

Leçon de Physique n°9
Conversion de puissance électromécanique

A reprendre niveau PCSI ! Ne pas faire le 3)

Niveau : CPGE 2ème année

Programme :

Notions et contenus PSI

Capacités exigibles PSI

Conversion de puissance

Puissance électrique.

Mesurer une puissance moyenne à l'aide d'un wattmètre numérique.

Conversion électromagnétique statique de puissance.

Mettre en œuvre un transformateur.

Conversion électromécanique de puissance.

Mettre en œuvre une machine à courant continu.

Conversion électronique statique de puissance.

Mettre en œuvre un redresseur.

Machine à courant continu

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.

Par analogie avec le moteur synchrone, expliquer 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_{cm} .

Citer l'expression du moment du couple , établir l'expression de la f_{cm} induite par un argument de conservation énergétique.

Décrire qualitativement les pertes existant dans une machine réelle : pertes cuivre, pertes fer, pertes mécaniques.

Établir les équations électrique et mécanique.

Tracer la caractéristique (Ω, Γ) à tension d'induit

constante. Analyser le démarrage d'un moteur entraînant une charge mécanique exerçant un moment $- f \cdot \Omega$.

Mettre en œuvre un moteur à courant continu.

Fonctionnement réversible.

Décrire les conditions d'utilisation de la machine à courant continu en génératrice. Choisir des conventions d'orientation adaptées.

Applications.

Citer des exemples d'application de la machine à courant continu.

Livres : Hprépa, Electronique 2ème année PSI-PSI* 2004, Niard, Machines électriques (Premiers chapitre + moteur asynchrone), Tec&Doc, Physique spé PSI-PSI*, Taupe Niveau, Electronique conversion de puissance PSI-PSI*, Physique tout en un, PC-PSI

Pré-requis :

- Induction électromagnétique,
- Force de Laplace
- Force de Lorentz

Introduction : *H Prépa*

Convertisseur de puissance : système intermédiaire entre une source de puissance et un récepteur.

Leçon consacrée aux lois générales qui régissent la conversion de puissance entre un système mécanique et un circuit électrique. Les bases en physique en sont deux phénomènes indissociables : la force de Laplace et les lois de l'induction.

1 – Principe de la conversion électromécanique de puissance

a – Bilan de puissance des forces de Lorentz sur un porteur

donner le champ électromoteur $\mathbf{E}_m = \mathbf{v}_e \wedge \mathbf{B}$ et la f.e.m. induite élémentaire : $de = (\mathbf{v}_e \wedge \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{L}$

Etude de $d\tau$, volume de l'élément de courant $id\mathbf{L}$ dont les porteurs de charge possèdent la vitesse $\mathbf{v} = \mathbf{v}_e + \mathbf{v}_r$ dans R et sont soumis à la force de Lorentz.

En écrivant que la puissance des forces de Lorentz est nulle (car $d\mathbf{F} \perp \mathbf{v}$ et $dP = \mathbf{v} \cdot d\mathbf{F}$), on arrive au bilan : dans un conducteur en déplacement dans un champ B permanent la puissance électrique de la fem induite (rappel : la fem induite e est égale à la circulation du champ électromoteur $E_m = v_e \wedge B$) est opposée à la puissance mécanique des forces de Laplace ($idL \wedge B$) :

$$\delta P_e + \delta P_m = 0$$

H prépa PSI ch8, Tec&Doc PSI, Tec&Doc Delacressonnière

b – Formulation pour un conducteur linéaire *Tec&Doc PSI*

Exp des rails de Laplace, bilan de puissance : on retrouve la même chose,

Schéma, choisir sens de i pour la convention => oriente $d\mathbf{S}$

Résolution : 2 équations (mécanique + électrique) couplées qu'on va découpler pour résoudre

Ecrire le théorème du centre d'inertie à la barre. Bilan des forces : \mathbf{P} , \mathbf{R} et \mathbf{F}_L (hypothèse : pas de frottements) => (1)

Ecrire l'équation électrique (loi d'ohm généralisée) à partir du flux ($\Phi = \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$) et de la f.e.m. $e = -d\Phi/dt = Ri$ => (2)

Faire (1)*v => valeur de dE_c/dt et (2)*1 => on intègre : $\Delta E_c =$ énergie dissipée par effet Joule dans la résistance

c – Transducteur électromécanique, réversibilité *H prépa, Tec&Doc PSI*

Transducteur : peut réaliser $P_{mec} \rightarrow P_{elec}$ et $P_{elec} \rightarrow P_{mec}$, fonctionnement moteur, fonctionnement générateur,

2 – Machine à courant continu

Déf : *H Prépa*

a – Etude pour une spire tournante *Tec&Doc*

On a une spire qui tourne dans un champ radial parcourue par un courant i

- Aspect mécanique : on a un couple de forces de Laplace $\Gamma = \mathbf{M} \wedge \mathbf{B}$ ($\mathbf{M} = i \mathbf{S} \Rightarrow M = idL$), $P_m = C \cdot w$
- Aspect électrique : on $P_e = -e \cdot i$ ($e = -d \cdot L \cdot B \cdot w$)

b – Structure d'une machine à courant continu *H prépa ch9, Tec&Doc*

- Circuit magnétique : stator, rotor, entrefer
- Circuit électrique : inducteur, induit (enroulement sous forme de spires)
- Dispositif de commutation : collecteur, balais

Notion d'enroulement, par analogie avec spire on écrit $e = -\Phi \cdot w$ (où Φ a la dimension d'un flux mais ce n'est pas le flux du champ B à travers la surface) et $-e \cdot i = C \cdot w$ donc $C = \Phi \cdot i$

Exp : moteur didactique ? (*poly Montrouge*)

c – Principaux fonctionnements *Tec&Doc*

On a deux équations : $u = Ri - e = Ri + \Phi w$ et $J \cdot dw/dt = C + Cr = \Phi \cdot i + Cr$ (issu du TMC : $dL/dt = \mathbf{M}(\mathbf{F}) = C$)

- moteur à vide ou non chargé ($Cr = 0$) : régime permanent $i = 0$ et $u = \Phi w = -e \rightarrow$ on accède à Φ , régime quelconque \rightarrow on en déduit R
- avec frottements (frottements visqueux : $Cr = -f \cdot w$), essai de lâcher pour déterminer les coefficients R , f et Φ
- avec charge mécanique : en traçant le couple C en fonction de w on trouve le point de fonctionnement en régime permanent, $C = \Phi \cdot u / R - \Phi^2 / R \cdot w$ et $C + Cr = 0$ ($\Rightarrow C = -Cr = fw$)

d – Limites d'utilisation *Tec&Doc*

Fiabilité des collecteurs (commutateurs) diminue à la longue, nécessité de redresser le courant pour avoir du continu,

3 – Machines alternatives

a – Champ tournant et moment magnétique

Idée : mettre à profit le couple $\Gamma = \mathbf{M} \wedge \mathbf{B}$ appliqué à un moment M , pour produire un champ tournant on peut utiliser 2 bobines parcourues par des courants en quadrature, pour un moment magnétique on utilise soit un aimant permanent soit un bobinage parcouru par i , si B tourne à w_0 et si M tourne à w on a : $\Gamma_z = M \cdot B \cdot \sin((w_0 - w)t + \theta)$, si $w = w_0$ (moteur synchrone) la moyenne de Γ_z n'est pas nulle, on a un fonctionnement moteur si $0 < \theta < \pi$, résistant si $-\pi < \theta < 0$

Tec&Doc, H prépa ch10

b – Structure d'une machine synchrone

Stator (produit B tournant), rotor (B permanent), *H prépa*

c – Propriétés des machines synchrones

- $0 < \theta < \pi/2$: fonctionnement stable, $\pi/2 < \theta < \pi$: instable
 - qualités : bon rendement, vitesse facilement réglable (vitesse fixée par w du champ tournant)
 - défauts : démarrage difficile, risque de décrochage
 - utilisations : moteurs fonctionnant en permanence ou démarrant peu souvent, TGV
- H prépa*

d – Alternateur

Même machine (synchrone), $-\pi < \theta < 0$, l'induit est fixe et l'inducteur mobile, ex : alternateur de bicyclette (qq Watts), centrale nucléaire (gigaWatt), *H prépa*

Niveau : CPGE 1ère année

Programme : 1.7.5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

Notions et contenus PCSI

Conversion de puissance mécanique en puissance électrique.

Rail de Laplace.

Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique.

Freinage par induction.

Conversion de puissance électrique en puissance mécanique

Moteur à courant continu à entrefer plan.

Capacités exigibles PCSI

Interpréter qualitativement les phénomènes observés.

Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe.

Effectuer un bilan énergétique.

Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.

Expliquer l'origine des courants de Foucault et en citer des exemples d'utilisation.

Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.

Analyser le fonctionnement du moteur à courant continu à entrefer plan en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace.

Citer des exemples d'utilisation du moteur à courant continu.

Livre : Tout-en-un PCSI 2021 ch. 34 + poly Montrouge pour freinage par induction, Bellier Electricité, électromagnétisme, électronique (manip freinage électromagnétique)