

Electromagnétisme : synthèse

Induction magnétique

B (Tesla). L'induction magnétique est la production d'une différence de potentiel électrique dans un conducteur électrique soumis à un champ magnétique variable. Cette différence de potentiel peut engendrer un courant électrique.

Induction magnétique terrestre

H (Ampère/mètre). L'induction magnétique terrestre, aussi appelé bouclier terrestre, est l'induction magnétique produite par la terre. Il s'agit d'un champ magnétique présent dans un vaste espace autour de la Terre (de manière non uniforme du fait de son interaction avec le vent solaire).

Pôle magnétique

Le pôle magnétique est le point de convergence des lignes de champ magnétique. Les lignes de champs magnétique s'éloignent du pôle nord pour rejoindre le pôle sud. Un pôle magnétique, contrairement à un pôle électrique, ne peut être séparé de son homologue.

Force magnétique

La force magnétique est la force qu'exerce un champ magnétique sur une charge en mouvement. Elle est proportionnelle à la valeur et la vitesse de charge ainsi qu'à l'intensité du champ magnétique.

Force de Lorentz

Une charge en mouvement peut être placée dans un champ électromagnétique, ensemble d'un champ électrostatique E et d'un champ magnétique B. Cette charge est donc soumise à la composante vectorielle de la force électrostatique ET celle de la force magnétique.

La force de Lorentz, ou force électromagnétique, est la force subie par une particule chargée dans un champ électromagnétique.

$$\vec{f} = q(\vec{E} + \vec{v}\vec{B} \sin \alpha)$$

Champ magnétique produit par un solénoïde

Ce champ, qui est indépendant du rayon du solénoïde, est proportionnel au nombre de spires par unité de longueur.

$$B = \mu_0 NI \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

B = champ magnétique, μ_0 = perméabilité de l'air, N = nombre de spires, I = courant.

Tire-bouchon de Maxwell

Le sens du courant est donné par le sens de progression d'un tire-bouchon, placé sur l'axe de la bobine quand on le fait tourner dans le sens du courant.

Lien entre champ magnétique et induction magnétique

L'induction magnétique est la force résultante du champ électromagnétique.

Les vecteurs champ d'excitation et champ d'induction sont portés par le même support mais ils ne sont pas de même nature. Ils ont alors une unité de mesure différente.

$$B = \mu_0 \cdot H$$

Champ d'induction = champ magnétique = B : Tesla (T)

Champ d'excitation = induction magnétique = H : Ampère par mètre (A/m)

Théorème d'Ampère

La circulation du vecteur le long d'un parcours traversé par des circuits électriques est égale à la somme algébrique des courants entrelacés par cette courbe.

Il permet de déterminer la valeur du champ magnétique grâce à la donnée des courants électriques (règle main droite).

$$\int_{(c)}^H dl = \sum i \left(\sum i = i_1 - i_2 + i_3 \right)$$

Flux d'induction magnétique

On appelle flux d'induction magnétique à travers une surface (S), placée dans un champ uniforme (B), le produit de l'aire par la composante (B) du champ normal à la surface. Unité : Weber (wb).

Il s'agit d'une grandeur physique mesurable caractérisant l'intensité et la répartition spatiale du champ magnétique. Cette grandeur est égale au flux du champ magnétique.

$$\Phi = B_n S = BS \cos \alpha$$

Φ = flux d'induction magnétique, B = champ magnétique, S = surface, n = composant normal (perpendiculaire à la surface).

Loi de Laplace

A l'état de repos, un conducteur est rempli d'électrons libres.

Quand le conducteur est alimenté, ces électrons se déplacent à vitesse moyenne V dans le sens inverse du courant.

Soit un conducteur de longueur l placé dans un champ magnétique B qui trace un angle α avec le conducteur, ce champ exercera une force sur chacun des électrons en mouvement.

$$f = qV \cdot B \sin \alpha \quad (q = -e)$$

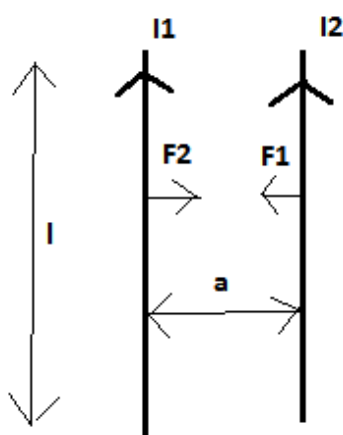
$$F = IlB \sin \alpha$$

$$\vec{F} = I \vec{l} \wedge \vec{B}$$

- Disposer l'index dans le sens du courant (INDEX, INTENSITÉ)
- Disposer le majeur dans le sens du champ (MAJEUR, MAGNÉTIQUE)
- Le pouce donne le sens de la force (la force POUSe)

On peut donner une expression vectorielle à la loi de Laplace en définissant un vecteur l qui a le sens du courant : $f = i \cdot l \cdot B$

Action entre 2 conducteurs parallèles



Le conducteur 2 est parcouru par I_2 avec l'induction.

Le champ de B_2 agira sur le fil 2.

$$B_2 = \mu_0 \frac{I_2}{2\pi a} \text{ où } a \text{ est la distance entre les fils}$$

Le conducteur 1 est parcouru par I_1 avec l'induction.

Le champ de B_1 agira sur le fil 1.

$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi a}$$

→ Ils ont donc tendance à s'attirer l'un l'autre. $W = (\varphi_1 - \varphi_2) = I \cdot d\varphi$

Travail des forces électromagnétiques

$$\varphi\omega = id\varphi$$

Sur un élément courant

Le travail accompli par un élément de circuit, traversé par un courant, est égal au produit de l'intensité du courant par le flux coupé par cet élément.

$$W = F \cdot d \qquad F = I \cdot l \cdot B$$

$$W = I \cdot l \cdot B \cdot d \qquad S = l \cdot d$$

$$W = I \cdot B \cdot S \qquad \varphi = B \cdot S$$

$$W = I \cdot \varphi$$

W = Travail accompli, F = Force électromagnétique, d = Déplacement, I = Courant, l = Longueur, B = Champ électromagnétique, S = Surface, φ = Flux d'induction magnétique

Dans un circuit fermé

Le travail des forces électromagnétique, qui s'exerce sur lui, est égal au produit de l'intensité du courant par le flux coupé par cet élément.

$$W = I (\varphi_1 - \varphi_2)$$

W = Travail accompli, I = Courant, φ = Flux d'induction magnétique

Loi du flux maximal

Un circuit placé dans un champ magnétique et susceptible de se déplacer (ou de se déformer) prend toujours la position (ou la forme) pour laquelle le flux qui le traverse soit maximal.

Moteur à courant continu

Uniquement le principe de base du stator et du rotor.

Stator (ou inducteur)

C'est un électro-aimant qui crée un champ magnétique sur la surface cylindrique du rotor.

Rotor (ou induit)

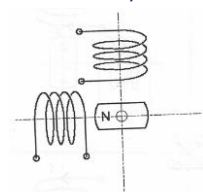
C'est un cylindre d'acier comportant sur sa surface externe des encoches régulièrement réparties dans lesquelles sont disposés des conducteurs.

Moteur pas à pas

Moteur avec l'aimant qui tourne

<http://www.aime/insa-tlse.fr/cours/digital/tpxil/motor>

Moteur synchrone diphasé



Le moteur synchrone utilise un champ magnétique tournant pour actionner le rotor qui est un aimant permanent (donc Nord-Sud).

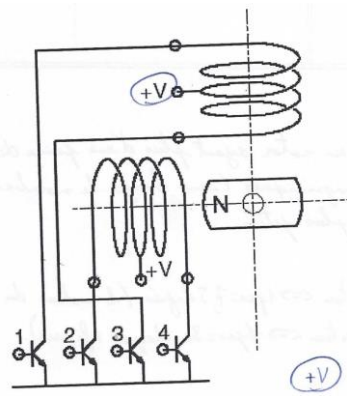
Dans le cas du moteur diphasé, le champ tournant est produit par deux bobines disposées à 90 degrés.

Fonctionnement en pas-à-pas

Si les bobines sont alimentées en tout-ou-rien, on peut obtenir un mouvement discontinu par pas de 90 degrés. En maintenant une bobine alimentée, on verrouille le moteur dans sa position actuelle.

Application : positionnement précis d'organes de petits mécanismes, comme : imprimante, lecteur de disquettes, scanner, petites machines-outils.

Moteur pas-à-pas 4 phases



Le fonctionnement décrit ici nécessite de pouvoir inverser le courant dans les bobines.

Pour faciliter la commande par transistors de puissance, dans les moteurs pas-à-pas usuels, il y a 2 bobines sur chaque axe magnétique, une pour chaque sens de flux.

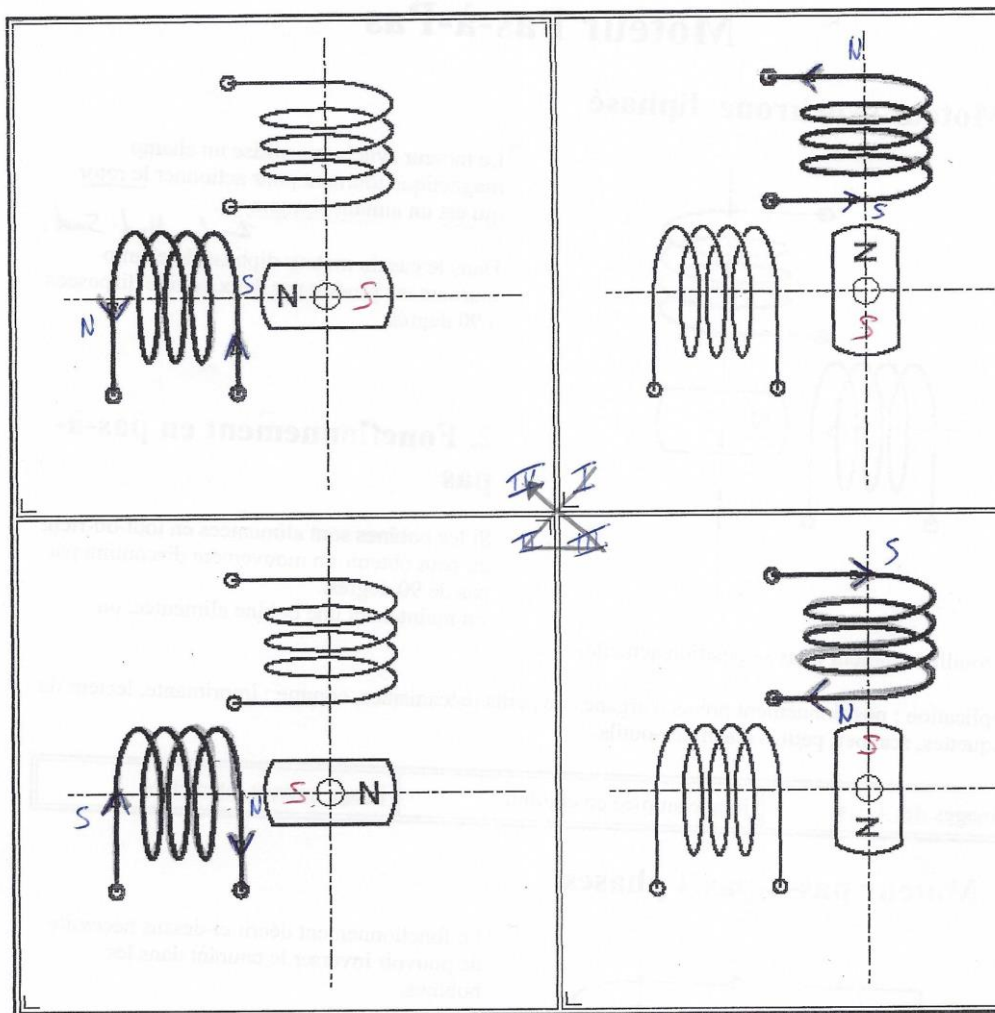
Il y a donc 4 bobines à commander, mais avec un sens unique et identique, ce qui permet d'utiliser par exemple 4 transistors NPN avec émetteur commun.

+V : le point au milieu sera toujours positif.

Multiplication des pôles

images des 4 pas

Page 1 de 1



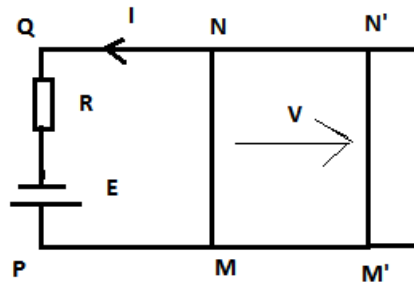
On peut construire un moteur avec un rotor ayant plus d'une paire de pôles, et un stator ayant plus de 2 axes magnétiques (sans changer le nombre de phases). On obtient alors des pas plus petits.

Exemple :

- 12 paires de pôles \rightarrow 8 pas par tour \Leftrightarrow 1 pas = 7,5 degrés (le moteur du TP).
- 3 paires de pôles \rightarrow 12 pas par tour \Leftrightarrow 1 pas = 30 degrés (figure).

Force électromotrice induite

Fonctionnement en récepteur



Dans ce circuit, il est facile de constater que si la barre MN est bloquée, le courant qui circule dans ce circuit est $I = \frac{E}{R}$. Mais si on laisse la barre se déplacer à la vitesse V , le courant dans ce circuit diminue.

Cette diminution est due à l'apparition d'une force électromotrice : $I = \frac{(E+e)}{R}$ avec $e = -\frac{d\varphi}{dt} = -B \cdot l \cdot V$

e = force électromotrice

Il y a donc production d'une force électromotrice qui ajoute son effet à la tension d'alimentation.

Cas/Règle générale

$$e = -\frac{n \cdot d \cdot \varphi}{d \cdot t} \text{ où } n = \text{Nombre de spires}$$

Courant de Foucault

IMPORTANT POUR L'EXAMEN, beaucoup de choses autour de nous fonctionnent avec ça
Utilisé pour freiner.

Le courant de Foucault est le courant qui se développe à l'intérieur de pièces métalliques provoquant un échauffement.

Une masse métallique peut, soit se déplacer dans un champ magnétique, soit se trouver dans un champ variable. Comme la pièce est conductrice, il s'y développe des courants induits :

- S'ils sont produits par un déplacement, les forces de freinage s'opposent au mouvement qui leur a donné naissance.
- S'ils sont provoqués par un champ variable, il y a seulement échauffement.

Inductance

Quand un courant d'intensité I parcourt un circuit, il crée dans l'espace environnant un champ magnétique. Il en résulte, à travers le circuit, un flux proportionnel à I , le facteur de proportionnalité L est appelé l'inductance du circuit.

L'inductance d'un circuit est le quotient du flux du champ magnétique par l'intensité du courant traversant le circuit : $\varphi = L \cdot I$

L'unité de mesure est le Henry. L'inductance d'un circuit est toujours positive

Energie électromagnétique

Calcul de l'énergie accumulée dans une bobine lorsqu'elle est traversée par un courant I .

L'énergie fournie par la source ($Eidt$) se transforme d'une part en énergie calorifique (RI^2dt) et d'autre part en énergie électromagnétique ($id\varphi$) : $Eidt = RI^2dt + id\varphi$

Ce qui nous intéresse est l'énergie électromagnétique ($id\varphi$) donc :

$$W = \int id\varphi = L \int i di$$

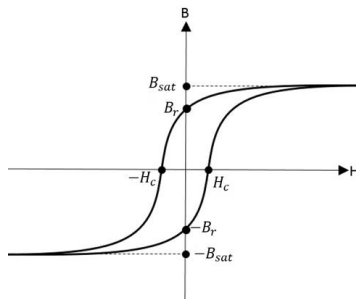
$$W = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

C'est l'énergie du champ électromagnétique contenue dans un volume donné de l'espace, à l'instant donné. Cette énergie électromagnétique extensive s'exprime en Joules, comme toute quantité d'énergie. Elle dépend en général du temps et de l'espace donné.

Perméabilité magnétique

La perméabilité d'un matériau est le produit de la perméabilité de l'air (grandeur qui dépend du système d'unités choisi) avec la perméabilité relative du matériau par rapport à l'air (grandeur sans dimension). Formule : $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

Hystérésis



Soumettre un échantillon de substance ferromagnétique à un champ d'excitation H jusqu'à saturation, son induction est alors représentée par la courbe de première aimantation.

Faire décroître progressivement le champ d'excitation, l'induction B ne reprend pas la même valeur qu'au départ, elle est plus grande qu'elle n'était, l'échantillon conserve une partie de l'aimantation acquise dans le champ d'excitation.

Lorsque le champ d'excitation s'annule, l'induction conserve sa valeur, l'**induction rémanente** (B_r).

En renversant le champ d'induction, B continue de diminuer puis s'annule, laissant un certain champ d'excitation opposé à celui qui a provoqué l'aimantation initiale, ce champ s'appelle **champ coercitif** (H_c).

Si on continue de faire croître le champ d'excitation jusqu'à **saturation** (cette fois ci en sens inverse), la courbe atteint un point symétrique au point atteint de l'autre côté par rapport à l'origine.

En revenant graduellement au champ d'excitation initial, on trace une branche symétrique à la précédente par rapport à l'origine.

On a fait décrire à cet échantillon un **cycle d'hystérésis**.

Courbe d'aimantation

Cette courbe décrit la boucle d'hystérésis de l'aimantation, et permet de mesurer les paramètres caractéristiques du ferromagnétisme du matériau.

$$\mu = \frac{B}{H} \quad \text{où} \quad B = \text{Champ magnétique et } H = \text{Excitation}$$

Excitation faible

L'intensité du champ magnétique (axe y) est pratiquement proportionnelle à l'excitation (axe x). La perméabilité de la substance est donc constante.

Excitation élevée

L'intensité du champ magnétique continue à croître très légèrement quand on augmente l'excitation. Dans ces conditions, la perméabilité du matériau diminue et elle est dite saturée.

Pertes par hystérésis

La puissance perdue, par unité de volume, est égale à l'aire du cycle d'hystérésis.

Loi de Lenz

La définition est souvent demandée. Etre précis et avec ses propres mots !

Toute variation de flux dans un circuit crée une force électromotrice aux bornes du circuit.

Si le circuit est fermé, il y aura apparition de courant.

Le courant induit dans un circuit est de sens tel que, par ses effets, il s'oppose à la cause qui lui donne naissance. Cette loi permet de trouver le sens du courant induit.

Transformateur

Bien séparer le primaire et le secondaire.

Un transformateur est un appareil qui permet de changer la valeur efficace d'une tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement.

il est composé de deux self (primaire et secondaire).

Rapport de transformation

Exemple : TV 75 Ω et antenne 300 Ω .

C'est le rapport du nombre de spires secondaire sur le nombre de spires primaires.

$$U_1 = -n_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad U_2 = -n_2 \frac{d\varphi}{dt} \quad \Rightarrow \quad \frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = m$$

m = Rapport de transformation

Transformateur comme adaptateur d'impédance

C'est une technique utilisée en électricité permettant d'optimiser le transfert d'une puissance électrique entre un émetteur (source) et un récepteur électrique (charge) et d'optimiser la transmission des signaux de télécommunications.

Z = impédance du circuit (résistance de ce cas-là)

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad Z_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{I_1}{I_2} = m \cdot m = m^2$$

$$Z_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot Z_1 \quad Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot Z_2$$

Phénomène/Grandeur périodique

Un phénomène est périodique lorsqu'il se reproduit identiquement à lui-même à des intervalles de temps égaux. Le nombre de périodes par seconde s'appelle la fréquence : $f = 1/T$ ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$).

T = période = temps qu'il faut pour faire un cycle complet. (Secondes)

F = fréquence = nombre de période par seconde. (Hertz)

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

Grandeur alternative

Une grandeur est alternative lorsque sa valeur instantanée est tantôt positive, tantôt négative. On appelle alternance positive la partie de la période où elle est positive et alternance négative la partie de la période où elle est négative.

Grandeur sinusoïdale

Elle constitue un cas particulier de la fonction périodique, c'est une fonction alternative symétrique. Elle a pour expression : $y = A_M \sin(\omega t + \varphi)$.

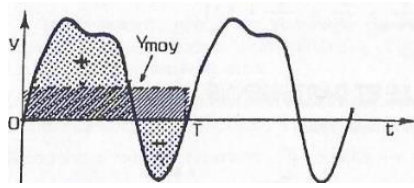
A_m = amplitude (max \Rightarrow V efficace $\cdot \sqrt{2}$)

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$ = pulsation (radian/sec) (t = temps)

$\theta = \omega t + \varphi$ = argument du sinus (phase totale)

φ = phase à l'origine (t = 0, $\theta = \varphi$)

Valeur moyenne



Se mesure au voltmètre en DC (courant continu).

Cette valeur est définie par la différence entre les 2 aires, supérieure et inférieure.

$$\text{Valeur moyenne} = \frac{2 A_m}{\pi}$$

Valeur efficace

Se mesure au voltmètre en courant AC (courant alternatif).

Cette valeur est définie par la racine carrée de sa valeur quadratique moyenne pendant une période.

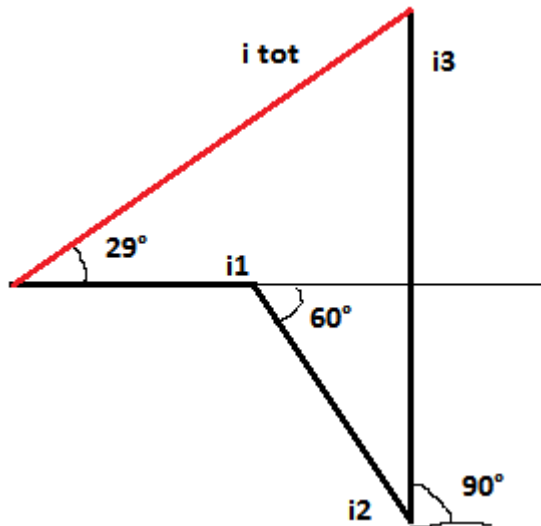
$$\text{Valeur efficace} = \frac{A_m}{\sqrt{2}} = A_m \frac{\sqrt{2}}{2} = A_m \cdot 0,707$$

Addition de fonctions périodiques

Pas de théorie, juste savoir le faire.

L'addition d'une fonction périodique donnera toujours une fonction périodique (voir trigonométrie avec formule de Simpson, etc.)

Méthode vectorielle



Une grandeur, somme de plusieurs grandeurs sinusoïdales de même période, est une grandeur sinusoïdale de même fréquence. Elle est représentée vectoriellement par la résultante géométrique des vecteurs qui représentent chacune des grandeurs de la somme.

Exemple, somme vectorielle de : $i_1 = 4 \sin(\omega t)$, $i_2 = 5 \sin(\omega t - 60^\circ)$, $i_3 = 8 \sin(\omega t + 90^\circ)$

Amplitude = longueur du vecteur

Phase à l'origine = retard où avance (-60° = descendre, $+90^\circ$ = monter)

Méthode complexe

Grâce à la méthode complexe, on peut exprimer un vecteur sous forme algébrique.

Définition d'un vecteur 1 possédant comme support l'axe des x (amplitude 0°)

Une rotation de 90° du vecteur équivaut à une multiplication de ce vecteur par le nombre j.

Un nombre capable de faire effectuer une rotation à un vecteur est appelé un opérateur.

L'axe des y est donc le support du vecteur $j \cdot 1 = j$ (amplitude 90°)

En effectuant une nouvelle rotation de 90° on obtient le vecteur $j^2 \cdot 1$ (am = 180°)

Ce vecteur est donc en opposition avec le vecteur 1 (am = 0°)

Au final on obtient la relation $j^2 = -1$

Le nombre j que nous avons définis possède toutes les propriétés du nombre imaginaire $j^2 = -1$

L'axe des x portant le vecteur 1 est appelé axe réel.

L'axe des y portant le vecteur j est appelé axe imaginaire.

Régimes transitoires

Circuits RC

Constante de temps : $T = R \cdot C$

$$\text{Charge : } V = V_0 \left(1 - e^{\left(-\frac{t}{T}\right)} \right) \quad \text{Avec } V_0 = E$$

$$\text{Décharge : } V = V_0 \cdot e^{\left(-\frac{t}{T}\right)} \quad \text{Avec } V_0 = E$$

Circuits RL (charge et décharge)

Une question sur les RL.

Constante de temps : $T = \frac{L}{R}$

$$\text{Charge : } I = I_0 \left(1 - e^{\left(-\frac{t}{T}\right)} \right) \quad \text{Avec } I_0 = \frac{E}{R}$$

$$\text{Décharge : } I = I_0 \cdot e^{\left(-\frac{t}{T}\right)} \quad \text{Avec } I_0 = \frac{E}{R}$$

Circuits RCL série

On n'a pas fait les parallèles.

$$V = V_0 \cos(\omega t) \quad I = V_0 \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \sin(\omega t) \quad \text{Avec } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Impédance

$$Z_R = R \quad \text{Donc } U = R \cdot I \quad (\text{résistance} \Rightarrow \text{ohm})$$

Réactance

$$Z_L = j L \omega \quad \text{Donc } U = j L \omega \cdot I \quad (\text{bobine} \Rightarrow \text{ohm})$$

Quantité qui, ajoutée à la résistance, permet de calculer l'impédance d'un courant alternatif dont on connaît la période. Elle s'exprime en Ohm.

- Si $X > 0$ alors dipôle est. Inductif
- Si $X = 0$ alors dipôle est purement résistif
- Si $X < 0$ alors dipôle est capacitif

Capacitance

$$Z_C = -j \frac{1}{C\omega} \quad \text{Donc } U = -j \frac{1}{C\omega} \cdot I \quad (\text{condensateur} \Rightarrow \text{ohm})$$

Circuits séries et parallèles en courant alternatif

Série

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_n$$

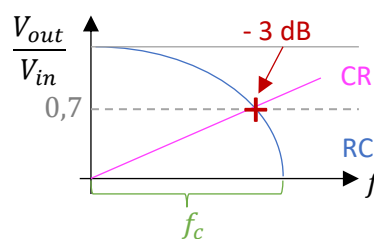
Parallèle

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

Filtres

IMPORTANT POUR L'EXAMEN

1 chance sur 2 filtre ou RC.



Un filtre est une application (sens mathématique) recevant un signal d'entrée et le transformant en un autre signal de sortie.

Filtre passe-bas : laisse passer les basses fréquences et atténue/coupe les hautes fréquences.

Filtre passe-haut : l'inverse du filtre passe-bas.

Filtre passe-bande : filtre passe-bas et passe-haut combinés.

Fréquence de coupure

La fréquence de coupure notée f_c est la fréquence à laquelle un signal est atténué de 3dB.

fréquence de coupure = atténuation 3dB = atténuation 50% puissance du signal

Bobine : $f_c = \frac{R}{2\pi} \cdot L$

Condensateur : $f_c = \frac{1}{2\pi} \cdot R_c$

Tuyau pour l'examen (télécom/électromagnétisme) :

Une fréquence tel que le déphasage est de 45° est une fréquence de coupure.

Rapport $\frac{V_{out}}{V_{in}} = 0,7$ et $\frac{P_{sortie}}{P_{entrée}} = 0,5$

Bande passante

La bande passante est l'intervalle, mesurée en Hertz, entre la fréquence de coupure haute d'un système et la fréquence de coupure basse.

Bouterfa (télécom) ↔ De Vleeschouwer (électromagnétisme)

$$n \text{ dB} = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \xrightarrow{\text{idem}} f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Notion de dB

$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 0,7$ à la fréquence de coupure.

$V_{out} = 70\% V_{in}$ et la puissance de sortie c'est 50% de l'entrée (en télécom).

En électromagnétisme, c'est le 0,7 qui est important.

Autres notions pouvant être intéressante

Champ magnétique

Le champ magnétique est une grandeur ayant le caractère d'un champ vectoriel, c'est-à-dire caractérisée par la donnée d'une intensité et d'une direction, définie en tous points de l'espace, permettant de modéliser et quantifier les effets magnétiques du courant électrique ou des matériaux magnétiques comme les aimants.

Il s'agit d'une grandeur vectorielle définissant les propriétés magnétiques d'une région.

Impédance électromagnétique

L'impédance en électromagnétisme c'est la grandeur qui est pour les courant alternatif, l'équivalent de la résistance pour les courant continue.

$$Z = U/I \text{ comme } R = U/I$$

Circuit alternatif série : $Q = 1/C\omega R$

Circuit séries et parallèle en courant alternatif parallèle : $Q = L\omega/R$

Technique de la main droite

