

Questionnaire à choix multiple :  
**Théorie générale des convertisseurs  
électromagnétiques**

**Corrigé**

1. Compléter la phrase :

Le couple électromagnétique est égal à  
de l'énergie magnétique par rapport  
si cette énergie est exprimée en fonction  
les enroulements.

{ la dérivée partielle  
**l'opposé de la dérivée partielle**  
au temps,  
**à la position angulaire du rotor,**  
**des flux encerclés par**  
des courants circulant dans

2. Compléter la phrase :

Le couple électromagnétique est égal à  
de la co-énergie magnétique par rapport  
si cette co-énergie est exprimée en fonction  
les enroulements.

{ **la dérivée partielle**  
l'opposé de la dérivée partielle  
au temps,  
**à la position angulaire du rotor,**  
des flux encerclés par  
**des courants circulant dans**

3. Dans un convertisseur électromagnétique ne comportant pas d'aimants permanents et où les relations flux-courants sont linéaires, les valeurs de l'énergie et de la co-énergie magnétique...

- ... sont de valeurs égales.
- ... sont de valeurs opposées.
- ... n'ont *a priori* aucun rapport entre elles.

4. Dans un convertisseur électromagnétique comportant des aimants permanents, si les courants circulant dans les enroulements sont tous nuls, les valeurs de l'énergie et de la co-énergie magnétique...
- ... sont de valeurs égales.
  - ... sont de valeurs opposées.
  - ... n'ont *a priori* aucun rapport entre elles.
5. Quelle que soit la géométrie d'un convertisseur électromagnétique tournant comportant des aimants permanents, à courants nuls dans les enroulements, la valeur moyenne sur un tour de la dérivée partielle de la co-énergie magnétique par rapport à la position, est nécessairement nulle.
- vrai
  - faux
6. Le couple électrodynamique correspond à une interaction entre les courants circulant dans les enroulements du stator et ceux circulant dans les enroulements du rotor. Cette affirmation est...
- ... toujours vraie.
  - ... toujours fausse.
  - ... parfois fausse.
7. Le couple réluctant est dû à une variation en fonction de la position des inductances propres des bobinages. Cette affirmation est...
- ... toujours vraie.
  - ... toujours fausse.
  - ... parfois fausse.
8. Il n'existe un couple de détente dans un convertisseur électromagnétique que si celui-ci comporte des aimants permanents. Cette affirmation est...
- ... toujours vraie.
  - ... toujours fausse.
  - ... parfois fausse.

9. Compte-tenu du fait que le couple électromagnétique est lié à la dérivée de la co-énergie magnétique stockée, celle-ci ne doit jamais être maintenue constante dans un convertisseur électromécanique.
- vrai
  - faux
10. On ne peut avoir dans un convertisseur électromagnétique un couple constant (et non nul) quelle que soit la position du rotor, que si celui-ci comporte au moins...
- ... un enroulement.
  - ... deux enroulements.
  - ... trois enroulements.

## Justification

1. Pas de justification
2. Pas de justification
3. Si l'on se réfère au § 2.4.3 du livre, l'équation (2.24) montre que dans le cas où les relations flux courant sont linéaires, énergie et co-énergie magnétiques sont égales.  
Si l'on se réfère au § 2.5 du livre où il est montré que le couple électromagnétique  $C_{em}$  s'exprime comme étant
  - soit l'opposé de la dérivée partielle de l'énergie magnétique en fonction de la position (équation (2.36)),
  - soit la dérivée partielle de la co-énergie en fonction de la position (équation (2.39)),il peut paraître surprenant à première vue qu'énergie et co-énergie magnétique puissent être égales.  
Il ne faut pas oublier cependant que pour que le couple soit égal à la dérivée partielle de la co-énergie magnétique, il faut que celle-ci soit exprimée en fonction des courants circulant dans les bobinages. Si on prend le cas simple d'un convertisseur ne comportant qu'un seul enroulement et pour lequel la relation flux-courant est linéaire  $\psi(I) = L(\theta_m) \cdot I$ , la co-énergie magnétique (égale à l'énergie magnétique) vaut :

$$W_{cmag} = W_{mag} = \frac{1}{2} \cdot L(\theta_m) \cdot I^2.$$

Le couple électromagnétique s'écrit alors :

$$C_{em} = \frac{\partial W_{cmag}}{\partial \theta_m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial L(\theta_m)}{\partial \theta_m} \cdot I^2.$$

Si l'on veut calculer le couple électromagnétique à partir de l'expression de l'énergie magnétique, il faut d'abord exprimer celle-ci en fonction des flux encadrés par les bobinages. Pour reprendre le cas simple du convertisseur ne comportant qu'un seul enroulement et pour lequel la relation flux-courant est linéaire, on a :

$$W_{mag} = \frac{1}{2} \cdot L(\theta_m) \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\psi^2}{L(\theta_m)},$$

La dérivée partielle de l'énergie magnétique en fonction de la position s'écrit alors :

$$\frac{\partial W_{mag}}{\partial \theta_m} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial L(\theta_m)}{\partial \theta_m} \cdot \frac{\psi^2}{L^2(\theta_m)}.$$

Son opposé est bien égal au couple électromagnétique tel que calculé précédemment puisque  $\psi^2/L^2(\theta_m)$  est égal à  $i^2$ .

4. Compte tenu du fait que le couple électromagnétique  $C_{em}$  s'exprime comme étant
  - soit l'opposé de la dérivée partielle de l'énergie magnétique en fonction de la position,
  - soit la dérivée partielle de la co-énergie en fonction de la position,

pour que ces deux expressions soient égales il est nécessaire que l'on ait :

$$\frac{\partial W_{mag0}}{\partial \theta_m} = -\frac{\partial W_{cmag0}}{\partial \theta_m}$$

Par intégration on obtient :

$$W_{mag0} = -W_{cmag0} + \text{constante}$$

constante dont on peut montrer par ailleurs qu'elle est nulle.

5. Si la valeur moyenne de cette dérivée partielle n'était pas nulle, la valeur moyenne de couple de détente ne serait pas nulle. Pour une valeur positive de cette valeur moyenne, il suffirait alors de faire tourner le convertisseur à vitesse constante positive pour produire une énergie mécanique alors qu'aucune énergie électrique n'est consommée (courants nuls dans les enroulements), ce qui contredit le principe de conservation de l'énergie. Pour valeur négative de cette valeur moyenne, il suffirait de faire tourner le convertisseur à vitesse constante négative pour obtenir le même effet.
6. Dans le cas d'un convertisseur comportant des aimants permanents, le couple électrodynamique peut également être dû à une interaction entre les courants circulant dans les enroulements du stator (respectivement du rotor) avec les flux induit par les aimants permanents du rotor (respectivement du stator).
7. Le couple réductant peut également être dû à une variation en fonction de la position de l'inductance mutuelle entre deux bobinages du stator ou deux bobinages du rotor.
8. Pas de justification.
9. Le couple est égal à la dérivée partielle en fonction de la position de la co-énergie magnétique. Pour qu'un dispositif électromagnétique soit effectivement un convertisseur électromécanique, il est nécessaire que cette dérivée partielle ne soit pas nulle pour toute position du rotor.

Cela n'empêche pas que l'on puisse maintenir constante la co-énergie magnétique stockée dans le convertisseur et donc nulle sa différentielle totale. Comme on a, pour un convertisseur comportant  $n$  enroulements,

$$dW_{cmag} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial W_{cmag}}{\partial i_n} \cdot di_n + \frac{\partial W_{mag}}{\partial \theta_m} \cdot d\theta_m$$

cela suppose qu'alors les variations de la co-énergie magnétique dues aux variations des courants circulant dans les enroulements compensent à tout instant la variation de la co-énergie magnétique due à la variation de la position du rotor :

$$\frac{dW_{cmag}}{dt} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \frac{\partial W_{cmag}}{\partial i_n} \cdot \frac{di_n}{dt} = -\frac{\partial W_{mag}}{\partial \theta_m} \cdot \frac{d\theta_m}{dt},$$

en d'autres termes, que la conversion de la co-énergie magnétique en énergie mécanique (terme  $\frac{\partial W_{mag}}{\partial \theta_m} \cdot \frac{d\theta_m}{dt}$ ) soit à tout instant compensée par une conversion d'une même quantité d'énergie électrique en co-énergie magnétique (terme  $\sum_{i=1}^n \frac{\partial W_{cmag}}{\partial i_n} \cdot \frac{di_n}{dt}$ ).

Imposer cette condition est d'ailleurs nécessaire pour obtenir un convertisseur électromécanique travaillant à puissances électrique et mécanique (absorbées ou produites) constantes, ce qui est une des caractéristiques requise d'un "bon" convertisseur d'énergie.

10. Si le convertisseur ne comporte qu'un seul enroulement et pas d'aimants permanents, le couple qu'il peut développer ne peut être qu'un couple réactant. Si la relation flux-courant est linéaire, c'est un couple qui s'écrit :

$$C_{em} = \frac{\partial L(\theta_m)}{\partial \theta_m} \cdot I^2.$$

La fonction  $L(\theta_m)$  étant une fonction périodique, si elle est croissante pour certaines positions du rotor, elle doit être décroissante pour d'autres et sa dérivée est nécessairement nulle pour au moins deux positions particulières du rotor. En ces positions, il est impossible, quelque soit la valeur du courant, d'avoir un couple non nul.

En revanche si la machine comporte des aimants permanents, il est possible de générer en outre un couple électrodynamique dû à l'interaction entre le courant circulant dans l'enroulement et le flux induit  $\psi_0$  dans cet enroulement par les aimants du rotor. Si la relation flux-courant est linéaire, le couple électromagnétique total s'écrit alors :

$$C_{em} = \frac{\partial \psi_0(\theta_m)}{\partial \theta_m} \cdot I + \frac{\partial L(\theta_m)}{\partial \theta_m} \cdot I^2$$

La fonction  $\psi_0(\theta_m)$  est une fonction périodique dont la dérivée s'annule pour au moins deux positions du rotor. Si ces positions ne correspondent pas à celles pour lesquelles le couple réactant est nul, il est alors effectivement possible de générer un couple constant avec un convertisseur ne comportant qu'un seul enroulement.

Il est cependant extrêmement difficile dans une même machine, d'obtenir en pratique un couple réactant qui soit, à valeur de courant égales, du même ordre de grandeur que le couple électrodynamique. C'est pourquoi la quasi totalité des convertisseurs comportent au moins deux enroulements (machines synchrones diphasées à aimants permanents), voire trois lorsque l'utilisation d'aimants permanents est exclue (machines synchrones diphasées à inducteur).