Machine à courant continu : Constitution et fonctionnement



Lycée du Hainaut

Mathématiques spéciales TSI

2005/2006

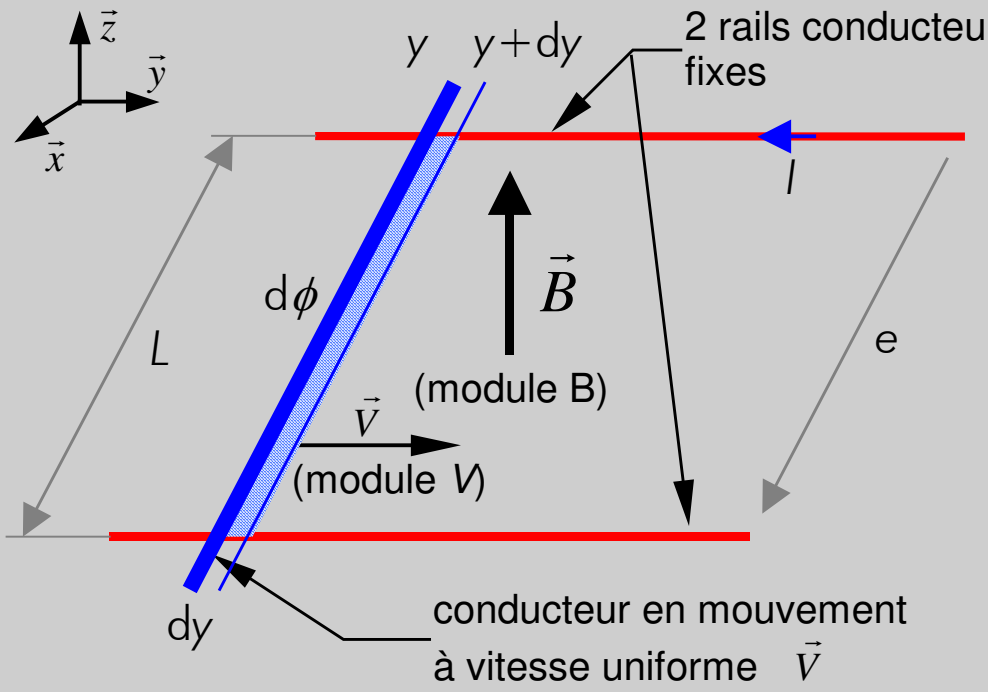
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Plan

- I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
- II. Constitution
  - II.1 Description générale
  - II.2 Constitution de l'inducteur
  - II.3 Constitution de l'induit
    - Expression de la f.e.m. et du couple
  - II.4 Ensemble balais-collecteur
  - II.5 Amélioration des performances
  - II.6 F.e.m. et couple
    - Représentation développée des f.e.m.
    - Expression générale de la f.e.m. et du couple
- III. La MCC : Convertisseur d'énergie
  - III.1 Symboles de la MCC
  - III.2 Caractéristiques f.e.m.-flux inducteur et d'induit tension-courant
  - III.3 Analyse des puissances
  - III.4 Bilan des puissances dans le cas de la machine réelle

WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

Principe physique



Création d'une f.e.m.

- D'après la loi de Faraday-Lenz (convention générateur)

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -B \cdot L \cdot V$$

- Écriture en convention récepteur

$$u = -e = \frac{d\phi}{dt} = B \cdot L \cdot V$$

Création d'une force

- D'après la loi de Laplace

$$d\vec{F} = I \cdot d\vec{x} \wedge \vec{B}$$

$$\vec{F} = -B \cdot I \cdot L \cdot \vec{y}$$

Les deux phénomènes sont réversibles :

- Le courant *I* provient du mouvement, résultat de la force *F* ;
- Le mouvement (vitesse *V*) crée la f.e.m. *E*

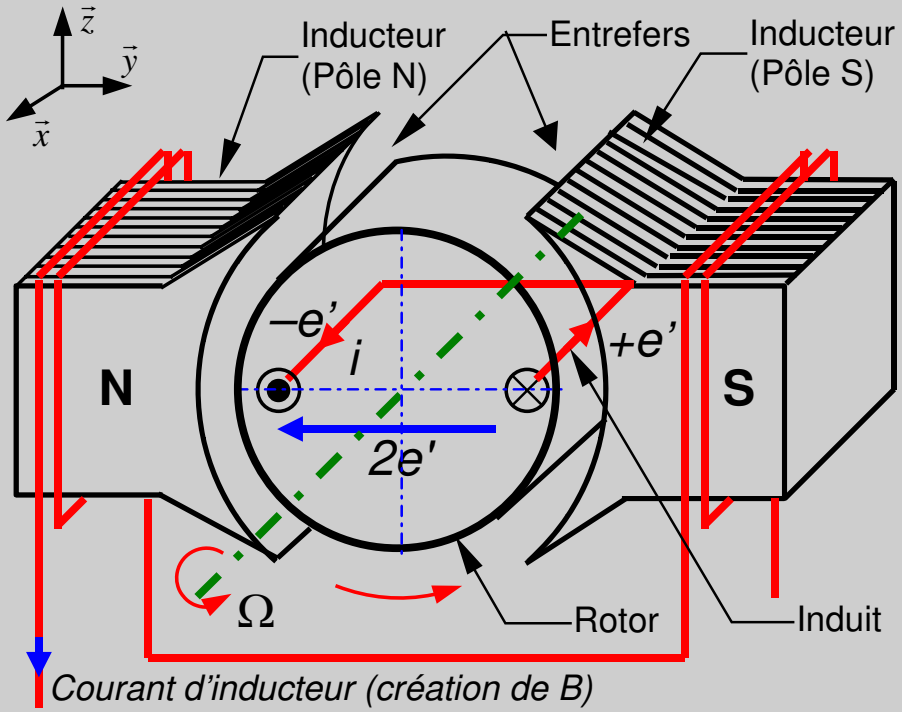
WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

Mise en œuvre technologique (principe)

Organiser une machine

- Créer l'induction suivant une direction principale
  - Avec des bobinages
  - Avec des aimants
- Placer les conducteurs orthogonalement à l'induction
- Assurer la répétitivité de placement des conducteurs
- Permettre le mouvement de l'ensemble autour d'un axe (1 degré de liberté)
- Entraîner l'ensemble à la vitesse Ω

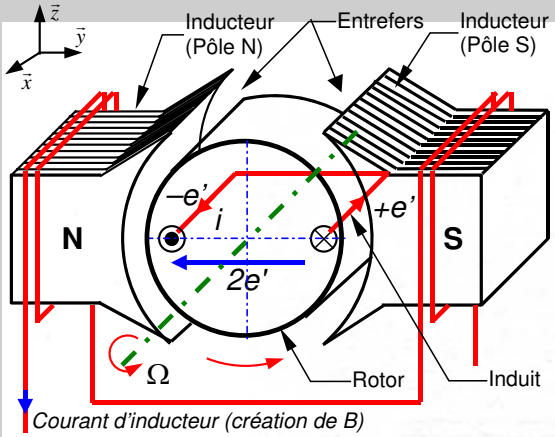
Solution de principe



WWW.DZPEN.COM قسم الجزائر

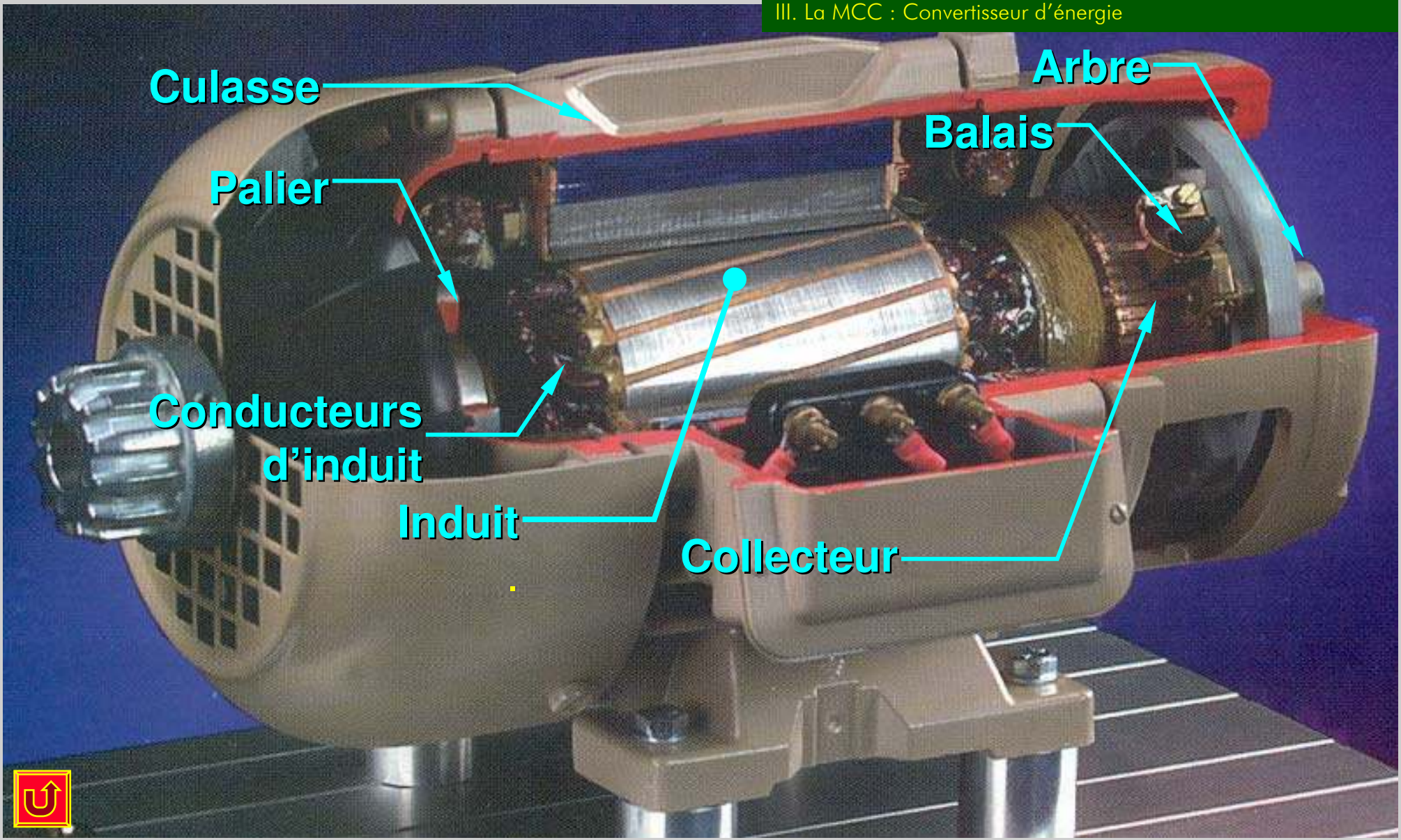
Description générale (1/2)

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
II. Constitution
II.1 Description générale
III. La MCC : Convertisseur d'énergie



WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

Description générale (2/2)

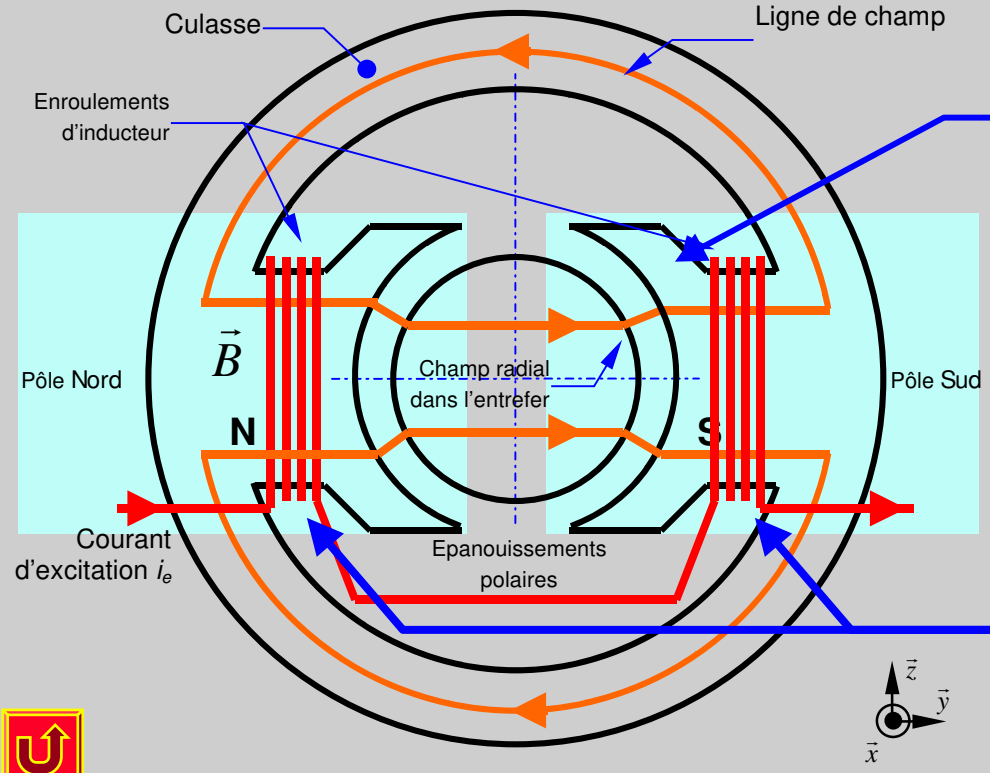


WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

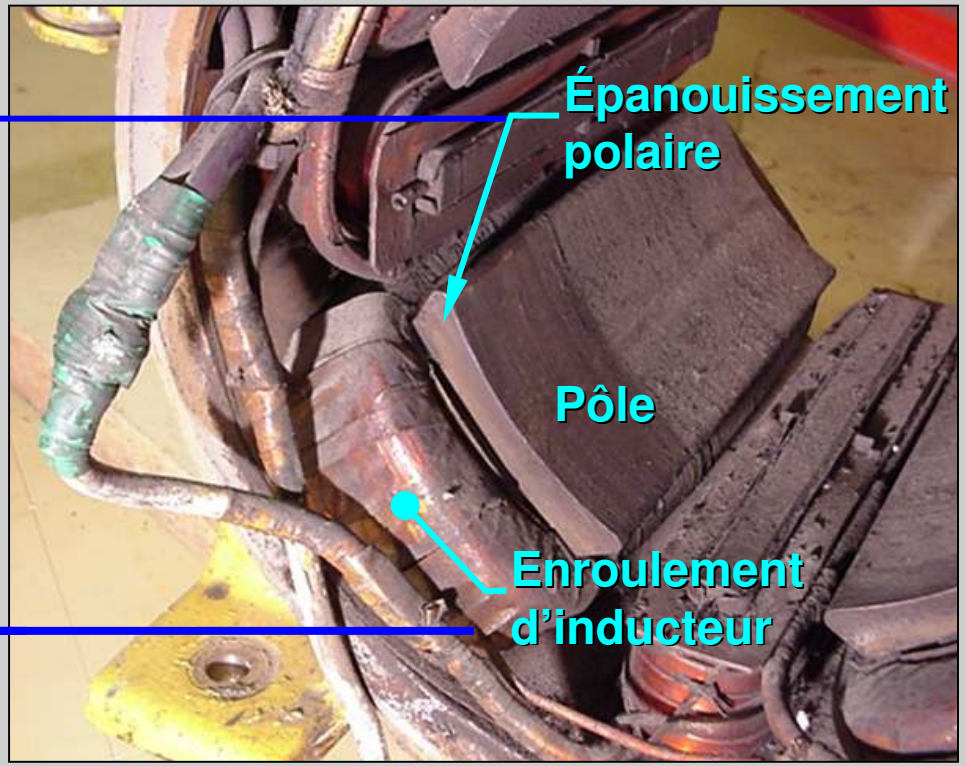
Constitution de l'inducteur

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
II. Constitution
II.2. L'inducteur
III. La MCC : Convertisseur d'énergie

Les éléments sur un schéma de principe



En situation

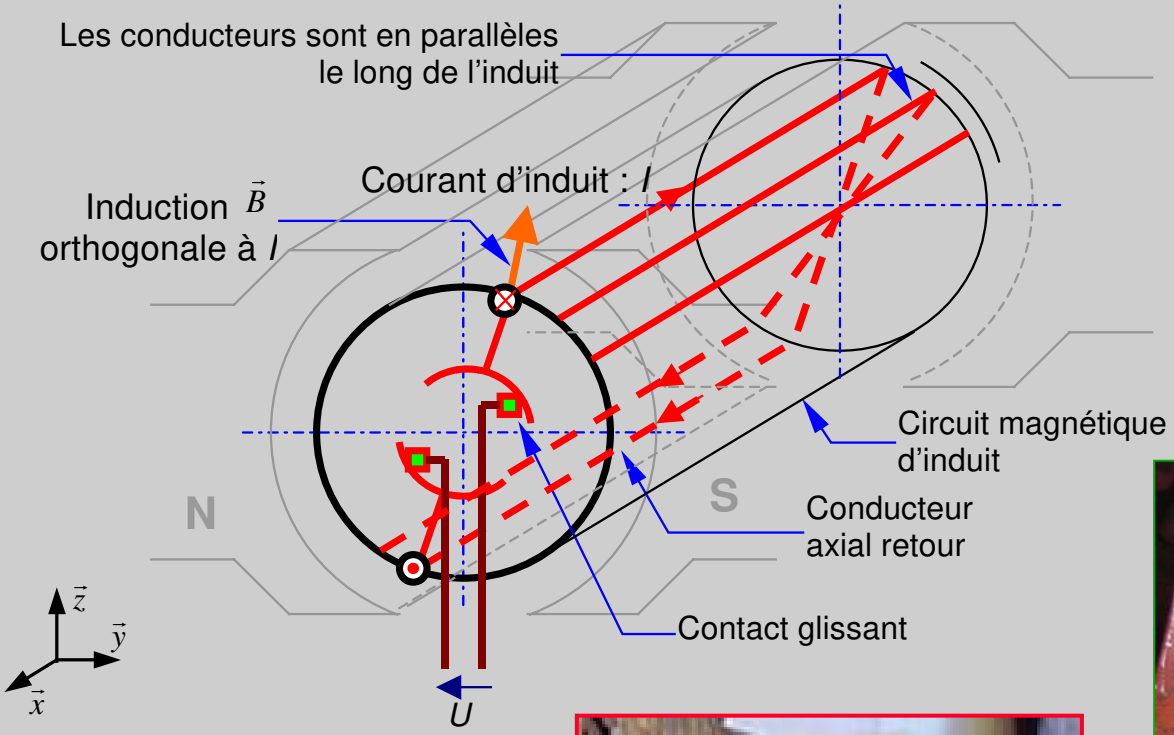


WWW.DZPEN.COM قسم الجزائر

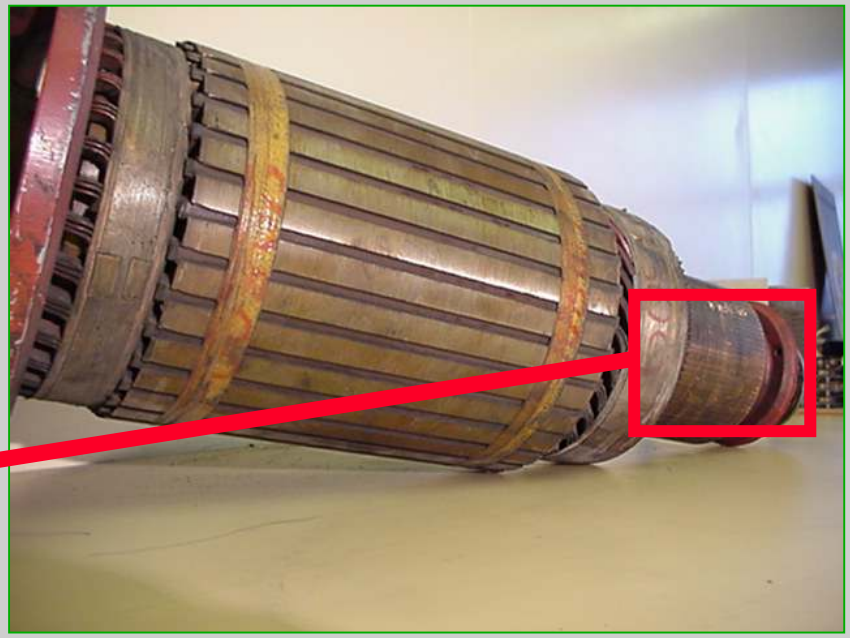
Constitution de l'induit

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
II. Constitution
II.3. L'induit : Constitution
III. La MCC : Convertisseur d'énergie

Les éléments sur un schéma de principe



En situation





Vue agrandie

WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

Expression de la f.e.m. (1 spire)

Détermination de l'expression

- Section normale au flux

$$S(t) = 2 \cdot R \cdot L \sin \Omega t$$

- Flux coupé

$$\phi(t) = B \cdot S(t)$$

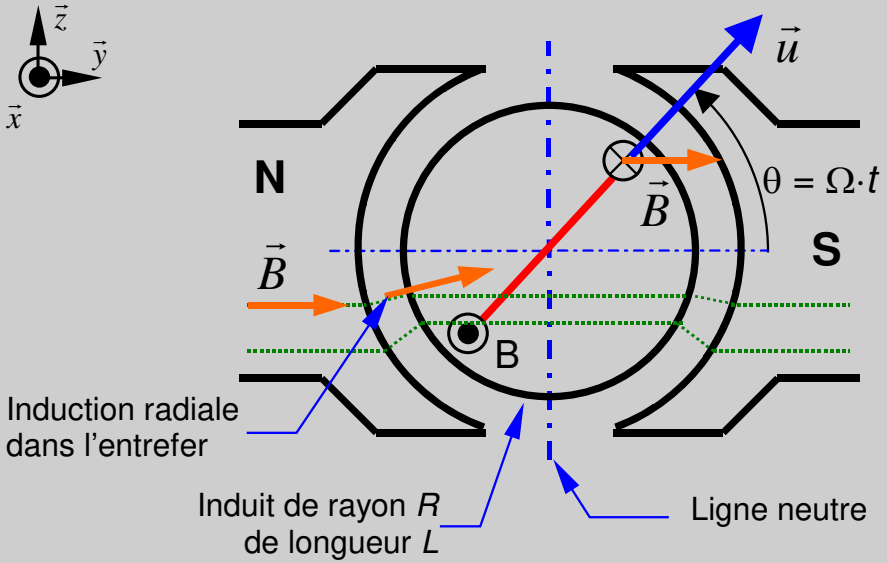
- Il en résulte (les signes sont omis)

$$e(t) = \frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t} = B\frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t} = 2 \cdot B \cdot R \cdot L \cdot \Omega \cdot \cos \Omega t$$

- Soit

$$e(t) = \Phi \cdot \Omega \cdot \cos \Omega t$$

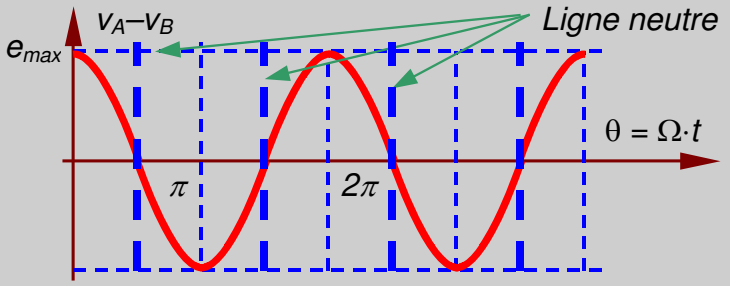
Schéma



Conclusion

- La f.e.m. créée est sinusoïdale
- Son amplitude dépend :
  - de la vitesse de rotation Ω de la machine
    Grandeur externe à la machine
  - Du flux Φ sous un pôle
    Grandeur interne à la machine

Allure de la f.e.m.

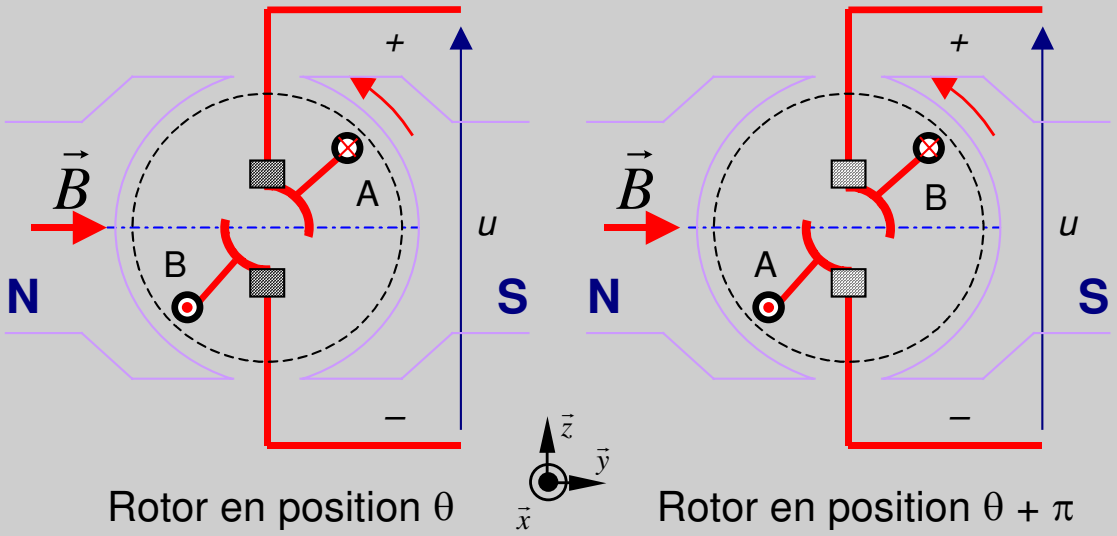


WWW.DZPEN.COM

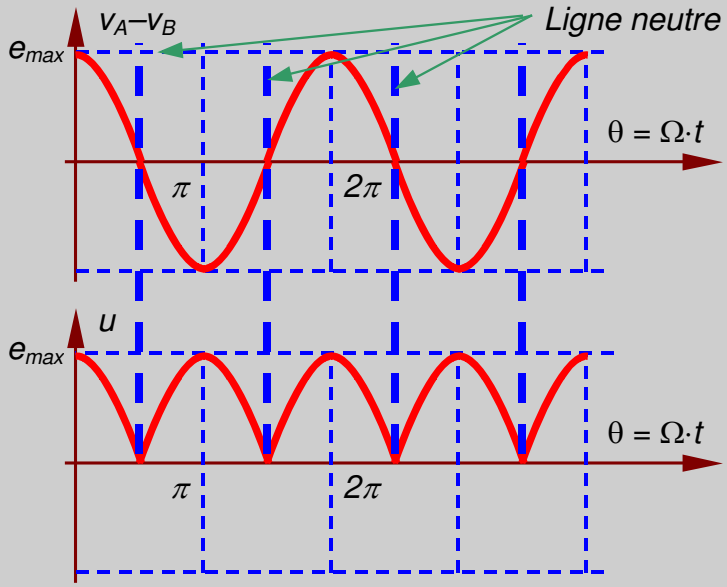
Ensemble balais-collecteur

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
II. Constitution
II.4. Ensemble balais-collecteur
III. La MCC : Convertisseur d'énergie

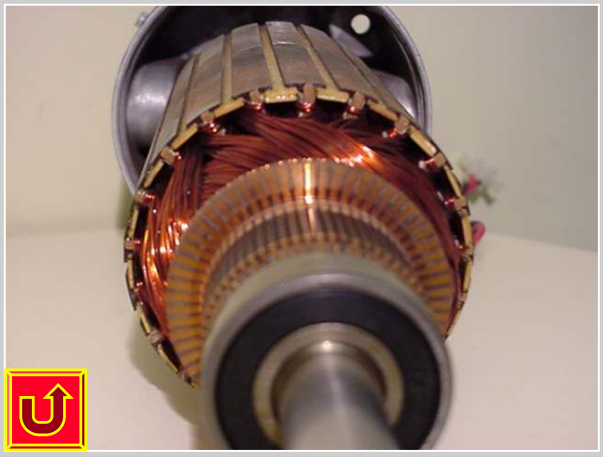
Structure

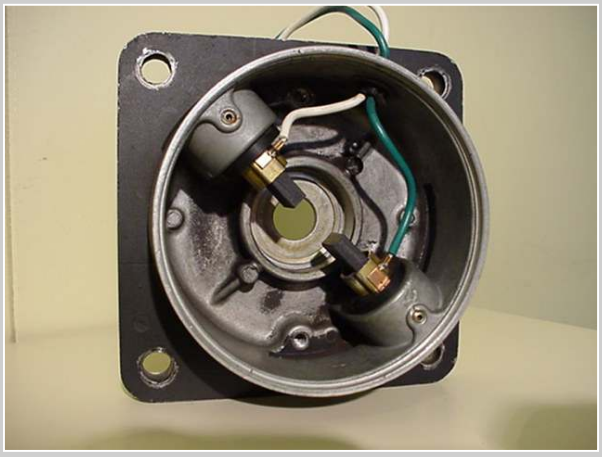


Chronogrammes des tensions



Vues du collecteur et des balais





L'ensemble balais-collecteur : Fonction redressement

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Expression du couple (1 spire)

Détermination de l'expression

- Champ d'induction

$$\vec{B} = B\cdot\vec{y}$$

- Courant dans le conducteur

$$\int_{conducteur} I\cdot\vec{dl} = -I\cdot L\cdot\vec{x}$$

- Il en résulte la force *F*

$$\vec{F} = -B\cdot I\cdot L\cdot\vec{z}$$

- D'où le couple électromagnétique

$$\vec{C}_{em} = 2\cdot R\cdot B\cdot I\cdot L\cdot\cos\Omega t\cdot(-\vec{x})$$

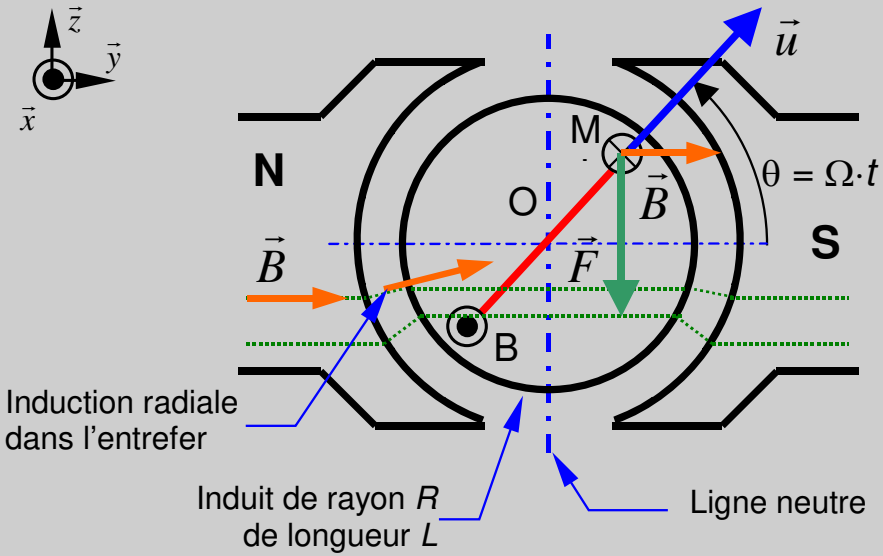
- Soit

$$C_{em} = \Phi\cdot I\cdot\cos\Omega t \qquad pour\ \theta\in[-\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}]$$

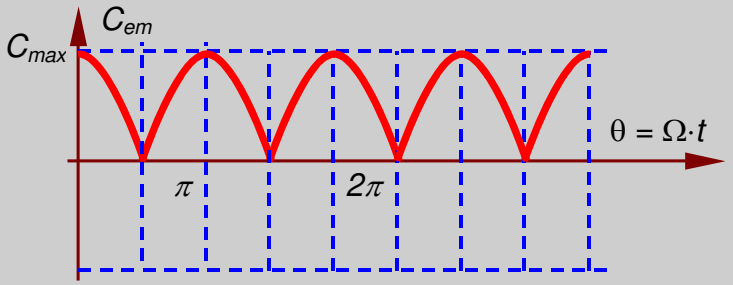
Conclusion

- Couple moyen + ondulation
- Son amplitude dépend :
  - Du courant *I* dans l'induit (externe)
  - Du flux Φ sous un pôle (interne)

Schéma



Allure du couple

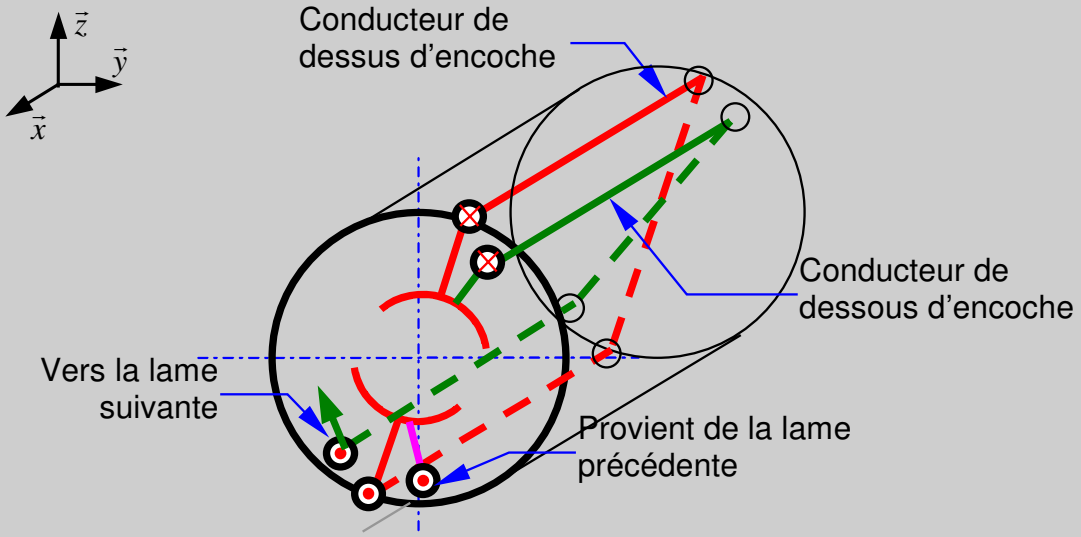


WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

Amélioration des performances (1/3)

Augmentation du courant d'induit : Voies d'enroulement

- Les conducteurs sont bobinés en tambour (axialement)
- Deux conducteurs partagent la même encoche (maintien, protection et gain de place)
- Équilibrage des conducteurs de fond et de dessus d'encoche
- Les changements ont lieu sur les lames de collecteur
- Chaque balais voit donc deux spires en parallèle décalées d'un pas d'encoche
- Ces deux spires constituent deux voies d'enroulement (toujours en parallèle) : $a=1$
- plusieurs prises de balais $\Rightarrow$ plus de voies d'enroulement ($2a$ spires en parallèle)



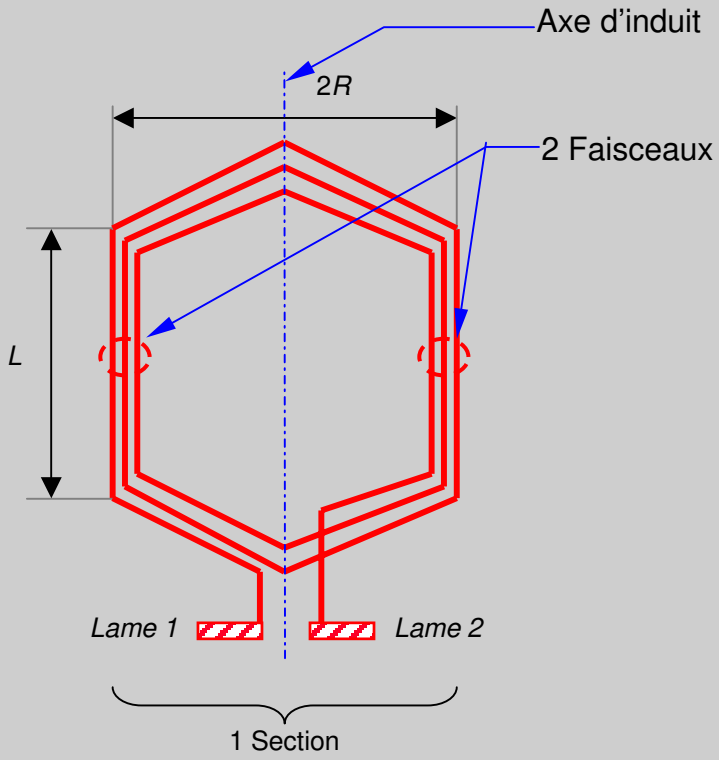
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Amélioration des performances (2/3)

Davantage de conducteurs actifs : Création de faisceaux

- Réalisation de spires comportant plus de conducteurs
- Addition des f.e.m. de chaque conducteurs en série
- Conséquence : augmentation de la f.e.m. totale

Création du faisceau



WWW.DZPEN.COM قسم الجزائر

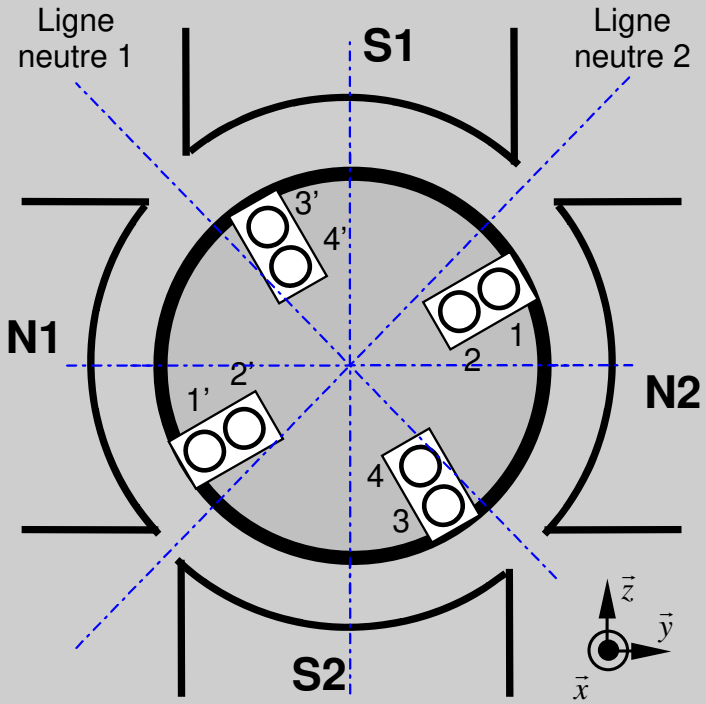
Amélioration des performances (3/3)

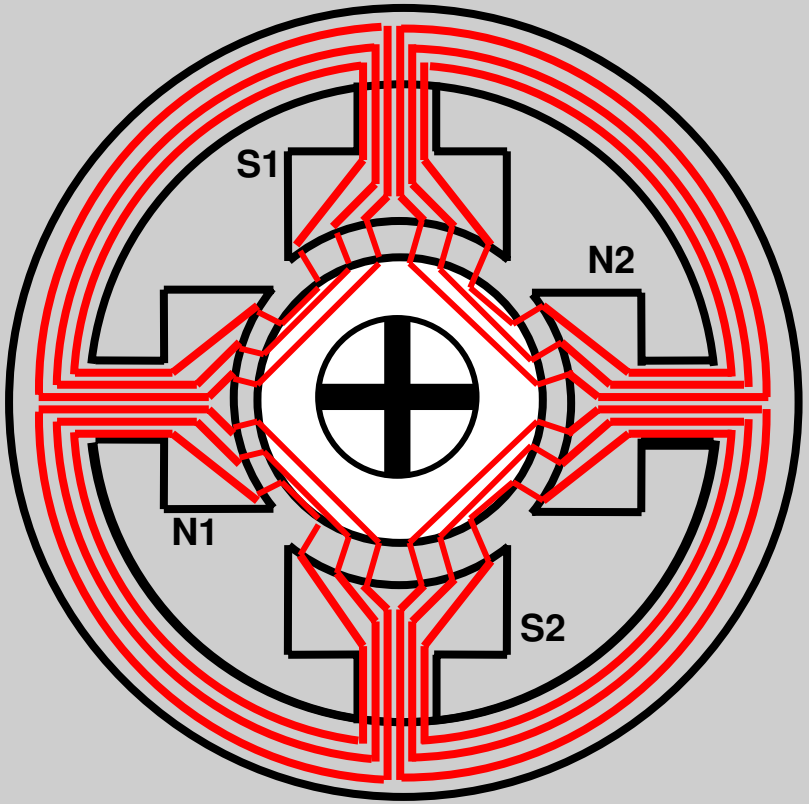
I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
II. Constitution
II.5. Amélioration des performances
III. La MCC : Convertisseur d'énergie

Répétition des variations du flux : Machine multipolaire

- Pour augmenter la f.e.m. : Répéter des changements de pôles (donc les variations)
- Donc augmenter le nombre de paires de pôles : 2, 3 ou 4 paires de pôles (et même plus)

Illustrations pour une machine tétrapolaire





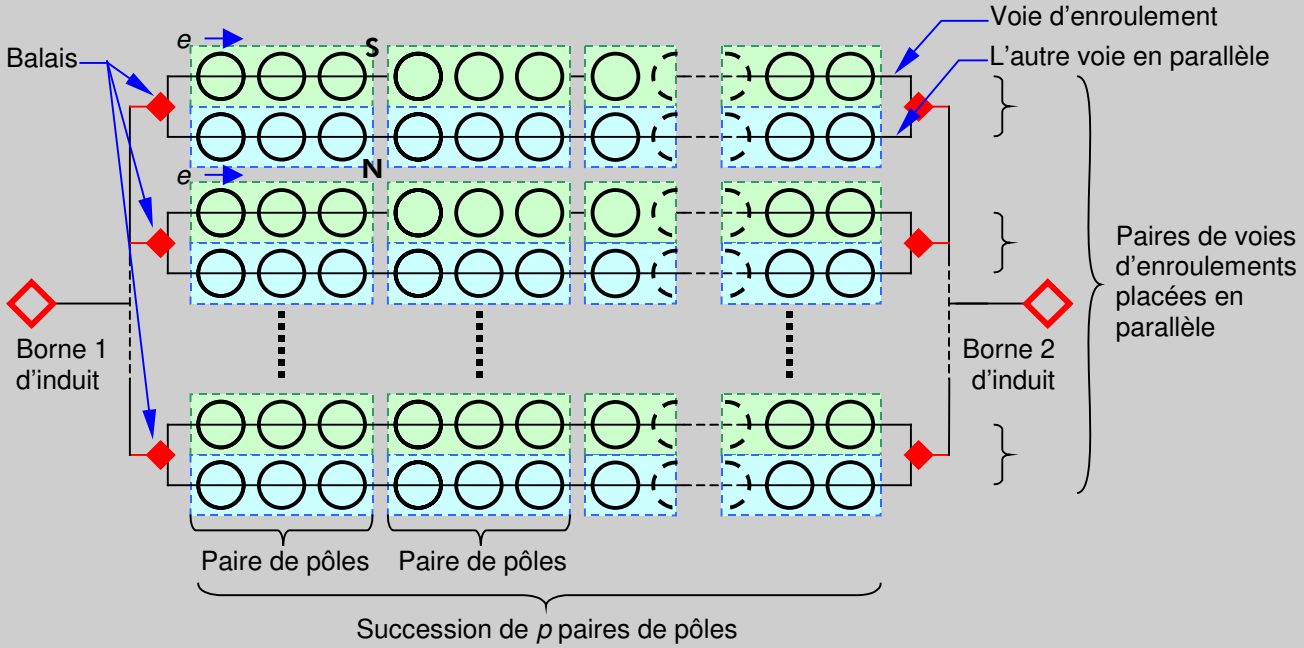
WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

Représentation développée des f.e.m.

Chaque conducteur est représenté par une f.e.m.

- On peut donc tracer le schéma électrique
  - Les f.e.m. sont interconnectées en série,
  - Les voies d'enroulement apparaissent par paires : Une par paire de balais
  - Chaque paire de voies d'enroulements est placée en parallèle avec les autres,
  - Le tout abouti à la connexion de sortie d'induit.

D'où le schéma (avec la représentation des pôles)



WWW.DZPEN.COM قسم الجزائر

Expression générale de la f.e.m. et du couple

I. Principe physique et mise en oeuvre technologique
II. Constitution
II.6. F.e.m. et couple
III. La MCC : Convertisseur d'énergie

Force électromotrice (f.e.m.)

$$E = \frac{2p}{2a} N \cdot \Phi \cdot \frac{\Omega}{2\pi}$$

E : f.e.m. d'induit en V
N : nombre total de conducteurs
Φ : flux sous un pôle (en Webers, Wb)
Ω : vitesse de rotation du rotor (en rd/s)
p : nombre de paires de pôles
a : nombre de paires de voies d'enroulement

Couple électromagnétique

$$C_{em} = \frac{2p}{2a} N \cdot \Phi \cdot \frac{I}{2\pi}$$

C_{em} : couple électromagnétique délivré par la MCC
N : nombre total de conducteurs
Φ : flux sous un pôle (en Webers, Wb)
I : courant (total) d'induit (en A)
p : nombre de paires de pôles
a : nombre de paires de voies d'enroulement

Constante de couple et de f.e.m.

$$K_E = K_C = \frac{2p}{2a} \frac{N \cdot \phi}{2\pi}$$

$$E = K_E \Omega$$ K_E en V·s/rd

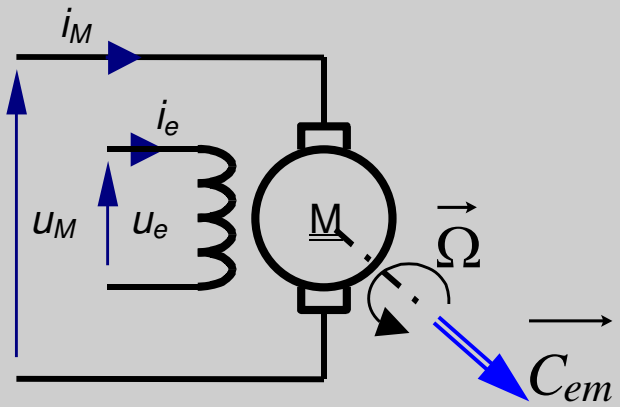
$$C_{em} = K_C I$$ K_C en N·m/A

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

MCC : Convertisseur d'énergie (1/5)

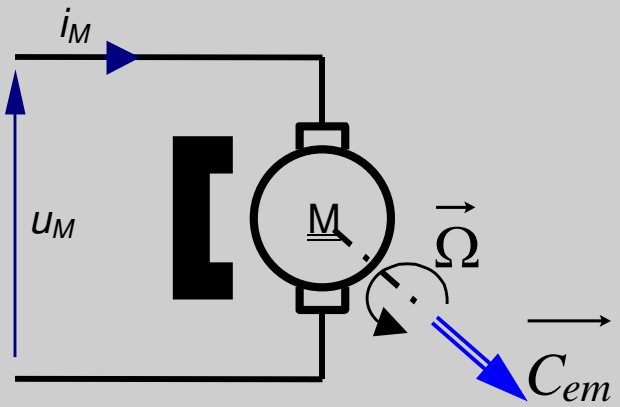
Symboles de la MCC

- Inducteur à enroulement ou à excitation



- L'enroulement d'excitation est alimenté en courant
- Possibilité de réglage du flux

- Inducteur à aimants permanents

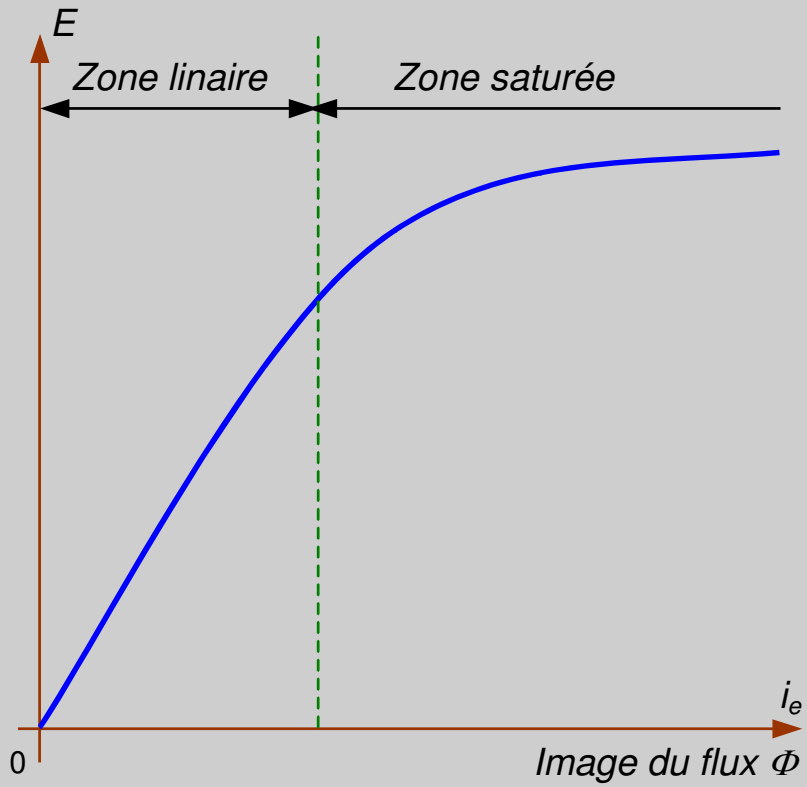


- L'induction, donc le flux sont fixés par construction
- Aucun réglage n'est possible

WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

Caractéristique f.e.m-courant d'excitation (ou flux) à Ω =cte

- Uniquement valable pour les machines à excitation
- Une zone linéaire (comportement linéaire du matériau)
- Une zone saturée (occasionnée par le matériau ferromagnétique)



Ω =cte

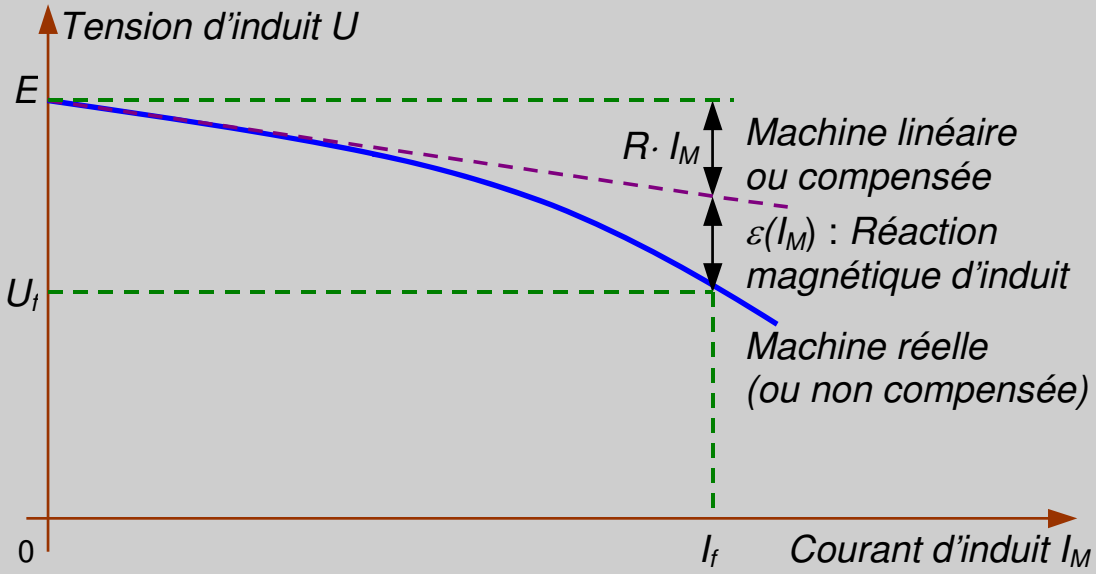
Conclusion

- Travailler en zone linéaire (ex. capteur)
- En puissance, limiter l'usage de la zone saturée

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Caractéristique d'induit tension-courant

- Avec la croissance du courant occasionnée par le couple, la tension diminue :
  - À cause de la chute de tension ohmique $R \cdot I_M$
  - *À cause de influence du courant d'induit sur le flux d'excitation, c'est la* ***réaction magnétique d'induit*** $\varepsilon(I)$
- Sur les machines modernes, des enroulements supplémentaires appelés **pôles auxiliaires** éliminent la réaction magnétique d'induit
  - On dit que les **machines** sont **compensées**

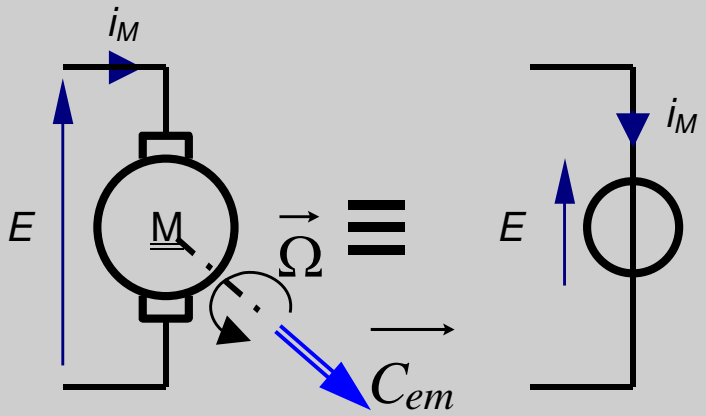


Ω = cte

WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر

MCC : Convertisseur d'énergie (4/5)

Machine parfaite : Modèle = f.e.m.



Analyse des puissances

- Puissance électrique (ex. : En entrée)

$$P_e = E \cdot I_M$$

- Puissance mécanique (ex. : En sortie)

$$P_m = \overrightarrow{C_{em}} \cdot \vec{\Omega} = C_{em} \cdot \Omega$$

- Pour une machine parfaite (pas de pertes)

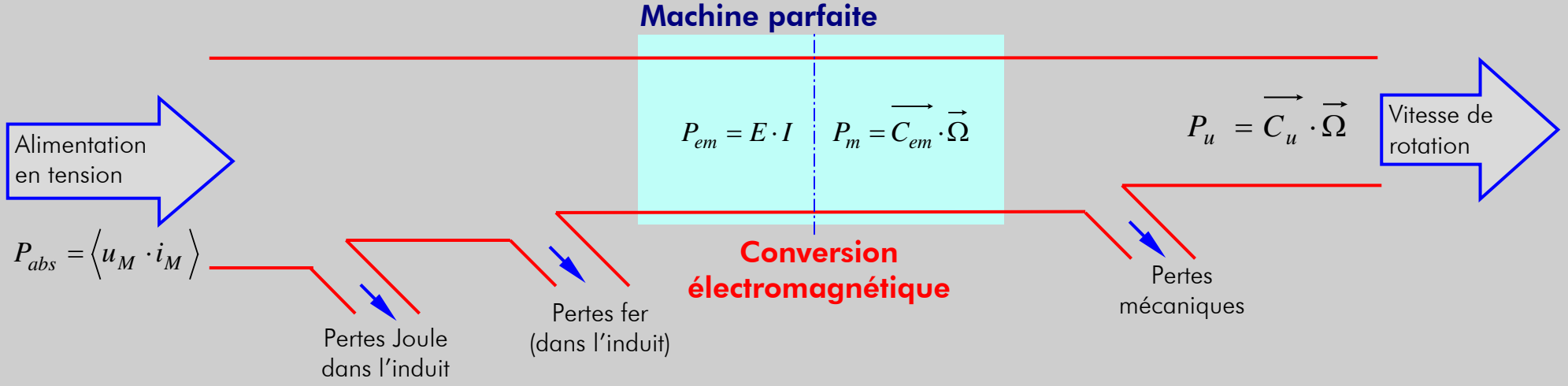
$$P_e = P_m \quad \text{donc} \quad E \cdot I_M = C_{em} \cdot \Omega$$

Interprétation des puissances (au sens du système « MCC »)

- $P_m > 0$ ou $P_e < 0$: Fonctionnement en génératrice
  - Générateur électrique ($P_e < 0$) et récepteur mécanique ($P_m > 0$)
- $P_e > 0$ ou $P_m < 0$: Fonctionnement en moteur
  - Générateur mécanique et récepteur électrique

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Bilan des puissances dans le cas de la machine réelle



WWW.DZPEN.COM قلم الجزائر



Fin de
« Machine à courant continu : Constitution et fonctionnement »

Des questions ?