

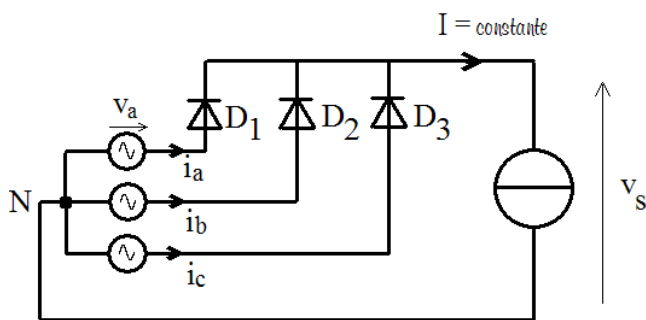
Travaux Dirigés d'électronique de puissance et d'électrotechnique

Exercice 1: redresseur triphasé non commandé

On étudie les montages suivants, alimentés par un système de tensions triphasé équilibré. On considère le courant de sortie suffisamment lissé pour le considérer constant.

On donne : $V = 230V$ (tension simple efficace)
 $I = 10A$ (courant de sortie)

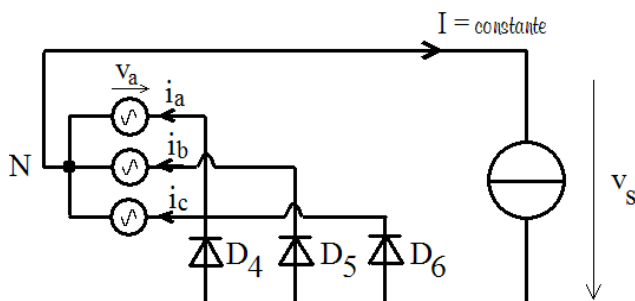
Pont simple à cathodes communes (P3) -----



Montage en pont simple à cathodes communes

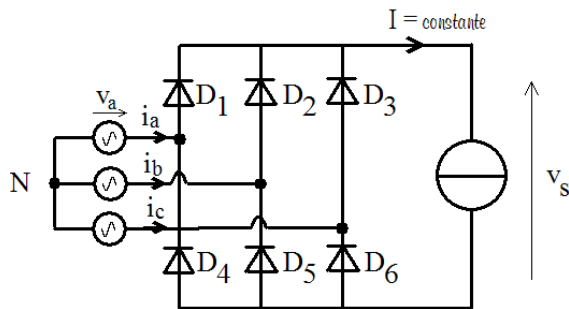
1. Représenter l'allure de la tension de sortie V_s .
2. Calculer la valeur moyenne de la tension V_s .
3. Représenter l'allure du courant circulant dans la diode D_1 .
4. En déduire la valeur du courant moyen circulant dans la diode D_1 .
5. Calculer la puissance en sortie du pont.
6. De quel type de charge peut il s'agir ?

Pont simple à anodes communes (P3) -----



Montage en pont simple à cathodes communes

7. Représenter l'allure de la tension de sortie V_s .
8. Calculer la valeur moyenne de la tension V_s .

Pont double (PD3)

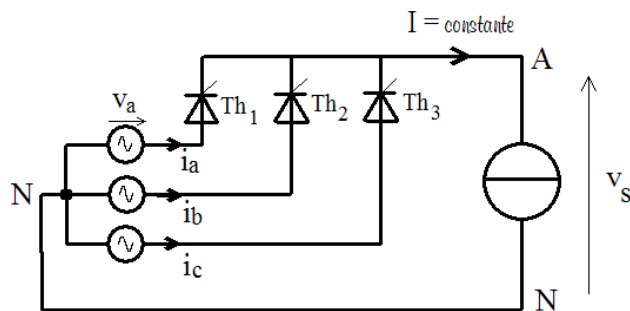
Montage en pont complet ou pont double

1. Représenter l'allure de la tension de sortie V_s .
2. Calculer la valeur moyenne de la tension V_s .
3. Calculer la puissance en sortie du pont.
4. Représenter l'allure du courant circulant dans la phase a.

Exercice 2: redresseur triphasé commandé en pont simple

On réalise une alimentation de puissance réglable en tension à l'aide du montage ci-dessous. Le réseau est triphasé équilibré et la charge impose un courant constant.

On donne : $V = 230V$ (tension simple efficace)
 $I = 10A$ (courant de sortie)



1. Pour un angle de retard à l'amorçage $\Psi = \pi/3$, tracer l'allure de la tension de sortie V_s .
2. Représenter l'allure du courant i_a ainsi que la tension aux borne du thyristor Th_a .
3. Calculer le courant moyen et le courant efficace dans le thyristor Th_a .
4. Calculer la valeur de la tension moyenne de sortie pour $\Psi = \pi/3$.
5. Calculer la valeur de la tension moyenne de sortie pour $\Psi = 2\pi/3$.
6. Pour $\Psi = 2\pi/3$, que se passe t il si la charge est un moteur à courant continu ? Si la charge est un circuit RL ?

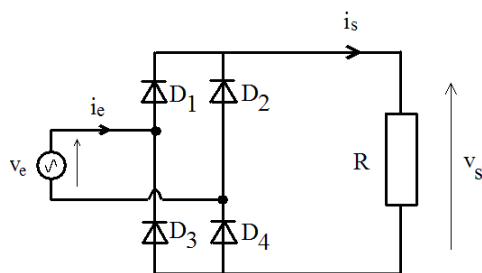
Exercice 3 : redresseur monophasé non commandé en pont double

On considère pour les montages suivants, une tension d'entrée sinusoïdale d'expression :

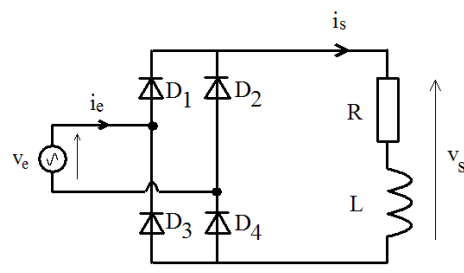
$$v_e(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

On donne les valeurs suivantes :

- Tension efficace du réseau : 230V
- Fréquence du réseau : 50 Hz
- Résistance des charges 1 et 2 : 10Ω
- Inductance de la charge 2 : 1 H



Montage 1 : charge R



Montage 2 : charge RL

Etude du montage 1 – Charge R

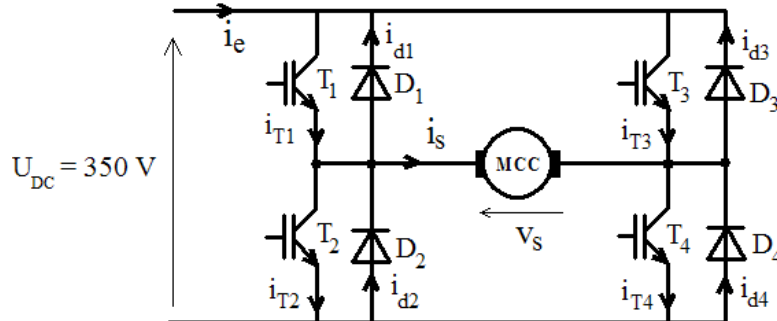
1. Représenter l'allure de la tension et l'allure du courant côté charge.
2. Calculer la puissance active côté charge.
3. Représenter l'allure de la tension et l'allure du courant côté réseau.
4. Calculer la puissance active côté réseau. Conclure.

Etude du montage 2 – Charge RL

5. Calculer la valeur de la constante de temps de la charge. Conclure.
6. Représenter l'allure de la tension et l'allure du courant côté charge.
7. Calculer la puissance active côté charge.
8. Représenter l'allure de la tension et l'allure du courant côté réseau.
9. Calculer la puissance active côté réseau. Conclure.
10. Calculer la valeur de la puissance déformante.

Exercice 4 : Alimentation pour moteur à courant continu – Application à la traction électrique

On étudie ici, l'alimentation d'un moteur à courant continu utilisé pour la motorisation d'une rame de métro.



Le hacheur utilisant des transistors IGBT est alimenté par une tension continue de 375V et la fréquence de découpage $f = 1/T$ est de 1kHz. La commande des transistors s'effectue de façon complémentaire. Le moteur à courant continu est un moteur à aimants permanents dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- $U_{\text{nominale}} = 375\text{V}$
- $I_{\text{nominal}} = 440\text{A}$
- $Vitesse_{\text{nominale}} = 2000 \text{ tr/mn}$
- Constante de fem (ou de couple) : $k_{\phi} = 1.685 \text{ V/rad.s}^{-1}$ (ou Nm/A)
- Résistance de l'induit : $R = 50 \text{ m}\Omega$
- Inductance de l'induit : $L = 3 \text{ mH}$

1. Lorsque le moteur est au point de fonctionnement nominal, calculer la puissance électrique maximale ainsi que le couple moteur nominal.

Etude du mode de fonctionnement moteur

2. Pour un rapport cyclique constant $\alpha = 3/4$, représenter l'allure de la tension aux bornes du moteur. En déduire sa valeur moyenne.
3. En déduire l'expression puis la valeur moyenne du courant absorbé par le moteur. On supposera que la vitesse pour ce point de fonctionnement vaut 1000 tr/mn.
4. Calculer la valeur du couple moteur moyen pour ce point de fonctionnement.
5. Calculer l'expression du courant absorbé par le moteur de 0 à αT . On négligera l'effet de la résistance d'induit.
6. Calculer l'expression du courant absorbé par le moteur de αT à T . On négligera l'effet de la résistance d'induit.
7. En déduire l'expression de l'ondulation de courant en fonction de α .
8. Calculer la valeur maximale de l'ondulation de courant ainsi que la valeur maximale de l'ondulation de couple qui en résulte.
9. Quelle solution peut on proposer pour ramener les ondulations de couple à une valeur inférieure à 10% du couple nominale.

Exercice 5 : Moteur à courant continu pour la robotique

On utilise, pour la motorisation d'un convoyeur, une machine à courant continu à aimants permanents. Les objets à déplacer ont une masse M de 100 kg et le profil de vitesse imposé par le cahier des charges est défini sur la figure ci-dessous. Les pertes mécaniques sont limitées aux seuls frottements secs. On les modélisera par un couple constant de valeur $C_0 = 30$ mNm sur les parties rapides, quelle que soit la vitesse.

Un réducteur, de rapport de réduction $m = 30$, permet d'adapter la vitesse du convoyeur à la vitesse de fonctionnement de la machine. On supposera son rendement unitaire.

La machine à courant continu utilisée possède les caractéristiques suivantes :

Constante de couple : $K_\phi = 0.286$ Nm/A

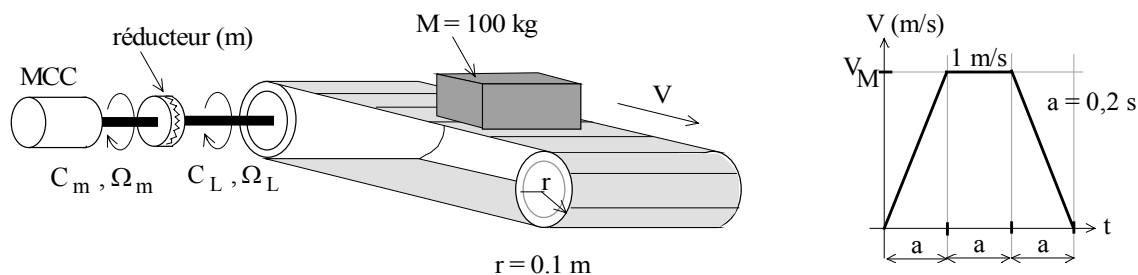
Résistance de l'induit : $R = 1.8 \Omega$

Inductance de l'induit : $\ell = 1$ mH

Inertie du rotor : $J_{MCC} = 79.10e^{-5}$ kg.m²

Diamètre extérieur : $D = 0,16$ m

Longueur extérieure : $L = 0,116$ m



1. Rappeler l'équation fondamentale de la dynamique appliquée aux systèmes en rotation
2. Calculer l'inertie, apportée par la masse M , ramenée sur l'arbre de la machine ainsi que la pulsation maximale de rotation en rad/s. On supposera pour cela le rendement translation/rotation égal à un.
3. Représenter l'évolution du couple utile de la machine en fonction du temps. En déduire celle du courant dans l'induit de la machine. Conclusion ?
4. Représenter dans le plan (C, Ω) le trajet du point de fonctionnement. Conclusion ?
5. Rappeler le modèle électrique de la machine à courant continu.
6. Représenter l'évolution des pertes Joule. Calculer la valeur moyenne des pertes sur un cycle de fonctionnement.

On considère la température homogène dans la machine. On rappelle l'expression donnant l'élévation de température dans le cas d'une convection naturelle :

$$\Delta\theta = \frac{\text{pertes}}{\alpha \cdot S_{th}}$$

avec :

$\alpha = 10$ W/m².K (coefficient d'échange thermique)

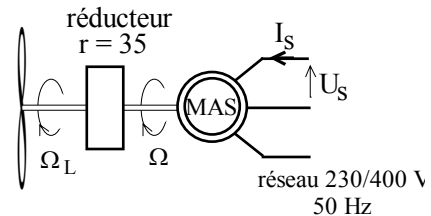
S_{th} : la surface d'échange thermique.

7. Calculer l'échauffement en °C de la machine pour un fonctionnement avec une continuité de cycles. Que vaut cet échauffement si entre chaque cycle, le système reste à l'arrêt pendant une durée $t = a$.
8. Représenter l'évolution de la tension d'alimentation en fonction du temps.
9. Quelle doit être la puissance de la machine ?

Exercice 6 : Machine asynchrone pour éolienne

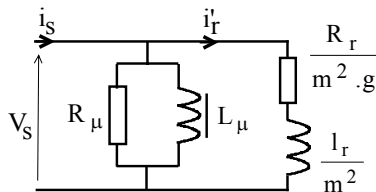
L'alimentation en électricité d'un site insulaire est assurée par des groupes électrogènes. Pour faire face à l'augmentation de la demande, on installe une éolienne d'une puissance nominale de 300 kW. Les pales sont reliées au rotor de la machine via un réducteur de rapport de réduction $r = 35$. Le constructeur de la machine donne les caractéristiques lorsque celle-ci fonctionne en moteur :

- 4 pôles, rotor à cage,
- alimentation 230/400 V – 50 Hz,
- vitesse nominale : $N = 1485$ tr/min



Hypothèses simplificatrices :

Pour simplifier l'étude, les résistances rotoriques sont négligées. Les pertes mécaniques de la machine sont supposées constantes et égales à 1 kW. Les pertes mécaniques du réducteur sont aussi supposées constantes et égales à 6,3 kW. On utilisera le modèle électrique équivalent suivant :



Avec :

$$\begin{aligned} R_\mu &= 19 \Omega \\ L_\mu &= 4,14 \text{ mH} \\ R_r/m^2 &= 5 \text{ m}\Omega \\ L_r/m^2 &= 0,414 \text{ mH} \end{aligned}$$

1.1 Etude théorique du moteur

- 1.1 Calculer l'expression de la puissance transmise au rotor en fonction des éléments du modèle équivalent.
- 1.2 En déduire l'expression du couple électromagnétique.
- 1.3 Calculer la valeur du couple max.
- 1.4 Quelle est la vitesse de synchronisme de cette machine lorsqu'elle est alimentée par le réseau 50 Hz. Exprimer cette grandeur en tr/min et en rad/s.
- 1.5 En déduire la valeur nominale du glissement.

2. Etude de la machine en fonctionnement moteur à vide (vent nul)

- 2.1 Représenter schématiquement (arbre des puissances) les différentes pertes du système moteur + réducteur en mode fonctionnement moteur.
- 2.2 En l'absence de vent, les pales sont orientées de manière à ce que le couple sur l'arbre lent puisse être considéré comme nul. Que vaut alors le glissement ?
- 2.3 Que vaut alors la fréquence de rotation des pales.

3. Etude de la machine en fonctionnement génératrice (vent non nul)

On suppose maintenant que le vent fournit un couple de 67500 Nm à l'arbre lent du réducteur. On prendra pour le couple de pertes mécaniques du réducteur, ramené sur l'arbre de la machine, la valeur $C_r = 40$ Nm et pour le couple de pertes mécaniques de la machine, la valeur $C_m = 6,43$ Nm.

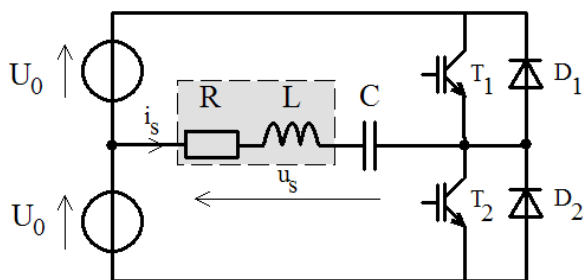
- 3.1 Représenter schématiquement (arbre des puissances) les différentes pertes du système moteur + réducteur en mode fonctionnement génératrice.
- 3.2 En conservant la convention moteur, calculer le couple sur l'arbre de la machine asynchrone.
- 3.3 Calculer le couple électromagnétique.
- 3.4 Que vaut alors la valeur du glissement ?
- 3.5 En déduire la vitesse de rotation de la machine et la vitesse de rotation des pales.
- 3.6 Calculer la puissance électrique fournie au réseau.

Exercice 7 : Plaque de cuisson par induction

On étudie le principe de fonctionnement d'une plaque de cuisson par induction constituée ici de deux inducteurs (enroulement de fil de cuivre).



On considèrera que le modèle équivalent d'un inducteur est un circuit RL de type série. On place en série avec l'inducteur, un condensateur C de manière à ce que la charge vue par le convertisseur d'alimentation se comporte comme un circuit résonant. On donne le schéma d'alimentation d'une plaque. On supposera que les tensions U_0 sont constantes et que le rapport cyclique est constant et égal à 0,5.



On donne :

$$R = 5\Omega$$

$$L = 158 \mu\text{H}$$

$$C = 330 \text{ nF}$$

$$f_d = 22 \text{ kHz (fréquence de découpage)}$$

$$U_0 = 120\text{V}$$

1.1 Rappeler le principe du chauffage par induction.

1.2 Montrer que l'on peut mettre l'impédance complexe de la charge sous la forme

$$\underline{Z}_s(f) = R \cdot \left[1 + j \cdot Q \cdot \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \right]. \text{ Exprimer et calculer les valeurs de } Q \text{ et } f_0.$$

1.3 Calculer la valeur de l'impédance Z_s pour $f = f_0$, $f = 3f_0$ et $f = 5f_0$.

1.4 Représenter approximativement l'évolution du module de Z_s en fonction de la fréquence.

1.5 Représenter l'allure de la tension aux bornes de la charge.

1.6 Représenter, en justifiant votre réponse, l'allure du courant dans la charge.

1.7 Calculer la puissance de chauffe.

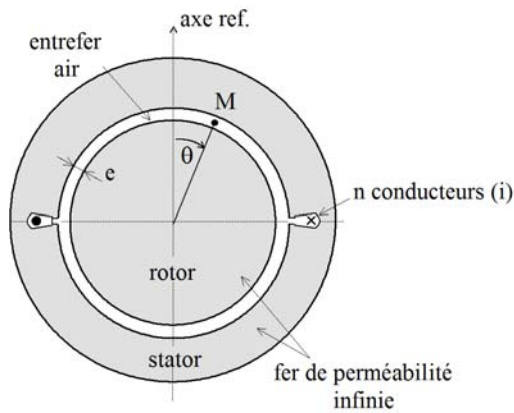
1.8 Pour la fréquence fondamentale, calculer la valeur efficace de la tension aux bornes de la capacité.

1.9 Pour faire varier la puissance de chauffe, sur quel paramètre agit-on de préférence ?

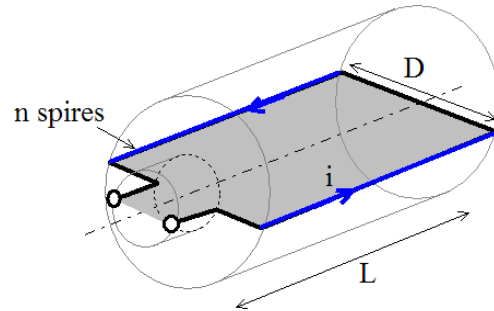
1.1

Exercice 1 : Rappels d'électromagnétisme

On étudie ici le principe de fonctionnement des moteurs à courant alternatif.



Vue en coupe de la machine



Vue du stator avec son bobinage

Hypothèse : On considère le fer de perméabilité infinie

On donne :

- Nombre de spires n : 15 spires
- Courant : $i = 100\text{A}$
- Epaisseur d'entrefer : $e = 0.5\text{ mm}$

1. Rappeler la relation entre le champ magnétique et l'induction, dans du fer puis dans l'air.

1^{ère} partie : Champ magnétique dans l'entrefer pour $i = I_0$ constant -----

On suppose pour cette partie, que le courant est continu et s'écrit :

$$i = I_0$$

2. Représenter les lignes de champ magnétique circulant dans la machine.

3. Calculer l'expression du champ magnétique puis celle de l'induction au point M de l'entrefer.

4. En déduire l'évolution de l'induction en fonction de θ .

5. Combien de paires de pôles magnétiques sont ainsi créées ?

6. Donner l'expression du fondamental de l'induction dans l'entrefer en fonction de i et θ .

2^{ème} partie : Champ magnétique dans l'entrefer pour un courant sinusoïdal -----

On suppose maintenant, que le courant est sinusoïdal et d'expression :

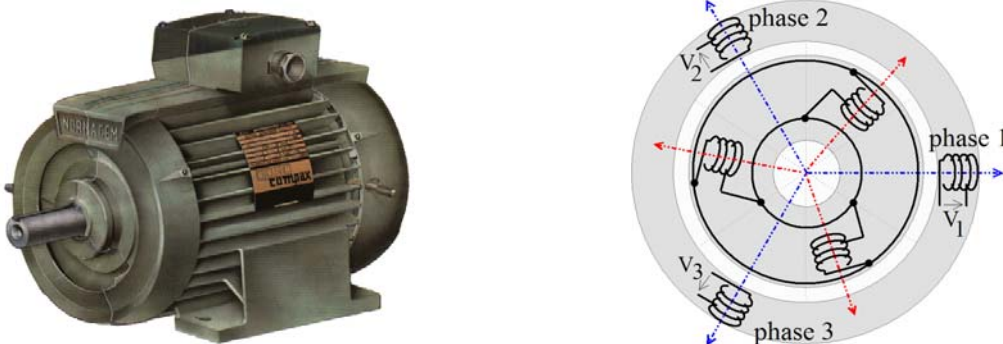
$$I(t) = I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega_s t)$$

7. Pour un courant sinusoïdal, exprimer l'induction dans l'entrefer et montrer que le champ magnétique produit dans l'entrefer est la somme de deux champs tournants en sens inverse à la pulsation ω_s .

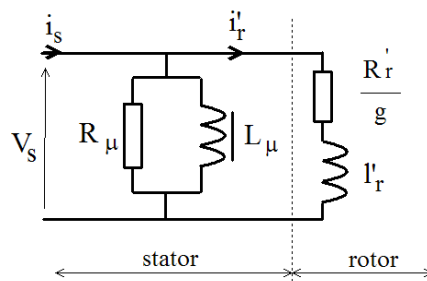
On donne la relation suivante : $\sin(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} \cdot [\sin(a+b) + \sin(a-b)]$

Exercice 2 : Modèle électrique et calculs en régime sinusoïdal – Application au moteur Asynchrone

Un moteur asynchrone est constitué de deux bobinages triphasés. Un bobinage au stator alimenté par un réseau triphasé et un bobinage au rotor mis en court-circuit.



On donne le modèle électrique simplifié équivalent par phase du moteur asynchrone :



On supposera la machine alimentée par des tensions sinusoïdales triphasées. On notera V_s la tension simple (par phase) efficace.

1. On note g l'écart relatif entre la vitesse de rotation du rotor N (exprimée en tr/min ou en tr/s) et N_s la vitesse du champ magnétique créé par le bobinage statorique. Exprimer g en fonction de N et N_s .
2. A partir du modèle électrique, calculer l'expression de la puissance transmise au rotor en fonction des éléments du modèle équivalent.
- 3 En déduire l'expression du couple électromagnétique.
- 4 Exprimer ce couple lorsque le glissement est petit.