

Programme de Colle PSI

Semaine 11 : du 4 au 8 décembre

Tout exercice sur les milieux magnétiques (fondements, circuits magnétiques, transformateurs, contacteur électro-mécanique). A partir de mercredi, on pourra donner des exercices simples sur les machines

Circuit magnétique avec ou sans entrefer.	Décrire l'allure des lignes de champ dans un circuit magnétique en admettant que les lignes de champ sortent orthogonalement à l'interface dans un entrefer.
Électroaimant.	Exprimer le champ magnétique produit dans l'entrefer d'un électroaimant.
Inductance propre d'une bobine à noyau de fer doux modélisé linéairement.	Établir l'expression de l'inductance propre de la bobine à noyau. Vérifier l'expression de l'énergie magnétique : $E_{mag} = \iiint \frac{B^2}{2\mu_0\mu_r} d\tau.$
Pertes d'une bobine réelle à noyau.	Exprimer le lien entre l'aire du cycle hystérésis et la puissance moyenne absorbée. Décrire les différents termes de pertes d'une bobine à noyau : pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis, pertes cuivre.

La partie « **Transformateur** » complète le modèle du transformateur de tension vu en première année. On ajoute ici le rôle d'un noyau de fer doux de forte perméabilité permettant d'obtenir un transformateur de courant. Les pertes et les défauts sont évoqués mais ne sont pas modélisés. En particulier, l'inductance magnétisante est hors programme. On explique l'intérêt du transformateur pour l'isolement et le transport de l'énergie électrique sur de longues distances.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.2. Transformateur	
Modèle du transformateur idéal.	Citer les hypothèses du transformateur idéal. Établir les lois de transformation des tensions et des courants du transformateur idéal, en respectant l'algébrisation associée aux bornes homologues. Relier le transfert instantané et parfait de puissance à une absence de pertes et de stockage de l'énergie électromagnétique.
Pertes.	Citer les pertes cuivre, les pertes fer par courant de Foucault et par hystérésis. Décrire des solutions permettant de réduire ces pertes.
Applications du transformateur.	Expliquer le rôle du transformateur pour l'isolement. Établir le transfert d'impédance entre le primaire et le secondaire. Expliquer l'intérêt du transport de l'énergie électrique à haute tension afin de réduire les pertes en ligne. Expliquer l'avantage d'un facteur de puissance élevé. Mettre en œuvre un transformateur et étudier son rendement sur charge résistive.

Dans la partie « **Conversion électro-magnéto-mécanique** », on privilégie un calcul des actions électromagnétiques en dérivant l'énergie magnétique stockée dans le système par rapport à un paramètre de position notamment afin de prendre en compte le rôle du fer. Les milieux magnétiques sont modélisés par des milieux linéaires. La notion de coénergie est hors programme.

Dans une première partie, la méthode de calcul de la force s'exerçant sur une partie mobile de fer est illustrée sur un contacteur en translation faisant partie d'un circuit magnétique dont l'entrefer est variable. À l'aide d'un bilan énergétique, le professeur pourra justifier la relation $F = (\partial E / \partial x)_i$; mais cette démonstration ne doit pas être considérée comme une capacité exigible.

On aborde ensuite le moteur synchrone en dérivant l'énergie magnétique localisée dans l'entrefer afin de déterminer le moment du couple électromagnétique. Les champs glissants statorique et rotorique sont radiaux dans l'entrefer et présentent des formes d'onde sinusoïdales. On montre que le moment moyen est non nul si les champs glissants sont synchrones. Le modèle électrique des phases de l'induit est abordé afin de décrire la conversion électromécanique de puissance, mais on n'étudiera pas l'utilisation d'une machine à vide comme compensateur synchrone.

Dans un troisième temps, le fonctionnement du moteur à courant continu est traité par analogie avec le moteur synchrone, en montrant que le collecteur réalise le synchronisme entre un champ statorique stationnaire et un champ rotorique qui lui est orthogonal quelle que soit la position angulaire du rotor, produisant ainsi un moment maximal.

On évoque enfin la réversibilité énergétique des machines électriques, en distinguant avec rigueur force électromotrice (f_{em}) et force contre-électromotrice (f_{cem}). La puissance mécanique des machines est reliée à la puissance électrique des forces électromotrices induites à l'aide de bilans énergétiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
5.3. Conversion électro-magnéto-mécanique	
5.3.1. Contacteur électromagnétique en translation	
Énergie et force électromagnétique.	Exprimer l'énergie magnétique d'un enroulement enlaçant un circuit magnétique présentant un entrefer variable. Calculer la force électromagnétique s'exerçant sur une partie mobile en translation en appliquant l'expression fournie $F = (\partial E / \partial x)_i$.
Contacteur électromagnétique.	Sur l'exemple du relais, expliquer le fonctionnement d'un contacteur électromagnétique.
5.3.2. Machine synchrone	
Structure d'un moteur synchrone à pôles lisses et à excitation séparée.	Décrire la structure d'un moteur synchrone diphasé et bipolaire : rotor, stator, induit, inducteur.
Champ magnétique dans l'entrefer.	Exprimer, pour une machine de perméabilité infinie à entrefer constant, le champ magnétique dans l'entrefer généré par une spire passant dans deux encoches opposées. Expliquer qualitativement comment obtenir un champ dont la dépendance angulaire est sinusoïdale dans l'entrefer en associant plusieurs spires décalées.
Champ glissant statorique.	Justifier l'existence d'un champ glissant statorique lorsque les deux phases sont alimentées en quadrature.
Champ glissant rotorique.	Justifier l'existence d'un champ glissant rotorique associé à la rotation de l'inducteur.

Énergie et couple.	Exprimer l'énergie magnétique totale stockée dans l'entrefer en fonction de la position angulaire du rotor. Calculer le moment électromagnétique s'exerçant sur le rotor en exploitant l'expression fournie $\Gamma = \partial E / \partial \theta$.
Condition de synchronisme.	Justifier la condition de synchronisme entre le champ statorique et le champ rotorique afin d'obtenir un moment moyen non nul. Discuter qualitativement la stabilité du système en fonction du déphasage entre les deux champs glissants. Expliquer la difficulté du démarrage et du contrôle de la vitesse d'un moteur synchrone.
Modèle électrique de l'induit.	Établir les équations électriques vérifiées par les phases de l'induit en admettant les expressions des coefficients d'inductance ; donner les représentations de Fresnel associées. Justifier, à l'aide d'un bilan énergétique où seules les pertes cuivre sont envisagées, l'égalité entre la puissance électrique absorbée par les fcm et la puissance mécanique fournie.
Fonctionnement réversible.	Décrire les conditions d'utilisation de la machine synchrone en alternateur.
Machine synchrone.	Citer des exemples d'application de la machine synchrone.

I Questions de cours à choisir parmi celles-ci

Introduction à la conversion électro-magnéto-mécanique

1. Expliquer ce qu'est un relais et quel est son intérêt puis refaire l'exercice suivant :

Exercice d'application : Nous souhaitons commander à l'aide d'un Arduino l'allumage d'une lampe de puissance $P = 60 \text{ W}$ fonctionnant sous une tension alternative de valeur efficace $U_{\text{eff}} = 240 \text{ V}$. L'Arduino peut délivrer sur ses broches de sortie une tension continue de 5 V et une intensité maximale $i_{\text{max}} = 40 \text{ mA}$. On dispose du relais 34.51 de chez Finder dont la datasheet est proposée ci-dessous.

Contact specification		
Contact configuration		1 CO (SPDT)
Rated current/ Maximum peak current	A	6/10
Rated voltage/ Maximum switching voltage	V AC	250/400
Rated load AC1	VA	1500
Rated load AC15 (230 V AC)	VA	300
Single phase motor rating (230 V AC)	kW	0.185
Breaking capacity DC1: 30/110/220 V	A	6/0.2/0.12
Minimum switching load	mW (V/mA)	500 (12/10)
Standard contact material		AgNi
Coil specification		
Nominal voltage (U_N)	V AC (50/60 Hz)	—
	V DC	5 - 12 - 24 - 48 - 60
Rated power AC/DC	VA (50 Hz)/W	—/0.17
Operating range	AC	—
	DC	$(0.7 \dots 1.5)U_N$
Holding voltage	AC/DC	—/0.4 U_N
Must drop-out voltage	AC/DC	—/0.05 U_N

1- Proposer un montage répondant au cahier des charges.

2- Vérifier que les caractéristiques techniques sont conformes. En particulier, on vérifiera que le courant appelé sur l'Arduino ne dépasse pas ses spécifications et que le courant appelé par la lampe ne dépasse pas les spécifications du relais.

2. Supposons un milieu ferro fixe en U, de section S et enlacé par une bobine comportant N spires et traversée par un courant I . Le circuit magnétique est refermé par un barreau ferro mobile de section S et distant de x du ferro en U (l'origine étant prise à l'extrémité du U). En déduire la force exercée par le champ magnétique sur le barreau mobile. Commenter l'expression de la force obtenue et estimer sa norme pour un dispositif disponible en travaux pratiques.

Machines synchrones

1. Montrer (en prenant le soin de préciser les hypothèses) que le champ créé par une unique phase statorique positionnée dans une encoche unique permet de créer dans l'entrefer de la machine un champ purement radial. On précisera son amplitude et on justifiera qu'il dépend binairesment ($+B_{max}$ ou $-B_{max}$) de l'angle θ .

Donner, à l'aide d'une représentation graphique, l'allure du champ magnétique créé pour une phase statorique positionnée dans trois encoches $\theta = \pi/2$, $\theta = \pi/2 - \theta_0$ et $\theta = \pi/2 + \theta_0$. En déduire qualitativement qu'en multipliant les encoches, il est possible d'obtenir un champ dans l'entrefer qui soit spatialement sinusoïdal.

2. Montrer qu'il est possible d'obtenir un champ statorique tournant en utilisant deux phases judicieusement placées spatialement et judicieusement alimentées électriquement.
3. On suppose que, dans l'entrefer de la machine, les champs statorique et rotorique peuvent respectivement s'écrire

$$\vec{B}_S(\theta, t) = B_{S0} \cos(\theta - \omega t) \vec{u}_R \quad \text{et} \quad \vec{B}_R(\theta, t) = B_{R0} \cos(\theta - \alpha_R(t)) \vec{u}_R$$

Avec $\alpha_R(t)$ l'angle de l'axe polaire rotorique par rapport à l'axe des abscisses.

Déterminer alors l'expression de l'énergie magnétique stockée par la machine. En déduire le couple magnétique.

4. On admet que le couple magnétique s'écrit $\Gamma = \Gamma_0 \sin(\omega t - \alpha_R(t))$ avec $\alpha_R(t)$ l'angle de l'axe polaire rotorique par rapport à l'axe des abscisses. Montrer que :
- Une machine synchrone ne peut fonctionner qu'au synchronisme (en explicitant ce que cela signifie en pratique) ;
 - Une machine synchrone a un comportement alternateur ou moteur selon que l'axe polaire rotorique est en avance ou en retard sur l'axe polaire statorique ;
 - En fonctionnement moteur, il existe des points de fonctionnement stable et instable que l'on identifiera de manière justifiée.
5. Proposer une modélisation électrique du bobinage rotorique. On prendra soin de justifier l'absence d'effets inductifs.
- Faire de même pour le bobinage statorique. On proposera une expression que l'on justifiera qualitativement pour la force électromotrice associée au flux du champ rotorique dans le bobinage statorique.
6. Considérons la phase statorique C_1 alimentée par une source idéale de courant de valeur efficace I_{eff} et de pulsation ω . En déduire, grâce à une représentation de Fresnel dûment explicitée, qu'il est possible de déterminer explicitement la tension (en amplitude et en déphasage) que doit délivrer la source. On supposera que le couple que doit fournir le moteur est déterminé afin de compenser un couple extérieur imposé. On ne cherchera pas à réaliser les calculs permettant d'obtenir la tension.
7. Faire un bilan de puissance moyenne pour un moteur synchrone. On fera apparaître, entre autre, Φ le déphasage entre courant et tension aux bornes d'une phase statorique et Ψ le déphasage entre courant et force contre électromotrice.
8. Faire un bilan de puissance moyenne pour un alternateur synchrone à deux phases. On fera apparaître, entre autre, Φ le déphasage entre courant et tension aux bornes d'une phase statorique et Ψ le déphasage entre courant et force électromotrice.

Programme spécifique 5/2

Cristallographie.

Questions de cours possibles :

1. Déterminer le paramètre de maille du calcium (structure CFC), sachant que sa masse volumique vaut 1550 kg.m^{-3} (avec $M_{\text{Ca}} = 40 \text{ g.mol}^{-1}$).
2. Pour une maille CFC, déterminer, en expliquant : la population, la coordinence et la compacité.
3. Sites interstitiels du système CFC : Sites Tétraédrique et Octaédriques ; Leurs localisations, leur nombre ; leur rayon d'habitabilité.
4. La maille étant décrite par le colleur, l'étudiant doit savoir calculer la population, la coordinence, exprimer la relation entre les rayons des espèces et le (les) paramètre(s) de la maille, exprimer la compacité, la masse volumique, pour
 - le diamant
 - le graphite
 - le chlorure de césium
 - le chlorure de sodium
 - le sulfure de zinc