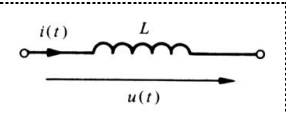
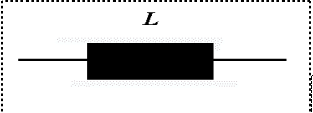


SOMMAIRE

- B3.1 Première approche**
- B3.2 Inductance et induction propre**
- B3.3 Tension induite et tension d'auto-induction**
- B3.4 Pertes magnétiques**
- B3.5 Pertes électriques et facteurs de pertes**
- B3.6 Schéma équivalent**
- B3.7 Régime permanent (sinusoïdal)**
- B3.8 Réactance inductive**
- B3.9 Régime impulsionnel**
- B3.10 Circuit oscillant**
- B3.11 Bibliographie**

B3.1 Première approche

Selon la Méthode d'analyse, M. J. Neuschwander	
SYMBOLE*	 <p style="text-align: center;">OU</p>  <p style="text-align: center;">IMAGE B3.1 [1] PPUR IMAGE B3.2</p>
FONCTION*	<p>La première fonction que nous pouvons relever est la création de lignes de flux magnétique ou la création d'énergie magnétique, lorsqu'elle est parcourue par un courant.</p> <p>Nous pouvons également constater qu'une bobine s'oppose à toute variation de courant et peut devenir de ce fait génératrice de courant.</p> <p>A l'enclenchement elle s'oppose à l'établissement du courant et au déclenchement elle produit des tensions induites qui peuvent être très importantes.</p>
SPECIFICATIONS TYPES*	<p>Inductance propre L [H]</p> <p>Courant maximal I_{MAX} [A]</p> <p>Facteur de pertes $\text{tg } \delta$, description du circuit magnétique prévu pour l'utilisation de la bobine.</p>
TECHNOLOGIE	<p>Elles sont généralement fabriquées spécialement pour chaque application. Quelques composants miniatures, normalisés, existent pour les circuits électroniques, le déparasitage ou encore pour les circuits de télécommunication.</p> <p>Le fil de la bobine peut être enroulé soit sur un noyau magnétique soit sur un support vide (bobine à air). Le noyau magnétique forme un circuit magnétique fermé ou ouvert suivant l'utilisation. Exemple les moteurs, les têtes magnétiques ou les électroaimants.</p> <p>La modification du circuit magnétique par le déplacement du noyau change la valeur de l'inductance propre L.</p>
UTILISATIONS	<p>Dans les alimentations de puissance pour limiter les ondulations résiduelles du réseau électrique.</p> <p>Associées aux condensateurs, ils forment un circuit oscillant utilisé comme filtres, circuits résonnants ou corrigeant la courbe de réponse d'un système électronique.</p> <p>Tout ce qui est moteur, électroaimant ou transformateur comporte un système de bobinage.</p>
METHODE DE CONTRÔLE*	<p>A l'ohmmètre, nous mesurons la résistance ohmique du fil dont est composée la bobine, souvent une valeur très faible.</p> <p>En mesurant la tension et le courant alternatif (sinus), nous obtenons la valeur ohmique apparente de la bobine, valeur appelée impédance. L'impédance d'une bobine augmente avec la fréquence.</p>

Il n'est peut-être pas inutile de préciser ici qu'un bon praticien a besoin de connaître "par cœur" les indications suivies de l'astérisque * pour une pratique efficace du dépannage des circuits électroniques.

B3.2 Inductance et induction propre

Le passage du courant dans un conducteur engendre un champ d'induction magnétique dans l'espace environnant. Ce phénomène se traduit par une accumulation locale d'énergie, sous forme de lignes de flux magnétique. Tout composant qui utilise ces propriétés est appelé inductance ou plus communément bobine, bobine d'induction, self, ...

Nous pouvons également dire qu'une inductance est caractérisée par la propriété de créer un flux magnétique, lorsqu'elle est parcourue par un courant électrique. Le facteur de proportionnalité entre le flux Φ créé et le courant électrique est appelé coefficient d'auto-induction, inductivité ou encore inductance, et est symbolisé par la lettre L et exprimé en Henry [H].

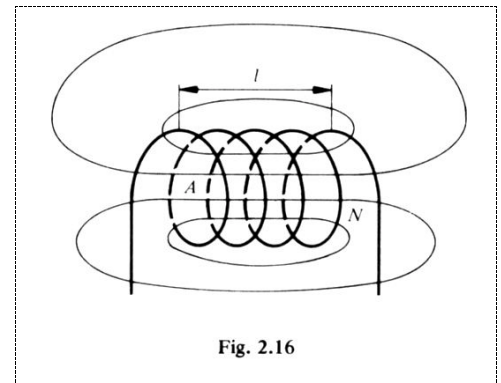


Fig. 2.16

IMAGE B3.3 [1] PPUR

$$\text{Inductance } L = \frac{\text{Lignes de flux magnétique créées}}{\text{Courant électrique}} = \frac{\Phi}{I} = \frac{N \times \Phi}{I} \quad [H = Vs / A]$$

Plus le nombre de spires N et le flux Φ sont grands pour un même courant électrique I, plus l'inductance L est de grande valeur. Ce phénomène est une accumulation locale d'énergie qui n'est pas dissipée en chaleur comme dans une résistance, mais qui peut au contraire être restituée comme pour le condensateur.

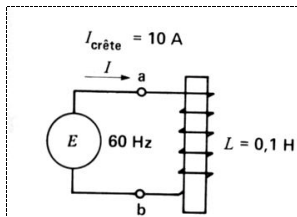


IMAGE B3.4 [1] ESKA

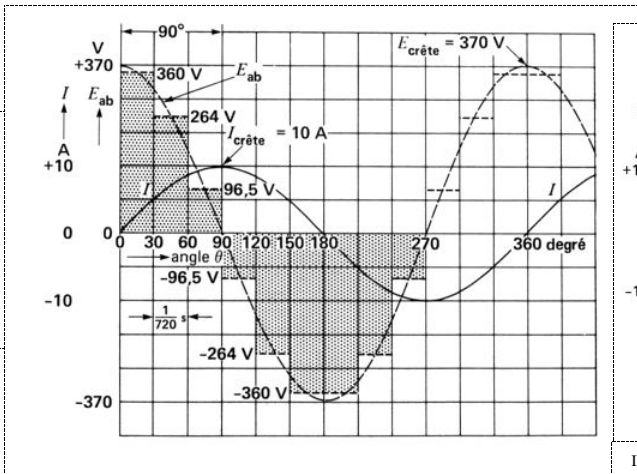


IMAGE B3.5 [2] ESKA

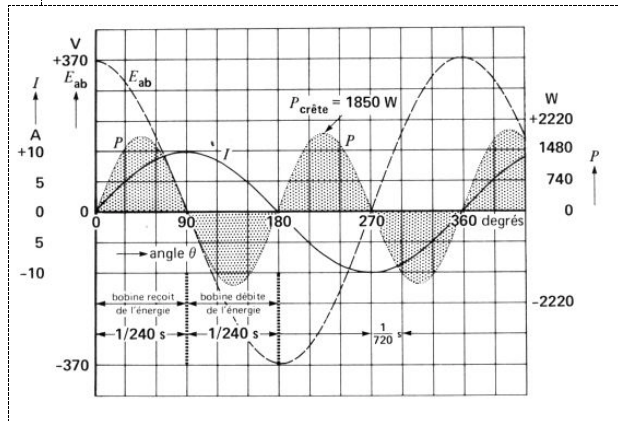


IMAGE B3.6 [2] ESKA

La valeur de l'inductance propre dépend des dimensions de la bobine, notamment par le nombre de spires N, la section A du corps de la bobine, la longueur du circuit magnétique l à l'intérieur de la bobine et enfin de la nature du matériau qui se trouve à l'intérieur de la bobine. Traduit en formules, cela donne:

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} \quad [H] \quad \text{Et} \quad \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

- Avec
- N^2 : Nombre de spires élevé au carré []
 - μ : Perméabilité absolue du noyau [H/m]
 - A : Section ou surface du corps de la bobine [m²]
 - l : Longueur du circuit magnétique [m]
 - μ_0 : Perméabilité de l'air ou du vide $4 \cdot 10^{-7} \cdot \pi$ [H/m]
 - μ_r : Perméabilité relative du matériau utilisé comme noyau de la bobine []

La perméabilité relative exprime le nombre de fois que le matériau utilisé au centre de la bobine est meilleur "conducteur" des lignes de flux magnétique que l'air.

Plus la perméabilité est grande plus la bobine possède un grand pouvoir d'emmagasiner de l'énergie magnétique.

Pour obtenir une grande induction propre, une bobine doit avoir un noyau qui forme circuit magnétique le plus perméable possible.

La valeur de L dépend beaucoup du noyau et cette propriété est utilisée pour régler la valeur d'une bobine.

La saturation magnétique du noyau va également intervenir sur la valeur de L.

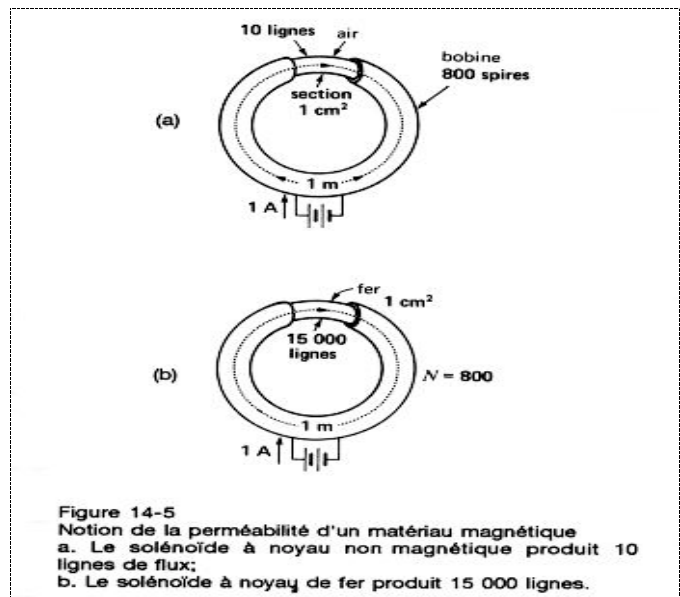


IMAGE B3.7 [2] ESKA

B3.3 Tension induite et tension d'auto-induction

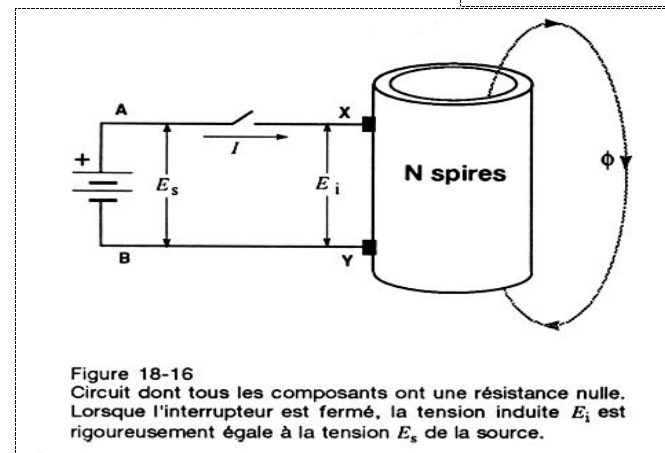
Ce qui est devenu une loi, appelée loi d'induction magnétique, consiste en la création d'une tension lorsque soit le courant électrique I, soit le flux magnétique Φ se mettent à varier.

IMAGE B3.8 [2] ESKA

Toute variation de flux ou de courant entraîne la création d'une tension électrique induite. En formule cette loi donne:

$$E = \frac{N \times \Delta\Phi}{\Delta t} \quad [V]$$

Nous constatons que cette tension induite dépend de la rapidité de variation, de l'amplitude de la variation et du nombre de spires.



La polarité de cette tension induite va entraîner un courant induit qui modifiera le flux magnétique initial de manière telle à s'opposer à lui, c'est ce qui définit la loi de Lenz.

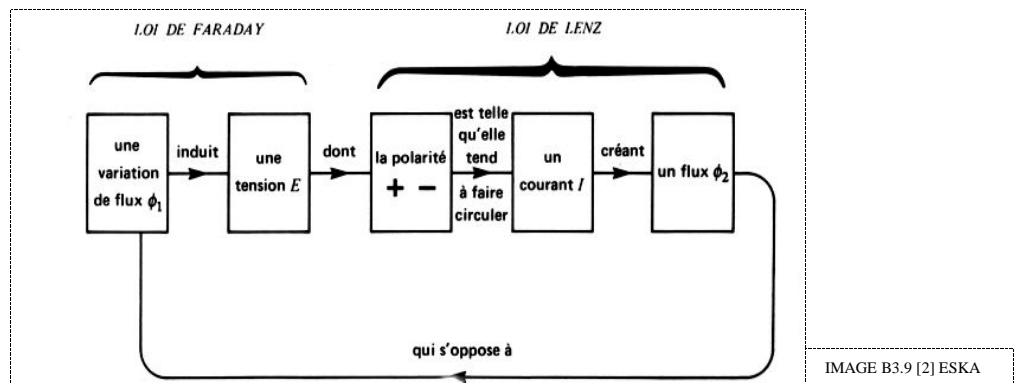


IMAGE B3.9 [2] ESKA

La tension d'auto-induction est la conséquence du phénomène de l'induction produit aux bornes d'une bobine. La variation du courant (ou du flux magnétique) dans la bobine induit une tension à ses bornes.

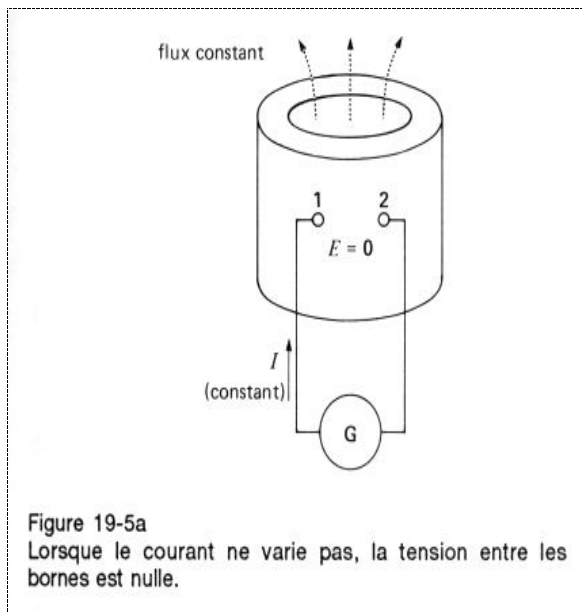


IMAGE B3.10 [2] ESKA

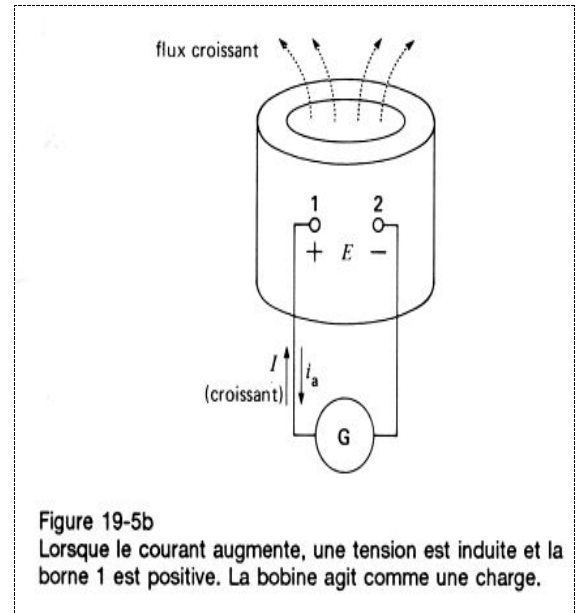


IMAGE B3.11 [2] ESKA

A l'enclenchement par exemple, l'augmentation du courant entraîne une tension induite initiale qui va freiner l'établissement du courant. En formule, l'auto-induction donne:

$$E = L \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Finalement la tension d'auto-induction dépend de la variation du courant initial - final, de la rapidité de la variation et de l'inductance propre de la bobine.

Nous pouvons dire qu'une bobine possède une inductance propre de 1 Henry si une tension de 1 Volt est induite lorsque le courant qui la traverse varie de 1 Ampère par seconde.

B3.4 Pertes magnétiques

Il ne sera étonnant pour personne d'apprendre que l'essentiel des pertes d'une bobine sont dues au circuit magnétique.

Les pertes dans le noyau magnétique dissipent une certaine énergie sous forme de chaleur lorsque l'enroulement est traversé par un courant alternatif. Nous pouvons distinguer deux types de pertes, par hystérésis ou par courants de Foucaults.

Les pertes par hystérésis sont liées à l'existence "d'un frottement" de particules dû aux changements continuels du sens de l'aimantation. Ces pertes augmentent avec la fréquence et avec la surface du circuit magnétique.

Les pertes par courants de Foucault sont liées à l'existence de courants électriques induits dans les masses métalliques du circuit magnétique. Ces pertes augmentent au carré de la fréquence et selon la conductivité spécifique (l'inverse de la résistance spécifique) du noyau magnétique. Pour diminuer ces pertes, les circuits magnétiques sont divisés en zones isolées électriquement les unes des autres.

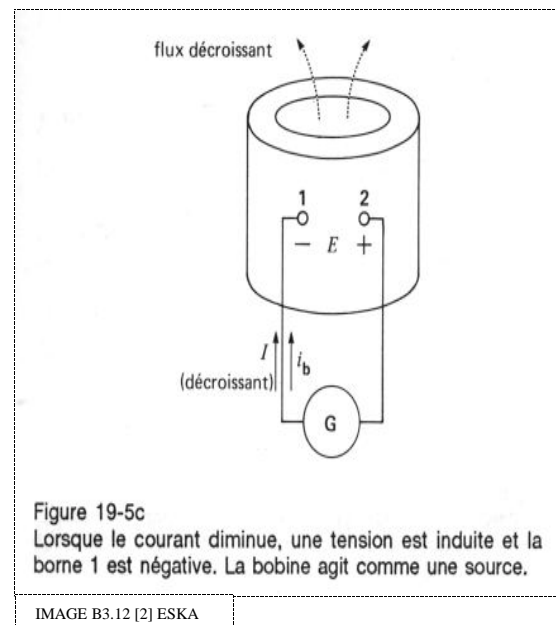
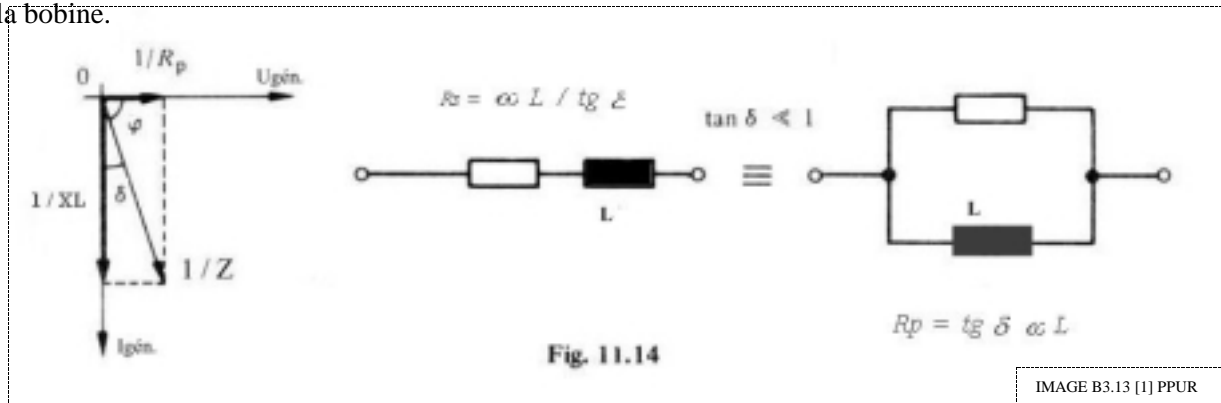


IMAGE B3.12 [2] ESKA

B3.5 Pertes électriques et facteurs de pertes

Les pertes par effet Joules dues à la résistance du fil qui constitue la bobine ne peuvent pas être négligeables si le courant continu qui traverse la bobine est important où si le fil de la bobine est très fin (petits signaux de hautes fréquences).

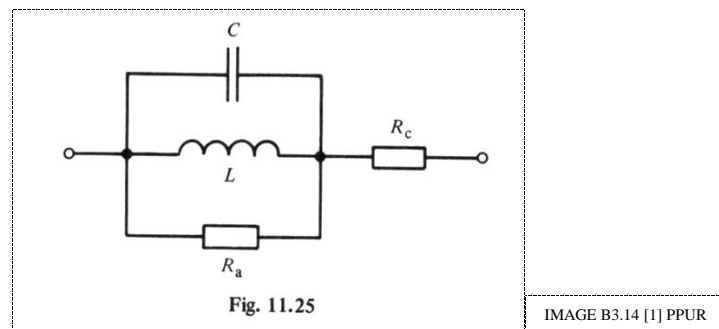
Le résistance du schéma peut être un élément câblé dans un circuit ou représenter l'ensemble des pertes propre de la bobine.



Les fabricants donnent, comme pour les condensateurs, le rapport de l'énergie active dissipée en chaleur et de l'énergie inductive produite par la bobine idéalisée. Ce facteur de pertes, ou $\tan \delta$, fait référence aux représentations vectorielles d'un signal alternatif sinusoïdal.

B3.6 Schéma équivalent

En très hautes fréquences (dès 100MHz) l'espacement d'une spire à l'autre présente une capacité parasite qui peut prendre des proportions importantes par rapport à l'effet inductif recherché.



Le comportement de la bobine peut se représenter par une bobine idéale en parallèle avec un condensateur idéal pour les effets réactifs.

Le schéma est complété par une résistance parallèle R_a qui traduit les pertes du circuit magnétique et par une résistance série R_c qui traduit la résistance du fil électrique enroulé.

B3.7 Régime permanent (sinusoïdal)

Si nous cherchons à connaître le fonctionnement d'un composant en alternatif, nous pouvons aisément le mesurer à l'aide d'appareils électroniques simples: Générateurs de signaux, oscilloscopes, multimètres.

Le régime permanent le plus pratique pour les analyses en alternatif est obtenu avec un signal sinusoïdal. Nous pouvons nous attendre ensuite à ce que l'inductance aie un comportement similaire lorsqu'il est utilisé avec un signal usuel (audio, vidéo, data,...).

Comme pour le condensateur, nous constatons que la tension et le courant sont de même forme mais sont décalés l'un par rapport à l'autre de 90 degrés ou d'un quart de période.

Cette fois, le courant dans la bobine est en retard sur la tension à ses bornes lorsqu'elle est alimentée en alternatif.

Nous vérifions encore une fois qu'une bobine s'oppose à toute variation de courant. Ce qui est une autre manière de se rappeler que le courant est en retard sur la tension. Nous pouvons en déduire que cette opposition va croître avec l'augmentation de la fréquence.

B3.8 Réactance inductive

Le comportement de la bobine en fonction de la fréquence entraîne une grande variation du rapport tension - courant . Lorsque la fréquence tend vers zéro, l'amplitude du courant est très grand et la bobine se comporte comme un court-circuit.

A l'inverse, lorsque la fréquence est élevée, l'amplitude du courant tend vers zéro et la bobine se comporte comme un circuit ouvert. Nous parlons de réactance inductive X_L exprimé en ohm [Ω] pour illustrer le comportement de la bobine en fonction de la fréquence.

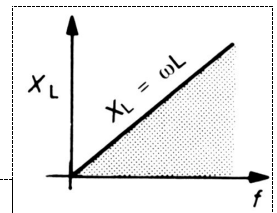


IMAGE B3.16

Cette propriété va permettre de réaliser des circuits électroniques qui pouvant sélectionner des fréquences ou empêcher une plage de fréquences de passer, comme dans le cas des filtres passe-haut par exemple.

B3.9 Régime impulsionnel

Il est utile à connaître (ou à analyser) le comportement d'une bobine en régime impulsionnel lorsqu'elle est utilisée pour des signaux digitaux ou pour étudier ce qui se passe au moment de l'enclenchement ou du déclenchement.

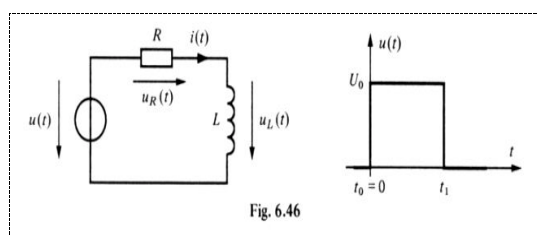


Fig. 6.46

IMAGE B3.17 [1] PPUR

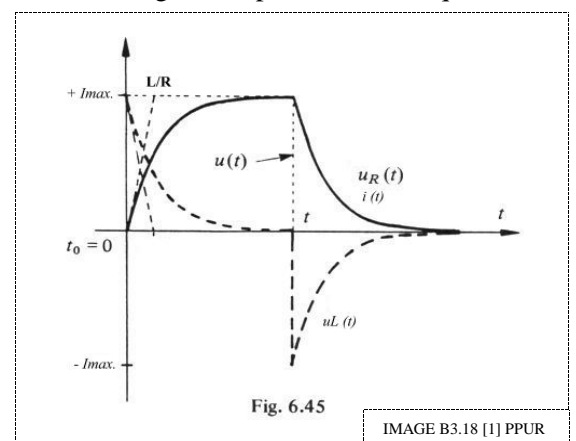


Fig. 6.45

IMAGE B3.18 [1] PPUR

Nous parlons de phénomènes transitoires et pouvons les mesurer avec un signal de "saut à l'unité", ou simplement en situation de ON -OFF. Considérons à nouveau le circuit simplifié ci-dessous et observons son comportement par la forme des diverses tensions et du courant dans le circuit. La forme du courant dans le circuit est identique à la tension aux bornes de la résistance car la loi d'ohm reste valable $i_{r(t)} = u_{r(t)} / R$.

Notons que la tension sur la bobine a changé de polarité dès l'interruption de l'alimentation. S'opposant à la fermeture du courant, la bobine devient générateur de courant et la tension induite à ses bornes s'est inversée. Cette tension de rupture peut être extrêmement élevée et entraîner un arc électrique.

La vitesse du phénomène transitoire visible dépend de la constante de temps du circuit donné par le rapport de L avec R, exprimé par la lettre grecque Tau: $\tau = L / R$ [s].

B3.10 Circuit oscillant

Dans les circuits électroniques, les bobines sont souvent associées aux condensateurs. Ils peuvent être couplés soit en série soit en parallèle, le résultat est le même. Chacun de ces composants emmagasine de l'énergie l'un sous forme électrostatique (C) et l'autre électromagnétique (L).

La bobine et le condensateur emmagasinent l'énergie à tour de rôle; ces deux composants s'échangent mutuellement l'énergie électrique en jeux. Cet échange se fait à une vitesse bien précise. Elle dépend de la valeur des composants L et C.

Si nous observons l'évolution du courant dans le circuit série dès l'enclenchement de l'alimentation nous constatons que l'échange est de forme sinusoïdale et la fréquence se calcule par la formule $\omega^2 \cdot L \cdot C = 1$, avec $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ et est appelée fréquence d'oscillation f_0 ou fréquence de résonance f_r .

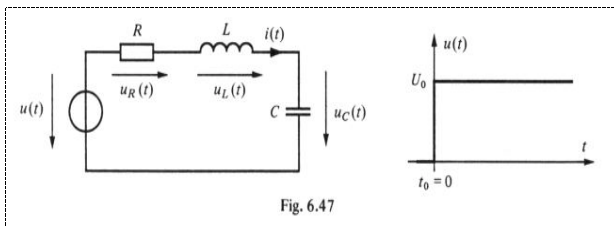


Fig. 6.47

IMAGE B3.19 [1] PPUR

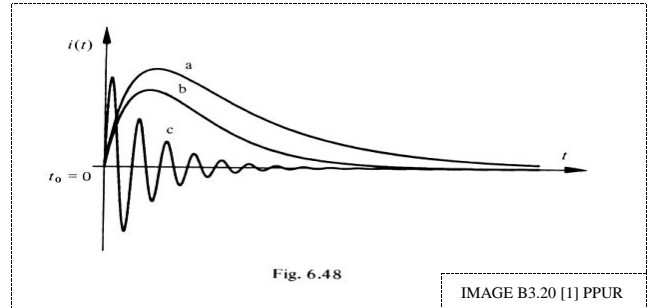


Fig. 6.48

IMAGE B3.20 [1] PPUR

Un circuit oscillant, appelé également circuit RLC, est le siège d'oscillations dites amorties si la valeur de la résistance totale du circuit ne dépasse pas une valeur critique. D'après le graphique de droite ci-dessus, le circuit est appelé

- sur-critique pour la courbe a
- critique pour la courbe b
- à oscillations amorties pour la courbe c

IMAGE B3.21 [1] PPUR

Cette propriété oscillante en fait des circuits dont l'impédance apparente varie en fonction de la fréquence.

Un circuit oscillant série présente une petite impédance à la fréquence d'oscillation et une grande impédance pour toutes les autres fréquences.

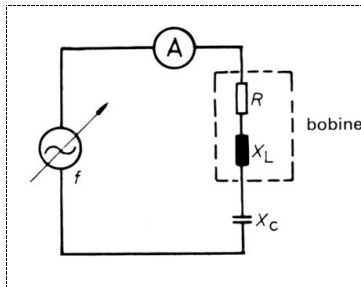
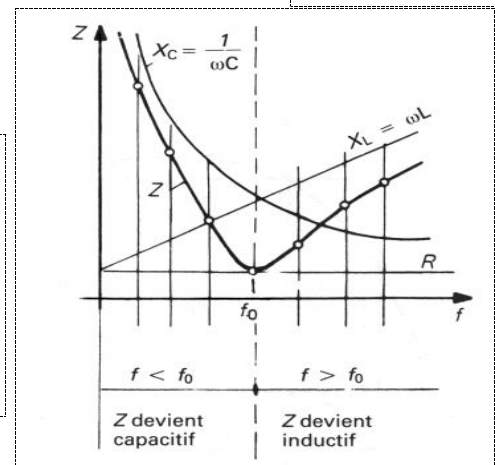


IMAGE B3.22 [1] PPUR



Un circuit oscillant parallèle présente une grande impédance à la fréquence d'oscillation et une petite impédance pour toutes les autres fréquences.

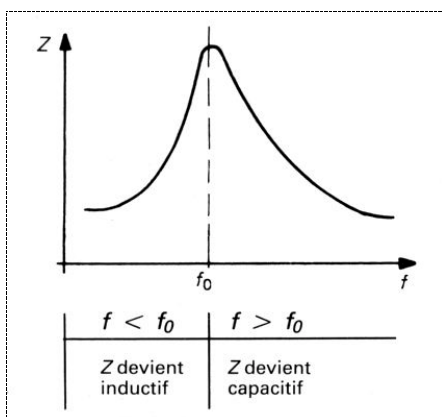


IMAGE B3.23 [1] PPUR

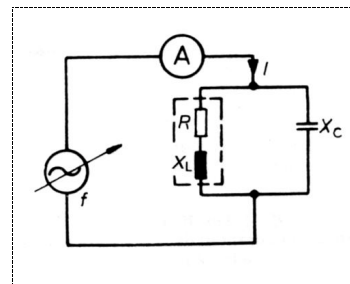


IMAGE B3.24 [1] PPUR

Les circuits oscillants peuvent donc sélectionner une fréquence parmi d'autres ce qui est très utilisé en électronique de télécommunication.

B3.11 Bibliographie

Niveau étudiant:

ALBERT PAUL MALVINO *Principes d'électroniques*
Paris McGraw-Hill 1988 (3e éd.) ISBN: 2-7042-1176-0

C. CIMELLE & R. BOURGERON *Guide du technicien en électronique*
Paris Hachette 1995 ISBN: 2-01-16-6868-9

THEODORE WILDI *[2] Electrotechnique*
Québec ESKA 1991 (3^e éd.) ISBN: 2-86911-096-0

Collection ETAPES: R. MERAT, R. MOREAU, L. ALLAY, J.-P. DUBOIS, J. LAFARGUE, R. LE GOFF

Electronique analogique
Paris Nathan 1992 ISBN: 2.09.176893.6

Electronique numérique
Paris Nathan 1993 ISBN: 2.09.176117.6

Electronique de puissance
Paris Nathan 1992 ISBN: 2.09.176079

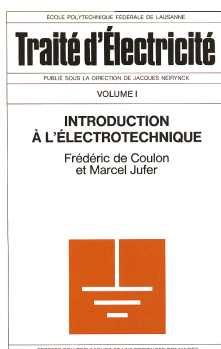
C. SERMONDADE, A. TOUSSAINT

Régulation tome 1&2
Paris Nathan 1994 ISBN T1: 2.09.176-895-3
ISBN T2: 2-09-176704-2

Niveau ingénieur:

Collection TRAITE D'ELECTRICITE: (Presses Polytechniques et Universitaires Romandes)

Site web: <http://www.ppur.org>



FREDERIC DE COULON & MARCEL JUFER

[1] Introduction é l'électrotechnique
Lausanne PPUR 1995 (7e éd.) ISBN: 2-88074-041-X

HANSRUEDI BÜHLER

Electronique de réglage et de commande
Lausanne PPUR 1990 (3e éd.) ISBN: 2-88074-056-8

Electronique de puissance
Lausanne PPUR 1978 (1ère éd.) ISBN: 2-604-00017-2

Réglage de systèmes d'électronique de puissance Volumes 1, 2 et 3
Lausanne PPUR 1997 ISBN: 2-88074-341-9 Vol.1
ISBN: 2-88074-342-7 Vol.2
ISBN: 2-88074-397-4 Vol.3

Convertisseurs statiques
Lausanne PPUR 1991 ISBN: 2-88074-230-7