

# Programme de Colle PSI

*Semaine 12 : du 11 au 15 décembre*

Tout exercice sur les machines synchrones. A partir de mercredi, on pourra donner des exercices simples sur les MCC.

| <b>5.3.2. Machine synchrone</b>   |  |
|---|--|
| 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.<br>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.<br>Discuter qualitativement la stabilité du système en fonction du déphasage entre les deux champs glissants.<br>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.<br>Justifier, à l'aide d'un bilan énergétique où seules les pertes cuivre sont envisagées, l'égalité entre la puissance électrique absorbée par les $f_{cm}$ 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.  |

| <b>5.3.3. Machine à courant continu</b>                 |  |
|---|--|
| Structure d'un moteur à courant continu à pôles lisses. | Décrire la structure d'un moteur à courant continu bipolaire à excitation séparée : rotor, stator, induit, inducteur.  |
| Collecteur.   | Expliquer, par analogie avec le moteur synchrone, que le collecteur établit le synchronisme entre le champ statorique stationnaire et le champ rotorique quelle que soit la position angulaire du rotor.   |
| Couple et $f_{cem}$ .                                   | <p>Citer l'expression du moment du couple <math>\Gamma = \Phi i</math> et établir l'expression de la <math>f_{cem}</math> induite <math>e = \Phi \Omega</math> par un argument de conservation énergétique.</p> <p>Décrire qualitativement les pertes existant dans une machine réelle : pertes cuivre, pertes fer, pertes mécaniques.</p> <p>Établir les équations électrique et mécanique.</p> <p>Tracer la caractéristique <math>(\Omega, \Gamma)</math> à tension d'induit constante.</p> <p>Analyser le démarrage d'un moteur entraînant une charge mécanique exerçant un moment <math>-f \cdot \Omega</math>.</p> <p><b>Mettre en œuvre un moteur à courant continu.</b></p> |
| Fonctionnement réversible.                              | <p>Décrire les conditions d'utilisation de la machine à courant continu en génératrice.</p> <p>Choisir des conventions d'orientation adaptées.</p>   |
| Machine à courant continu.                              | Citer des exemples d'application de la machine à courant continu.  |

## I Questions de cours à choisir parmi celles-ci

### Machines synchrones

- 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 binairement  $(+B_{max}$  ou  $-B_{max})$  de l'angle  $\theta$ .

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.

- Montrer qu'il est possible d'obtenir un champ statorique tournant en utilisant deux phases judicieusement placée spatialement et judicieusement alimentée électriquement.
- 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  $\omega$ . 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,  $\Phi$  le déphasage entre courant et tension aux bornes d'une phase statorique et  $\Psi$  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,  $\Phi$  le déphasage entre courant et tension aux bornes d'une phase statorique et  $\Psi$  le déphasage entre courant et force électromotrice.
9. Savoir refaire l'exercice suivant

Une voiture électrique est motorisée par un moteur synchrone à rotor bobiné, dont on réalise trois essais expérimentaux afin de déterminer ses caractéristiques.

Dans un essai n°1, le mesurage expérimental de la résistance d'une phase statorique à mené à  $R = 5,0 \cdot 10^{-1} \Omega$ .

Un essai n°2 de la machine synchrone utilisée a été réalisé dans les conditions suivantes :

- la MS est entraînée à la vitesse angulaire de  $n = 1500 \text{ tour} \cdot \text{min}^{-1}$  ;
- le rotor est parcouru par un courant d'intensité  $I_r = 4,0 \text{ A}$  ;
- les deux phases du stator sont en circuit ouvert ;

la tension mesurée aux bornes d'une phase statorique est alors de 650 V efficace.

Un essai n°3 de la machine synchrone utilisée a été réalisé dans les conditions suivantes :

- la MS est entraînée à la vitesse angulaire de  $n = 1500 \text{ tour} \cdot \text{min}^{-1}$  ;
- le rotor est parcouru par un courant d'intensité  $I_r = 4,0 \text{ A}$  ;
- les deux phases du stator sont en court-circuit ;

l'intensité du courant d'une phase statorique est alors de 43 A efficace.

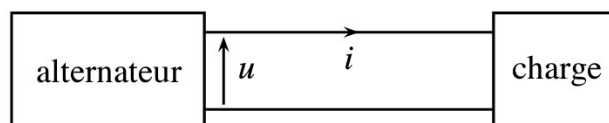
1. Dessiner le schéma électrique d'une phase du stator. La tension à ses bornes sera noté  $u$  et l'intensité du courant  $i$ .
2. Proposer un protocole expérimental qui permette de mesurer la résistance  $R$  d'une phase du stator.
3. La valeur efficace de la force contre-électromotrice d'une phase statorique est  $E' = M_0 I_r \omega$ , où  $I_r$  est l'intensité du courant rotorique et  $\omega$  la vitesse angulaire du rotor. Que représente  $M_0$  ? Calculer sa valeur numérique.
4. Montrer que dans l'essai n°3, la chute de tension ohmique est négligeable devant la force contre-électromotrice.
5. Calculer la valeur de l'inductance  $L$  d'une phase du stator.

#### 10. Savoir refaire l'exercice suivant

Un alternateur synchrone diphasé délivre une tension sinusoïdale de fréquence  $f = 50$  Hz. Par construction, dans une phase statorique :

- la résistance est négligeable ;
- l'inductance  $L$  est telle que  $L\omega = 1,6 \Omega$  à  $f = 50$  Hz ;
- la valeur efficace de la f.é.m. induite est  $E_{eff} = M_0 I_r \omega$ , où  $I_r$  est l'intensité du courant rotorique.

L'alternateur alimente une charge purement résistive  $R$ . La valeur efficace de la tension délivrée par l'alternateur est alors  $U_{eff} = 110$  V et la valeur efficace du courant débité est  $I_{eff} = 30$  A.



1. Quelles sont les caractéristiques du matériau ferromagnétique constitutif de l'alternateur ?
2. Proposer un schéma électrique du système, sur lequel figurent le modèle électrique de l'alternateur, la charge, la tension  $u$  et l'intensité  $i$  du courant délivré par la MS à  $R$ .
3. Calculer la vitesse de rotation  $n$  du rotor, en  $\text{tour} \cdot \text{min}^{-1}$ .
4. Calculer, avec un diagramme de Fresnel, la valeur efficace de la f.é.m. de l'alternateur.
5. L'intensité  $I_r$  du courant rotorique est  $I_r = 1,0$  A. En déduire  $M_0$ .
6. Calculer la résistance  $R$  de la charge ainsi que la puissance  $P$  qu'elle absorbe.
7. Calculer le couple mécanique qui s'exerce sur le rotor. On notera  $\psi$  le déphasage entre la f.é.m.  $e$  et le courant d'intensité  $i$ .

#### Machines à courant continu

1. Donner la constitution générale d'une machine à courant continu. Présenter l'allure du champ magnétique créé par le stator et son bobinage.

En déduire, par analogie avec la machine synchrone, l'allure que doit prendre le champ magnétique créé par le rotor (dans le cas moteur et génératrice).

Donner, sans démonstration, le lien entre le couple électromagnétique et le courant d'induit  $I$ . On précisera les conventions d'orientation retenues pour le courant d'induit et la vitesse angulaire et on vérifiera la cohérence d'ensemble en s'assurant que si de la puissance électrique est effectivement reçue alors de la puissance mécanique est effectivement cédée (et réciproquement).

2. Expliquer comment est créé le champ magnétique rotorique. On explicitera qualitativement la nécessité du système balais/collecteur.
3. Proposer une modélisation électrique pour l'inducteur et l'induit. Donner l'expression de la force contre électromotrice en précisant la convention d'orientation pour le courant d'induit et la vitesse angulaire.
4. Pour une MCC en fonctionnement moteur et en régime permanent, déterminer les équations électrique et mécanique qui régissent son fonctionnement. En déduire le couple électromagnétique et la vitesse angulaire en fonction, entre autre de la tension d'alimentation et du couple de charge.
5. Pour une MCC en fonctionnement génératrice et en régime permanent, déterminer les équations électrique et mécanique qui régissent son fonctionnement. En déduire l'intensité débitée et la vitesse angulaire en fonction, entre autre du couple moteur et de la résistance de charge (on se limite à une charge électrique purement résistive).
6. On suppose une MCC en moteur, initialement arrêtée et soumise à un échelon de tension en  $t = 0$ . En déduire l'expression du régime transitoire de la vitesse angulaire du moteur sous l'hypothèse où l'autoinductance est négligée. Donner l'expression du courant appelé.

# Programme spécifique 5/2

**Cristallographie et cinétique chimique (en questions de cours et en exercices).**

Questions de cours possibles :

## Cristallographie

1. Déterminer le paramètre de maille du calcium (structure CFC), sachant que sa masse volumique vaut  $1550 \text{ kg.m}^{-3}$  (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

## Cinétique chimique

1. Méthode intégrale et temps de demi-réaction pour une cinétique d'ordre 0 de la forme  $r = k$ . Exprimer alors le temps de demi-réaction.
2. Méthode intégrale et temps de demi-réaction pour une cinétique d'ordre 1 de la forme  $r = k [R]$ . Exprimer alors le temps de demi-réaction.
3. Méthode intégrale et temps de demi-réaction pour une cinétique d'ordre 2 de la forme  $r = k [R]^2$ . Exprimer alors le temps de demi-réaction.
4. Intérêt de la méthode de dégénérescence de l'ordre et explication sur un cas choisi par l'étudiant.
5. Intérêt du mélange stœchiométrique et explication sur un cas choisi par l'étudiant.