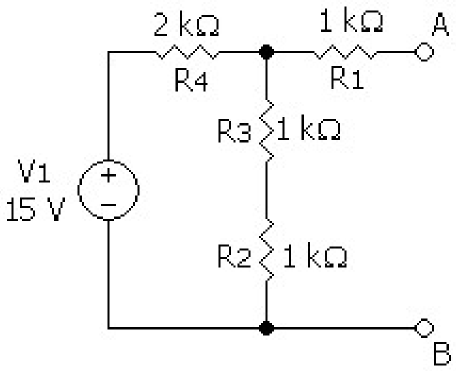


Figure 7: Circuit originel.

$$V_{AB} = 15V.\frac{1K\Omega + 1K\Omega}{(1K\Omega + 1K\Omega) + 2K\Omega}$$

$$V_{AB} = 15V.\frac{1}{2} = 7.5V$$

(R_1 Notez que R_1 n'est pas prise en considération, car les calculs ci-dessus sont faits en circuit ouvert entre A et B, par suite, il n'y a pas de courant qui passe à travers R1 et donc aucune chute de tension n'y apparait)

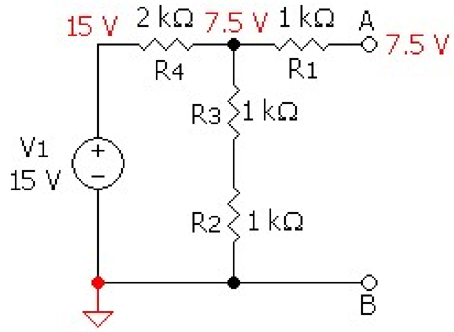


Figure 8: Calcul de la tension aux bornes de AB.

- Calcul de la résistance équivalente aux bornes AB en court-circuitant V1.:

$$R_{AB} = R_1 + [\frac{1}{R_2 + R_3} + \frac{1}{R_4}]$$

$$R_{AB} = 1K\Omega + [\frac{1}{1K\Omega + 1K\Omega} + \frac{1}{2K\Omega}$$

$$R_{AB} = 2K\Omega$$

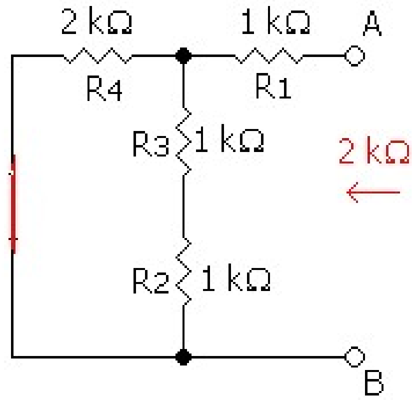


Figure 9: Calcul de la résistance équivalente aux bornes AB en court-circuitant V1.

- Circuit équivalent de Thévenin. Celui-ci nous permet de trouver aisément le courant dans un dipôle quelconque relié entre les bornes A et B sans qu'on ait à résoudre le circuit au complet.

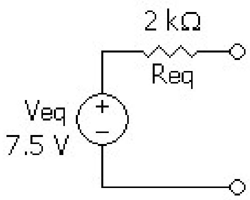


Figure 10: Circuit équivalent de Thévenin.

0.5 CONDENSATEUR

0.5.1 Lading.

Un condensateur est un composant électronique ou électrique élémentaire, constitué de deux armatures conductrices (appelées ń électrodes ż) en influence totale et séparées par un isolant polarisable (ou ń diélectrique ż). Sa propriété principale est de pouvoir stocker des charges électriques opposées sur ses armatures. La

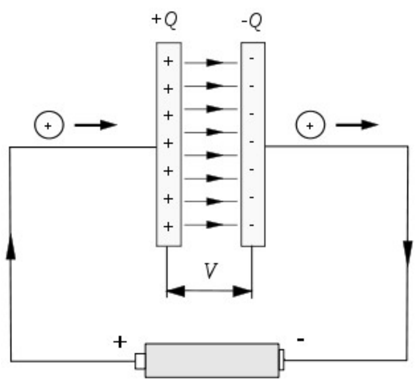


Figure 11: Ladingen op een condensator.

valeur absolue de ces charges est proportionnelle à la valeur absolue de la tension qui lui est appliquée. Le condensateur est caractérisé par le coefficient de proportionnalité entre charge et tension appelé capacité électrique et exprimée en farads (F). La relation caractéristique d'un condensateur idéal est :

$$I = C\frac{dU}{dt}$$

où :

- I est le courant qui traverse le composant ;
- U est la tension aux bornes du composant ;
- C est la capacité électrique du condensateur. est la dérivée (la variation) de la tension par rapport au temps.

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

ou

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

$$\begin{aligned} E_{accumul} &= \int_{q=0}^{Q} U dq \\ &= \int_{q=0}^{Q} \frac{Q}{C} dq \\ &= \frac{1}{2} . \frac{Q^2}{C} \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2}CU^2$$
$$= \frac{1}{2}UQ$$

0.5.2 Condensateurs en parallèle.

Lorsque des condensateurs sont placés en parallèle, donc soumis à la même tension, le courant à travers cet ensemble est la somme des courants à travers chacun des condensateurs. Ceci a pour conséquence que la charge électrique totale stockée par cet ensemble est la somme des charges stockées par chacun des condensateurs qui le composent :

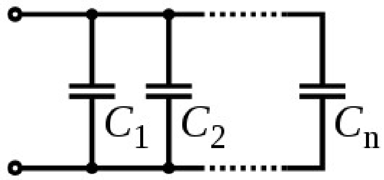


Figure 12: Condensateurs en parallèle.

$$C1 = \frac{Q1}{U1}, \frac{Q2}{U2}, ..., \frac{Qn}{Un},$$

chaque condensateur est sur la même tension

$$U1 = U2 = ... = Un = U$$

le capacité totale C_p de toutes les condensateurs

$$C_p = \frac{Q_{tot}}{U_{tot}} = \frac{Q_{tot}}{U} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_1}{U}$$

ou

$$C_p = C1 + C2 + ... + Cn$$

0.5.3 Condensateurs en série

Lorsque des condensateurs sont en série, donc soumis au même courant, il en résulte que la charge stockée par chacun d'eux est identique.

$$Q_{tot} = Q_1 = Q_2 = ... = Q_n$$

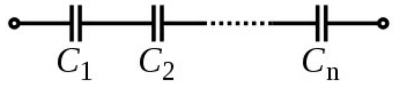


Figure 13: Condensateurs en série.

mais

$$U_{tot} = U_1 + U_2 + ... + U_n$$

ou

$$\frac{1}{C_s} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

Si on a seulement deux condensateurs

$$C_s = \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}$$

0.6 MAGNÉTISME

0.6.1 Introduction

Le magnétisme est une propriétè que certaines matières possèdent pour attirer ou répulser et qui sont clairement différent de forces de cohesion,d' adhesion, électrostatique et de gravitation.

Il est clair que nous avons à faire avec une force comme dans le cas des charges électriques.A ce temps la nous étions confrontés avec un champ électrique maintenant nous sommes confrontés avec un champ magnétique. Dans le cas de mêmes pôles il y a une force répulsive dans le cas de pôles différents il y a une force attractive, exactement comme dans le cas d'un champ électrique. La différence est que dans le cas de charges électrique on peut bien indiquer les charges mais dans le cas des pôles magnétiques on va toujours retrouver les deux pôles ensemble,parce que des pôles magnétique individuels n'existent pas.On a toujours un pôle sud et un pole nord.

0.6.2 La force magnétique

Comme dans le cas d'un champ électrique on a mis le fonctionnement de la force dans une formule. Cette formule est très ressemblante aux formule de la force électrostatique.

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}$$

m_i: force du pole magnetique
μ: permeabilité magnetique
r: distance mutuelle

La perméabilité magnétique est égale au produit de la permeabilité du vide μ_0 et la perméabilité μ_r. La perméabilité est une constante de matière et donc dépend du choix de matériau , la perméabilité du vide est une constante égale à $4\pi 10^{-7}$ H/m.

L'unité de force d'un pole magnétique est Weber (Wb).

Le Weber est la force d'un pôle magnétique, qui dans le vide et sur un autre pole magnétique, mis sur un mètre de distance, exerce une force de $10^7/16\pi^2$ **newton.**

Champ magnétique

Nous avons vu qu'il y a un champ de force entre des pôles magnétiques. Ce champ est appelé le champ magnétique. On fait ce champ clair avec des lignes de flux qui coulent toujours du nord au sud.

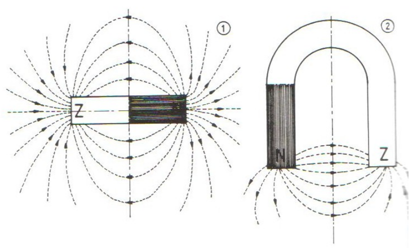


Figure 14: lignes de flux magnétique

Force du champ magnétique

La force qu'un pôle magnétique ressent n'est pas de la même grandeur partout et donc dépend du lieu et par suite de la distance.

La force du champ magnétique dans un point d'un champ est la force exercé sur un pole magnétique de magnitude élémentaire mis dans ce point.

Si nous considérons un champ magnétique avec un seul pole avec grandeur m, la force de son champ est donc

$H = \frac{m}{4\pi\mu r^2}$

H est représenté en A/m et est une grandeur vectoriéle .

Induction magnétique

L'induction magnétique est la phénomène que des materiaux magnétiques magnétisent sur influence de champs magnetiques externes.

Cet induction est représenté par $B = \mu H$ avec unité Tesla (T) ou Weber par métre carré(Wb/m^2).

Flux magnetique

Nous considérons une surface perpendiculaire sur les lignes de flux d'un champ magnétique uniforme avec force de champ M. Le flux magnétique est le nombre de lignes à travers cette surface. $\Phi = B.A$ avec unité weber.

Electromagnétisme

Chaque courant produit un champ magnétique et chaque champ magnétique changeant produira une tension.L'électromagnétisme concerne ces phénomènes. Ça veut dire que si un courant produit un champ magnétique il y a un raport entre les deux et ce rapport est reflété par $F_m = w.I.$ F_m est la force magnétomotrice et w est le nombre de spires du bobine dans laquelle circule le courant. La force du champ H qui suit de cette force magnétomotrice est présenté par $H = \frac{dF_m}{dl}$.

résistance magnétique

Entre la cause (F_m) du champ magnétique et la conséquence (flux) il y a un rapport.Ce rapport est la résistance magnétique ou réluctance R_m et est reflété par le loi d' Hopkinson.

$$R_m = \frac{F_m}{\Phi}$$

Forme des lignes de champ autour d'un conducteur parcouru par le courant

Les lignes de champ autour d'un conducteur parcouru par le courant sont des cercles concentrique. La direction de rotation est trouvée en prenant le conducteur dans la main droite et le pouce dans la direction du courant. Les doigts qui tiennent le conducteur nous donnent la direction de rotation du champ magnétique.

Conduite magnétique

L'étude de conduite magnétique est sujet de recherche profonde en physique quantique et nous ammènera trop loin. Le point essentiel est que le mouvement rotatif

Figure 15: lignes du champ magnétique

et giratoire (spin nucléaire) est résponsable pour cette conduite.Ce qui est important pour nous est qu'il y a plusieurs sortes de conduites magnétiques, dépendante du matériau. Nous pouvons discerner trois types de matériaux magnétiques

- *Matériaux diamagnétiques,* sont ceux qui sont aimantés dans l'autre sens du champ magnétique externe et pour lequel μ_r est un peu plus petit que 1.
- *Matériaux paramagnétiques,* sont ceux qui sont aimantés dans le même sense du champ magnétique externe et pour lequel μ_r est un peu plus grand que 1.
- *Matériaux ferromagnétiques,* sont ceux qui sont aimantés dans le même sens du champ magnétique externe et pour lequel μ_r est plus grand que 1 ent pour lequel le magnétisation n'est pas lineair.

En plus les matériaux ferromagnétique se divisent en plusieurs classes

- *Matériaux durs à aimantir:*Ils sont difficile à aimanter et à désaimanter et sont appliqués pour produire des magnétes permanentes.
- *Materiaux faciles à aimantir:*Ils sont relativement facile à aimanter et sont appliqués pour produire des bobines ou des machines électriques.

Aimantation

L'aimantation est figuré dans le courbe d'aimantation qui donne l'induction B en fonction du champ H. On apelle cette courbe aussi la caractéristique BH.

Nous allons étudier la courbe pour les matériaux ferromagnétique.Quand nous augmentons ou diminuons la force du champ magnétique et nous saturons le matériau nous recevons la caractéristique si dessous.On appelle ce caractéristique la boucle d'hystérésis.

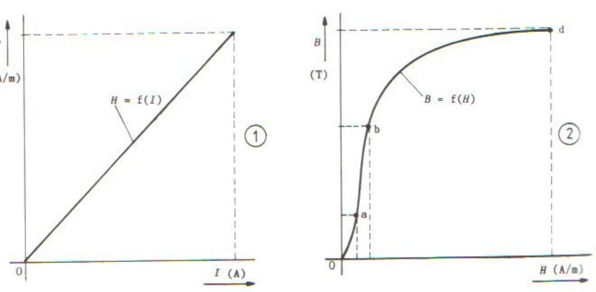


Figure 16: caractéristique d'aimantation pour (gauche) matériaux para-et diamagnetique et (droite) matériaux ferromagnetique

Nous menons le matériau jusqu'a point d et nous retournons par renverser le courant. Nous pouvons constater que la courbe ne retourne pas par le voie originelle mais suit un courbe différente. Nous augmentons le courant dans le même sens jusqu'au moment que nous arrivons au point d' et renversons encore une fois le sens du courant nous pouvons voir le même phénomène que la route suivi de l'aimantation a changé. Donc il apparaît une courbe fermée qu'on apelle le boucle d'hystérésis. La surface est en rapport avec les pertes d'hystérésis. Ce sont les pertes qui sont due au réchauffement du matériau quand celui-ci parcourt une aimantation ou déaimantation compléte.

Ce qui est remarquable est qu'il y a toujours une induction même si le champ est égale à zero. Ceci est appellé l'induction remanente.Cet induction est importante quand on veut démarrer des machines électriques.

Analogue il reste un champ quand l'induction est zero. Ce champ est apellé le champ coercitif.

0.6.3 Induction électromagnétique

Il est remarqué déjà qu'un changement de champ rendra une tension.Cette tension est apellé tension d'induction et a été découvri par Faraday en 1831.

Phénomène d'induction

Nous avons une spire et amenons une magnéte au spire.Le changement de flux par l'approchement de l'aimant produira une tension dans ce spire. **Cette tension induite sera dirigée d'une telle façon que le changement est annihilé, donc le flux dans cette spire essayera de maintenir sa valeur originelle.**

Deuxième règle du tire-bouchon de Maxwell: *Le tire-bouchon est dirigé dans le sens du flux et quand le flux est augmenté on visse le tire-bouchon en dehors de*

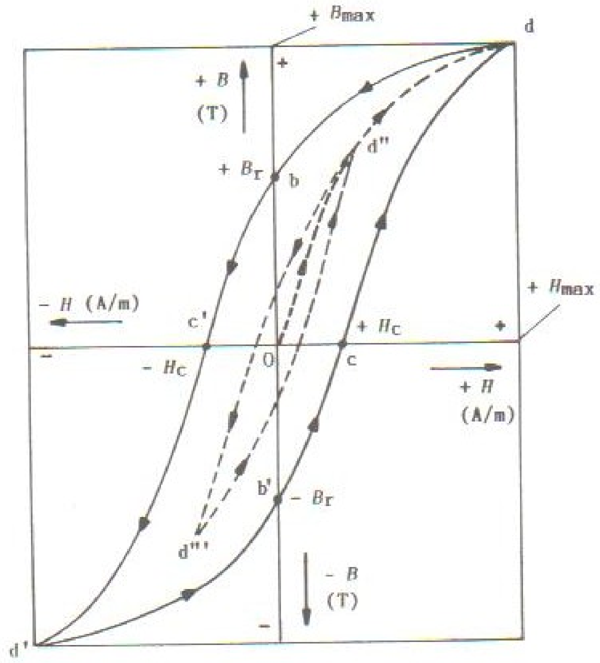


Figure 17: boucle d'hystérésis

la spire, quand le flux diminue, on visse le tire-bouchon dans le spire.LA SPIRE REAGIT COMME SOURCE.

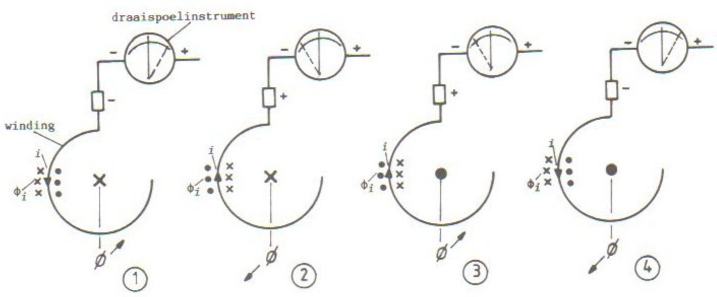


Figure 18: tension induite

La grandeur de cette tension est calculée avec le loi de Lenz.

$$e = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

N:	nombres de spires
$d\Phi$:	changement du champ magnetique
dt:	changement du temps

Phénomène d'inductance

Un courant qui circule à travers une bobine qui n'a aucune interaction magnétique, produira un champ magnétique, donc flux, lui même quand le courant change.Maintenant il faut tenir compte avec l'état de cette bobine.On tiendra compte avec l'état pendant les calcules de la tension induite.

$$e = -L\frac{di}{dt}$$

Donc maintenant ce n'est pas le changement du champ mais le changement du courant qui est l'origine de la tension induite. Le coefficient d'inductance est calculé si dessous

$$\begin{aligned} e = & -N\frac{d\Phi}{dt} \\ = & -N\frac{d(SB)}{dt} \\ = & -N\frac{d(S\mu H)}{dt} \\ = & -N\frac{d(S\mu NI/l)}{dt} \\ = & (-N^2S\mu/l)\frac{di}{dt} \end{aligned}$$

Donc le coefficient est réfleté par

$$L = \frac{N^2S\mu}{l}$$

N:	nombres de spires
μ :	permeabilité magnétique
S:	section de la bobine
l:	longueur de la bobine

0.6.4 Courants de Foucault

Courants de Foucault sont des courants qui se forment dans des matériaux conducteurs dans lesquels se manifestent des changements de flux

Ces courants rechaufferont le matériau et doivent être évités.On retrouve ce problème dans la construction des transformateurs qui sont des produits lamellaire.

Le phénomène se produit parce qu'on travaille dans un plein matériau. Plein matériau veut dire qu'on aura un circuit fermé. On a aussi un champ magnétique changeant donc il y aura des tensions induites.Parce qu'on a une tension dans un circuit fermé on a des courants dans ce circuit qui vont réchauffer le matériau.

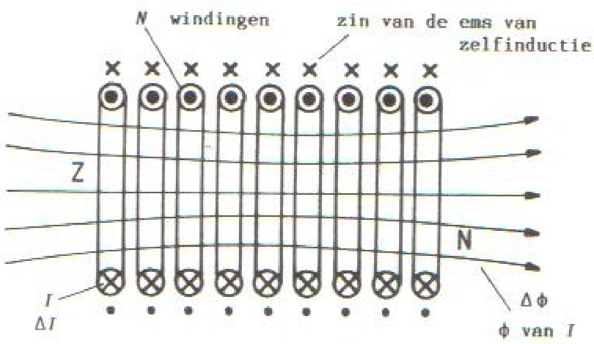


Figure 19: inductance dans une spire

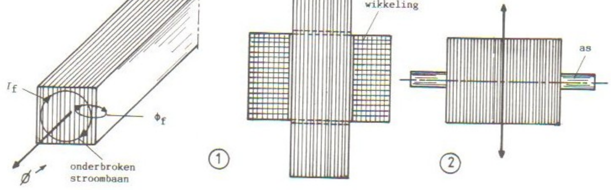


Figure 20: courants Foucaults

0.6.5 Quelques applications de magnétisme

Générateur électrique

Si nous bougeons un conducteur dans un champ magnétique ou nous changons le champs magnétique il y a toujours une tension induite. Suppose qu'on met un fil sur un rotor et ce rotor tourne dans un champ magnétique. Par le champ magnétique changeant il y aura une tension induite dans ce fil. **Ceci est le principe de base d'un générateur électrique.** On obtient le sens de la tension avec l'aide de la *régle du main droit*, la largeur par un petit calcul.Nous faisons le calcul pour une spire dans un champ constant.Nous bougons la spire perpendiculaire sur ce champ.

$$E = -\frac{d(BS)}{dt} = -\frac{d(Blx)}{dt} = -Bl\frac{dx}{dt} = -Blv$$

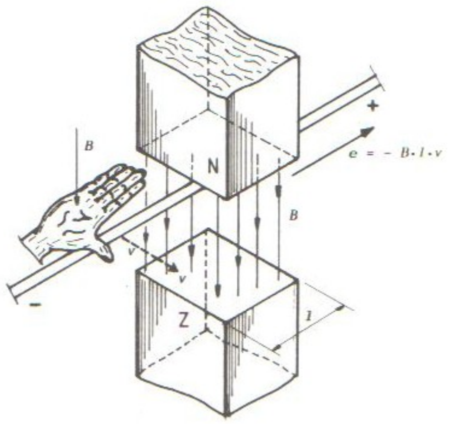


Figure 21: régle du main droite

paume	ligne de flux (B)
pouce	vitesse (v)
doigts	force électromotrice induite (E)

Attention: les trois composées se sont placées perpendiculairement.

Moteur électrique

Quand un conducteur est parcouru par du courant, un champ magnétique sera produit. Si nous mettons un conducteur qui est parcouru par du courant dans un champ magnétique il y aura une force.Suppose que l'on met un conducteur qui est parcouru par du courant sur un rotor et ce rotor est mis dans un champ magnétique le roteur va tourner en conséquence de cette force.**Ceci est le fonctionnement de base d'un moteur électrique.**

Une force pareille est appelée la force de Lorenz et la grandeur est $F = Bli$. On obtient le sens par le *régle du main gauche*.

Aussi dans ce cas ci les composées se retrouvent perpendiculaires.

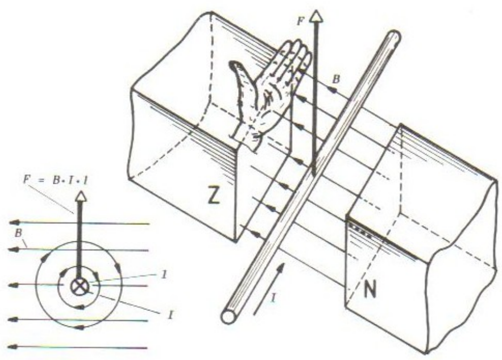


Figure 22: régle du main gauche

paume	lignes de flux (B)
doigts	courant (i)
pouce	force(F)

0.6.6 Connection de bobines

Connection en série

Si nous mettons des bobines en série le courant dans chaque élément est exacte le même et le tension est divisé parmi les différentes éléments.

$$U = L\frac{di}{dt} = L_1\frac{di}{dt} + L_2\frac{di}{dt}$$

Donc

$$L\frac{di}{dt} = (L_1 + L_2)\frac{di}{dt}$$

De ceci suit que $L = L_1 + L_2$ ou en général

$$L_s = \sum_{k=1}^{n} L_k$$

0.6.7 Connection en paralléle

Dans le cas de un connectione en paralléle le courant est divisé et la tension sur chaque élément est la même.

$$\begin{aligned}
U &= L\frac{di}{dt} \\
U_1 &= L_1\frac{di_1}{dt} \\
U_2 &= L_2\frac{di_2}{dt} \\
\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} &= \frac{di}{dt} \\
\frac{U_1}{L_1} + \frac{U_2}{L_2} &= \frac{U}{L}
\end{aligned}$$

On sait que $U = U_1 = U_2$, on obtient donc

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

En général

$$\frac{1}{L_p} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{L_k}$$

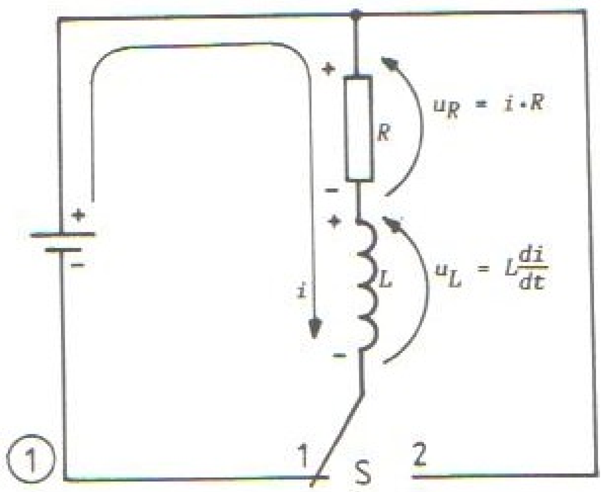
0.7 PHÉNOMÈNES DE TRANSITION

Quand nous connectons un condensateur ou une bobine dans un circuit électrique, ils introduisent des courants ou tensions trés hauts en branchant ou débrachant. *Aprés un certain temps,* cet phénomène de transition ne sera plus remarqué et va réagir respectivement comme un circuit ouvert ou un court circuit.Nous allons voir ce qui se passe dans un circuit RC ou RL.

0.7.1 Le circuit RL

Brancher un circuit avec une bobine

Dans ce circuit on voit trois composants. Une source, une bobine et une résistance. Nous appliquons la loi des tensions de Kirchhoff, donc la tension de la source est



divisé entre la résistance et la bobine.

$$\begin{aligned} U &= U_R + U_L \\ &= Ri + L\frac{di}{dt} \end{aligned}$$

La solution de cette équation différentielle consiste en deux parties

Solution générale: C'est la solution de l'équation différentielle quand la tension de la source est égale à 0. Ceci nous donne la solution homogéne et cela est de la forme e^{at}.

Solution particulière: C'est la solution de l'équation différentielle quand la tension de la source est différente de zero. Dans notre cas, c'est une constante.Ceci nous donne la solution particulière de la forme B (constante).

Nous supposons une solution de forme

$$i = Ae^{at} + B$$

Nous remplissons cette solution pour trouver les inconnus A,C en a . Maintenant nous avons obtenu l'équation

$$Ae^{at}(La + R) + RB = U$$

Pour que de l'équation différentielle soit la solution, à chaque moment dans le temps, donc chaque coefficient doit être égale á zero. Nous obtenons le systéme d'équations suivantes

$$\begin{aligned} La + R &= 0 \\ RB - U &= 0 \end{aligned}$$

Il en résulte que $a = \frac{R}{L}$ en $B = \frac{U}{R}$. Maintenant nous avons trouvé deux des trois inconnus. Il nous manque encore un c'est á dire A. Pour calculer cet inconnu il nous faut une condition annexe. Ceci suit du fait que le courant dans une bobine ne peut pas changer directement. La bobine essaye de controler le flux d'un telle façon qu'il reste constante. Donc chaque changement de flux est contrarié. Formulé plus mathématiquement on dit i(t=0)=0. De ceci on obtient l'équation suivante

$$i = 0 = Ae^0 + \frac{U}{R}$$

donc

$$A = -\frac{U}{R}$$

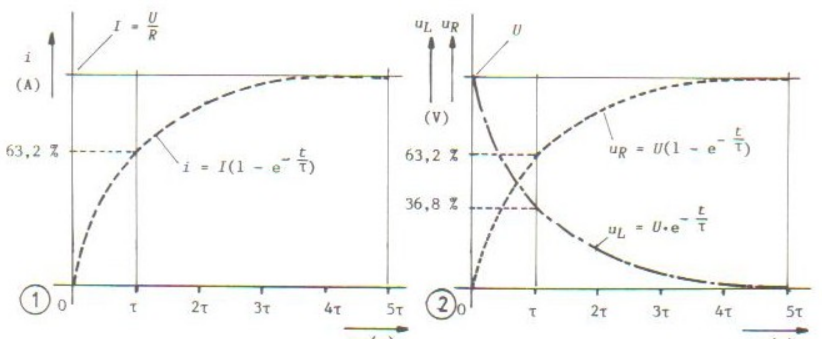
Par remplir les inconnus calculés, on obtient les équations pour le courant et la tension. Pour le courant on obtient

$$i = \frac{U}{R}(1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

et pour la tension sur la bobine

$$U_L = Ue^{-\frac{R}{L}t}$$

Le graphique ci dessus nous donne une idée de ce qui se passe dans le temps quand on branche un circuit RL. Nous pouvons voir qu'aprés un certain temps il

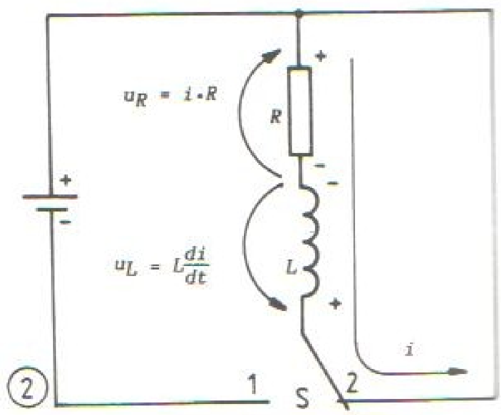


n'y a plus de tension sur la bobine et que toute cette tension se retrouve compléte-ment sur la résistance. Au début la tension compléte se retrouve sur la bobine.

Le facteur $\frac{L}{R}$ est appelé le temps propre du système, et nous dit si le systéme réagit lentement ou rapidement. $\tau_L = \frac{L}{R}$

Débranchement d'un circuit RL

La figure ci dessous, nous donne un schéma de débranchement d'un circuit RL.



Quand nous débranchons le circuit nous obtenons l'équation différentielle suivante

$$L\frac{di}{dt} + Ri = 0$$

Qu'on résout de la même manière que dans le dernier paragraphe. La condition annexe est au point de vue de physique tout à fait le même qu'avant, donc au moment de débranchement le flux reste constant; mathématiquement $i(t = 0) = \frac{U}{R}$. Mais c'est plus facile d'utiliser la méthode de la séparation des variables Les solutions sont

$$i = \frac{U}{R}e^{-\frac{R}{L}t}$$

et

$$U_L = -Ue^{-\frac{R}{L}t}$$

Ces solutions vous donnent les graphiques ci dessous.

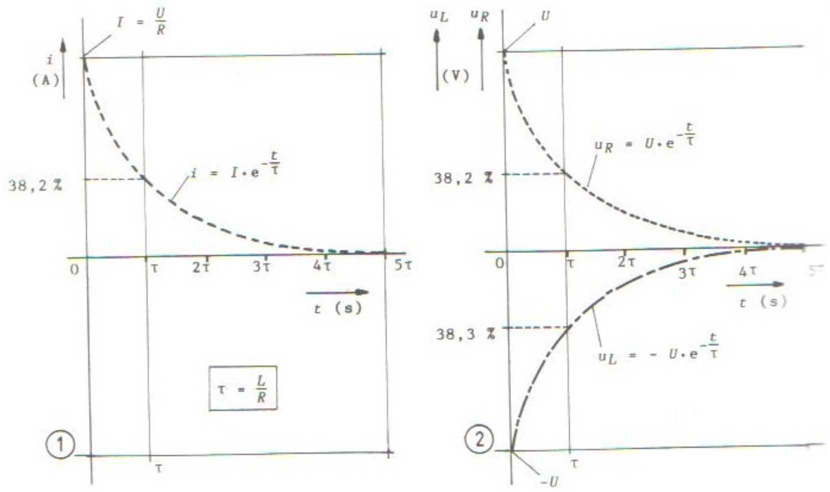
0.7.2 Le circuit RC

Branchement d'un circuit RC

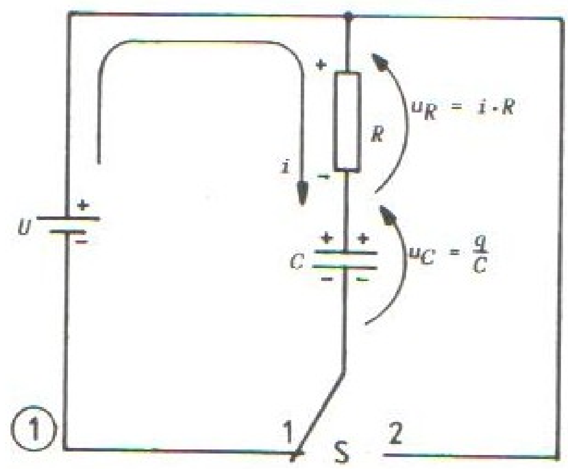
Le branchement d'un circuit RC n'est qu'au point de vue de la physique le chargement d'un condensateur. Pour résoudre ce probléme on utilise tout à fait la même technique qu'avec le circuit RL.

On a une tensionU_C sur le condensateur pour laquelle

$$C = \frac{q}{U_C}$$



$I = \frac{U}{R}$
i (A)
38,2 %
$i = I \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
0
τ
2τ
3τ
4τ
5τ
t (s)
$\tau = \frac{L}{R}$
1
u_L
u_R
U
(V)
$u_R = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
38,2 %
38,3 %
$u_L = - U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
2
$-U$



$u_R = i \cdot R$
R
i
U
C
$u_C = \frac{q}{C}$
1
1
S
2

donc $q = c.U_C$. Le courant immédiat est

$$i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du_C}{dt}$$

Autrement dit le courant est proportionel au changement de la tension donc on peut dire que

$$u_C = \frac{1}{C}\int i\,dt.$$

L'équation de la tension devient

$$U = U_C + U_R$$

Si nous remplissons les tensions en fonction du courant ça devient á son tour

$$U = \frac{1}{C}\int i\,dt + Ri$$

Ceci est une équation integro-différentielle qu'on ne peut pas résoudre trés facilement. Donc nous devons changer de tactique. Nous prenons la premiére dérivative dans le temps de chaque partie dans l'équation et nous obtenons l'équation suivante

$$R\frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = \frac{dU}{dt} = 0$$

Cette équation différentielle est facile á résoudre avec la méthode de la séparation des variables.

$$\begin{aligned}
\frac{di}{i} &= -\frac{1}{RC}dt \\
lni + A &= -\frac{1}{RC}t \\
lni + lnK &= -\frac{1}{RC}t \\
i &= Kexp(-\frac{t}{RC})
\end{aligned}$$

Le seul probléme qui nous reste encore c'est de calculer la constante K. Nous avons de nouveau besoin d'une condition annexe. Il est évident que la tension sur un condensateur ne change pas d'une moment à l'autre, donc au début du chargement $t = 0$ la tension est zero. Mis en formule $U_C(t = 0) = 0$. Donc à t=0 nous avons

$$U - U_C = Ri_0$$

Avec $U_C = 0$ ceci devient $U = Ri_0$ ou $i_0 = \frac{U}{R}$.Remplir ceci dans la solution de l'équation différentielle nous donne

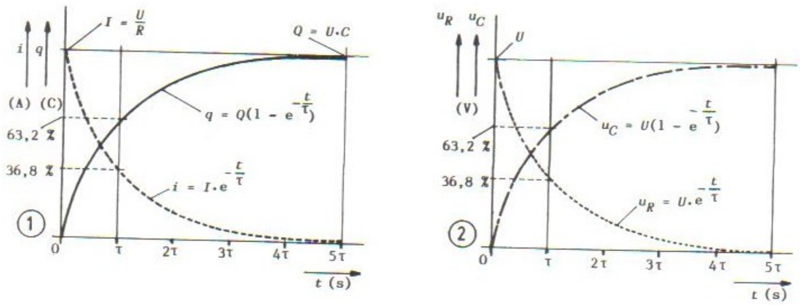
$$i_0 = Ke^0 = \frac{U}{R}$$

L'équation pour le courant devient

$$i = \frac{U}{R} exp(-\frac{t}{RC})$$

Pour la tension sur le condensateur on obtient

$$U_C = U(1 - exp(-\frac{t}{RC}))$$



La variable RC est appelée le temps propre du circuit RC et donne une idée de la vitesse de (dé)chargement.

$$\tau_C = RC$$

Décharge d'un condensateur

Pendant le déchargement d'un condensateur on utilise le condensateur comme une source. Aprés qu'on a chargé un condensateur il est rempli de charge comme une batterie. Ceci nous donne l'équation différentielle suivante

$$-U_C = Ri$$

ou

$$RI + \frac{1}{C} \int i \, dt = 0$$

ou comme dans le dernier paragraphe aprés avoir dérivé dans le temps chaque partie de l'équation

$$R\frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0$$

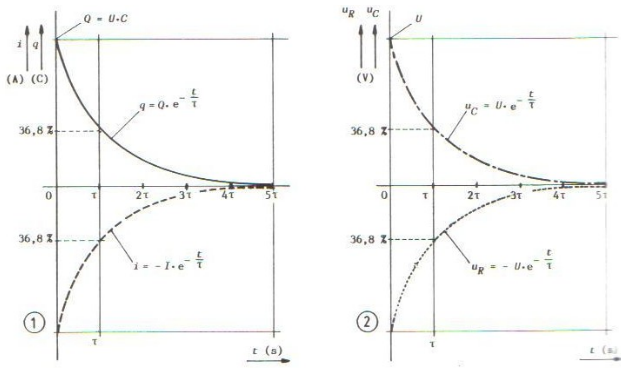
C'est la même équation que pour le processus de chargement, sauf les conditions annexes vont être différent. Au temps $t = 0$ le condensateur est rempli est la tension de la source se trouve complétement sur les bornes du condensateur , donc $U_C(t = 0) = U$. A $t = 0$ ça devient au point de vue du courant $-U_C = Ri_0$ ou

$i_0 = -\frac{U}{R}$ Nous obtenons la solution suivante pour le courant pendant le déchargement

$$i = -\frac{U}{R} exp(-\frac{t}{RC})$$

et pour la tension sur le condensateur nous obtenons

$$U_C = U exp(-\frac{t}{RC})$$



Le temps propre

Le temps propre du circuit exprime chaque fois la même chose c'est á dire la vitesse de réaction du circuit. Autrement dit on aura une idée de l'évolution du circuit après avoir calculé le temps propre. Si nous calculons l'évolution du courant aprés une durée du temps propre d'un circuit RL (pour le RC c'est la même chose) on peut constater que

$$i = I(1 - exp(-\frac{\tau}{\tau}) = I(1 - exp(-1)) = I(0.63)$$

ou le courant est augmenté de 63 pour cent.

Bibliography

[Wildi, 2006] Wildi, T. (2006). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Pearson Prentis Hall, sixth edition. ISBN 0-13-196918-8.