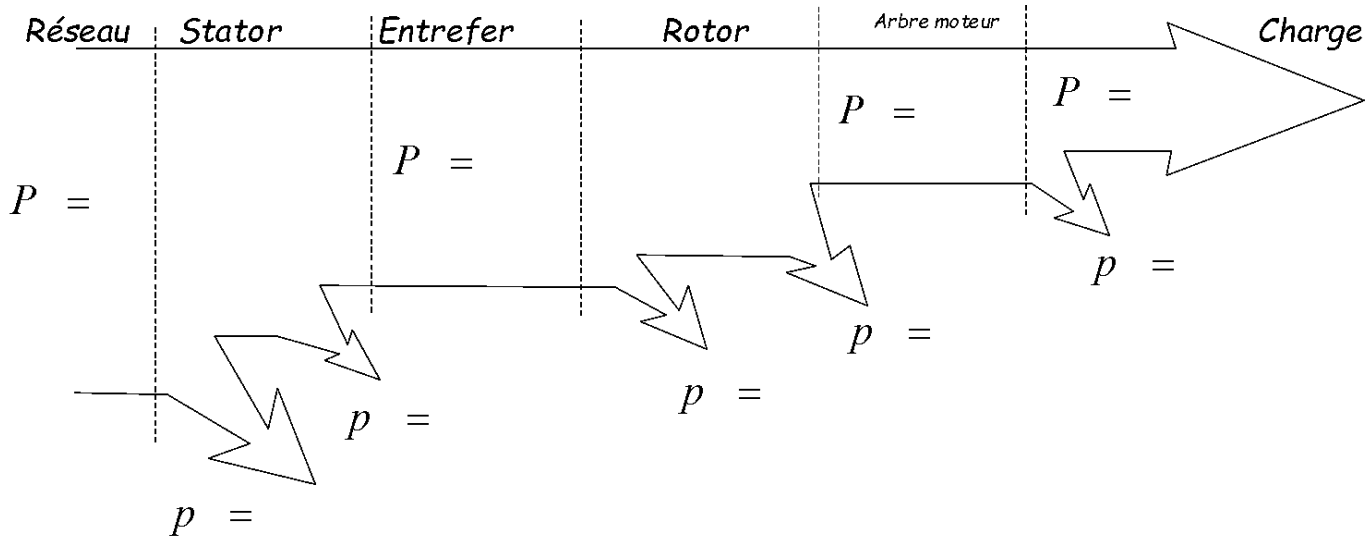
Exercice 1: QCM1(Solution 1:) 3
Exercice 2: QCM2 (Solution 2:) 3
Exercice 3: Application 1 : MAS à vide et MAS en charge(Solution 3:) 4
Exercice 4: Application 2 : le MAS à vide.(Solution 4:) 4
Exercice 5: Application 3 : fréquence de rotation du rotor d'un MAS à vide (Solution 5:) 4
Exercice 6: Application 4 : à la recherche du nombre de paires de pôles.(Solution 6:) 4
Exercice 7: Application 5 : glissement d'un MAS.(Solution 7:) 5
Exercice 8: Application 6 : comment retrouver le nombre de paires de pôles ?(Solution 8:) 5
Exercice 9: Application 7 : exploitation de la plaque signalétique d'un MAS.(Solution 9:) 5
Exercice 10: Application 8 : essais en continu et en charge.(Solution 10:) 5
Exercice 11: Application 9 : l'intérêt d'effectuer l'essai à vide…(Solution 11:) 5
Exercice 12: Application 10 : la valeur des pertes mécaniques à vide peut elle être égale à celle en charge ?(Solution 12:) 6
Exercice 13: Application 11 : caractéristique mécanique utile et équilibre mécanique.(Solution 13:) 6
Exercice 14: Application 12 : variation de vitesse d'un MAS à rotor bobiné en utilisant des rhéostats rotoriques.(Solution 14:) 7
Exercice 15: Application 13 : démarrage Y-D (Solution 15:) 7
Exercice 16: Application 14 : variation de vitesse d'un MAS à cage d'écureuil (rotor en court circuit) en utilisant un onduleur 3~.(Solution 16:) 8
Exercice 17: BTS Etk 2009 Nouméa (Solution 17:) 8
Exercice 18: BTS Etk 2010 Métro(Solution 18:) 10
Exercice 19: BTS Etk 2008 Nouméa : Pont Flaubert(Solution 19:) 12
Exercice 20: BTS Etk 2008 Métro : Jeux d'eau au château de Versailles(Solution 20:) 15
Exercice 21: BTS Etk 2007 Nouméa : Etude d'une station de pompage autonome(Solution 21:) 16
Exercice 22: BTS Etk 2006 Métro : Motorisation d'un tramway(Solution 22:) 16
Exercice 23: BTS Etk 2005 Nouméa : Amélioration du fonctionnement d'une scie (Solution 23:) 18
Exercice 24: BTS Etk 2004 Nouméa : générateur éolien (Solution 25:) 21
Exercice 25: BTS Etk 2004 Métro (Production d'électricité avec une éolienne)(Solution 25:) 23
Exercice 26: BTS Etk 2002 Nouméa (Etude d'une station de pompage)(Solution 26:) 27
Exercice 27: BTS Etk 1998 Nouméa (Etude d'un monte charge)(Solution 27:) 28
Exercice 28: BTS Etk 1996 Métro Entraînement d'un ventilateur de tirage d'une chaudière (Solution 28:) 29
Exercice 29: BTS Etk 1996 Nouméa Association machine asynchrone / convertisseur de fréquence Autopilotage (Solution 29:) 33
Exercice 30: BTS Etk 1987 (Solution 30:) 35
Exercice 31: BTS Etk 1983 (Solution 31:) 36
Exercice 32: BTS Etk Nouméa 2010 (Solution 32:) 37
Solutions à Machines Asynchrones *40*
Solution 1: Exercice 1:QCM1 40
Solution 2: Exercice 2:QCM2 (40
Solution 3: Exercice 3:Application 1 : MAS à vide et MAS en charge 40
Solution 4: Exercice 4:Application 2 : le MAS à vide. 40
Solution 5: Exercice 5:Application 3 : fréquence de rotation du rotor d'un MAS à vide 40
Solution 6: Exercice 6:Application 4 : à la recherche du nombre de paires de pôles. 40
Solution 7: Exercice 7:Application 5 : glissement d'un MAS. 40
Solution 8: Exercice 8:Application 6 : comment retrouver le nombre de paires de pôles ? 41
Solution 9: Exercice 9:Application 7 : exploitation de la plaque signalétique d'un MAS. 41
Solution 10: Exercice 10:Application 8 : essais en continu et en charge. 41
Solution 11: Exercice 11:Application 9 : l'intérêt d'effectuer l'essai à vide… 42
Solution 12: Exercice 12:Application 10 : la valeur des pertes mécaniques à vide peut elle être égale à celle en charge ? 42
Solution 13: Exercice 13:Application 11 : caractéristique mécanique utile et équilibre mécanique. 42
Solution 14: Exercice 14:Application 12 : variation de vitesse d'un MAS à rotor bobiné en utilisant des rhéostats rotoriques. 43
Solution 15: Exercice 15:Application 13 : démarrage Y-D 43
Solution 16: Exercice 16:Application 14 : variation de vitesse d'un MAS à cage d'écureuil (rotor en court circuit) en utilisant un onduleur 3~. 43
Solution 17: Exercice 17:BTS Etk 2009 Nouméa 43

Solution 18: Exercice 18:BTS Etk 2010 Métro 44
Solution 19: Exercice 19:BTS Etk 2008 Nouméa : Pont Flaubert 47
Solution 20: Exercice 20:BTS Etk 2008 Métro : Jeux d'eau au château de Versailles 48
Solution 21: Exercice 21:BTS Etk 2007 Nouméa : Etude d'une station de pompage autonome 50
Solution 22: Exercice 22:BTS Etk 2006 Métro : Motorisation d'un tramway 50
Solution 23: Exercice 23:BTS Etk 2005 Nouméa : Amélioration du fonctionnement d'une scie 51
Solution 24: Exercice 24:BTS Etk 2004 Nouméa : générateur éolien 52
Solution 25: Exercice 25:BTS Etk 2004 Métro (Production d'électricité avec une éolienne) 53
Solution 26: Exercice 26:BTS Etk 2002 Nouméa (Etude d'une station de pompage) 54
Solution 27: Exercice 27:BTS Etk 1998 Nouméa (Etude d'un monte charge) 56
Solution 28: Exercice 28: BTS Etk 1996 Métro 57
Solution 29: Exercice 29:BTS Etk 1996 Nouméa Association machine asynchrone / convertisseur de fréquence Autopilotage (Solution 29:) 59
Solution 30: Exercice 30:BTS Etk 1987 (Solution 30:) 59
Solution 31: Exercice 31:BTS Etk 1983 (Solution 31:) 60
Solution 32: Exercice 32: BTS Etk Nouméa 2010 () 60

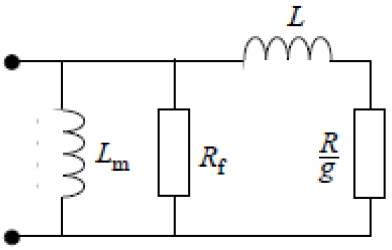
1Exercice 1 : QCM1(Solution 1 :)

1. Quelle est la vitesse de rotation si g = 0
   □ rotor bloqué n=0 □ $n=n_S$ □ $-n_S$ □ vitesse nominale
2. Quelle est la vitesse de rotation si g = 1
   □ rotor bloqué n=0 □ $n=n_S$ □ $-n_S$ □ vitesse nominale
3. Un moteur comporte quatre pôles, il est alimenté par un réseau triphasé de fréquence 50 Hz. Sa vitesse de synchronisme vaut :
   □ 1500 tr/min □ 3000 tr/min □ 750 tr/min □ 1000 tr/min
4. La vitesse de synchronisme d'un moteur est de 1000 tr/min, son arbre tourne à 970 tr/min. Le glissement est égal à :
   □ 3 % □ 3,1 % □ -3 % □- 3,1 %
5. Un moteur comporte une paire de pôles. Il est alimenté sous 50 Hz et tourne à 2900 tr/min. Le glissement est égal à :
   □ 3,4 % □ 3,3 % □ -3,3 % □ -3,4 %
6. Un moteur comportant deux paires de pôles est alimenté par un réseau triphasé de 50 Hz. Son arbre tourne à 1600 tr/min. Le glissement est égal à :
   □ - 6,7% □ - 6,2 % □ 6,7 % □ 6,2 %
7. Un moteur comportant trois paires de pôles est alimenté par un réseau triphasé de fréquence 50 Hz. Son glissement vaut 5%. L'arbre tourne à :
   □ 1000 tr/min □ 995 tr/min □ 950 tr/min □ 950 tr/min
8. Un moteur triphasé est alimenté par un réseau triphasé de fréquence 50 Hz. A l'arrêt son glissement est égal à :
   □ 0 □ 1 □ -1 □ Impossible à définir
9. La vitesse de synchronisme d'un moteur alimenté sous 50 Hz et égale à 1500 tr/min. Le moteur comporte :
   □ une paire □ deux paires □ trois paires □ quatre paires
10. La vitesse de synchronisme d'un moteur alimenté sous 50 Hz vaut 1000 tr/min. Lorsque la fréquence est égale à 25 Hz, la vitesse de synchronisme est :
    □ 1000 tr/min □ 500 tr/min □ 2000 tr/min
11. Quelle est la fréquence de l'alimentation triphasée d'un moteur comportant six pôles dont la vitesse de synchronisme vaut 1000 tr/min ?
    □ 157 Hz □50 Hz □ 25 Hz
12. La vitesse de synchronisme d'une machine alimentée sous 50 Hz vaut 1500 tr/min. Si sa vitesse est égale à 1550 tr/min, elle fonctionne en :
    □ Moteur □ Génératrice □ Impossible à définir
13. Un moteur comportant quatre pôles est alimenté par un réseau triphasé de fréquence 50 Hz et tourne à 1350 tr/min. La fréquence des courants rotoriques est égale à :
    □ 5,5 Hz □ 5 Hz □ 50 Hz □ Impossible à déterminer
14. Lorsqu'un moteur, alimenté sous tension de fréquence fixe, accélère, son glissement :
    □ augmente □ diminue □ ne change pas □ Impossible à déterminer



1Exercice 2: QCM2 (Solution 2:)

On étudie une machine dont le schéma équivalent pour une phase est représenté ci-contre.



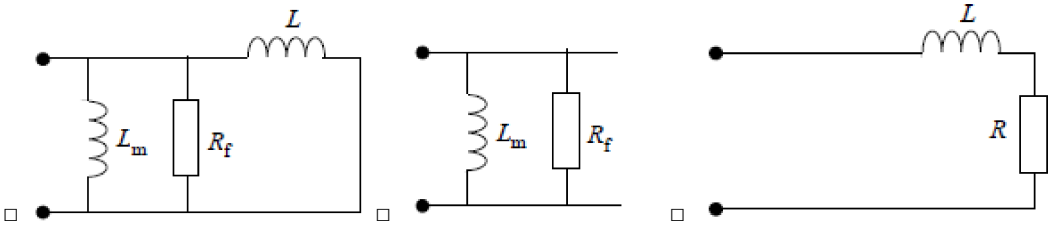
Indications relevées sur la plaque signalétique :

400 V ; 45 A ; 24 kW ; 1450 tr/min

Un essai à vide à la vitesse de synchronisme a permis de mesurer la puissance P = 1300 W, la valeur efficace des tensions composées U = 400 V et l'intensité efficace des courants en ligne I = 15 A.

Un essai en court circuit rotor bloqué a permis de mesurer la puissance P = 1450 W, la valeur efficace des tensions composées U = 63 V et l'intensité efficace des courants en ligne I = 45 A.

1. Lors d'un essai à vide à la vitesse de synchronisme (rotor court-circuité), le schéma équivalent devient :



□ □ □

2. Lors de l'essai à vide, la puissance apparente est égale à (en kVA) :

□ 31,2 □ 10,4 □ 18,0 □ 54,0

3. Lors de l'essai à vide, la puissance réactive est égale à (en kvar) :

□ 31,1 □ 10,3 □ 17,9 □ 54,0

4. La résistance équivalente Rf a pour valeur :

□ 110 Ω □ 40,7 Ω □ 123 Ω

5. L'inductance magnétisante Lm a pour valeur (en mH) :

□ 16,3 □ 49,4 □ 28,4 □ 9,4

6. Lors de l'essai en court circuit, la puissance réactive est égale (en kvar) :

□4,69 □ 8,38 □ 759

7. Lors de l'essai en court circuit, la puissance pour la résistance Rf est égale à :

□ 36 Ω □ 97,5 Ω □ 32,3 Ω

8. Lors de l'essai en court circuit, l'intensité dans la résistance R est égale à :

□ 38,0 A □ 45,0 A □ 42,6 A

9. La résistance équivalente *R* a pour valeur :

□ 0,781 Ω □ 0,260 Ω □ 0,233 Ω

10. Lors de l'essai en court circuit, la puissance réactive pour l'inductance *Lm* est égale à (en var) :

□ 775 □ 256 □ 445 □ 1344

11. L'inductance équivalente *L* a pour valeur :

□ 2,32 mH □ 7,77 mH □ 2,59 mH

1Exercice 3: Application 1 : MAS à vide et MAS en charge(Solution 3:)

1° Que veut dire « MAS à vide » ? Dans quelle situation un moteur de voiture est-il à vide ?
2° Que veut dire «MAS en charge » ? Dans quelle situation un moteur de voiture est-il en charge ?

1Exercice 4: Application 2 : le MAS à vide.(Solution 4:)

1° Pourquoi le MAS à vide consomme-t-il de la puissance active ? Quelle est la signification physique de cette consommation ?
2° Donnez un ordre de grandeur du facteur de puissance d'un MAS à vide ? En déduire la valeur du déphasage que génère chaque enroulement. Quels sont les éléments de la modélisation électrique de chaque enroulement ?
3° Un MAS à vide consomme-t-il de la puissance réactive ? Quelle est la signification physique de cette consommation ?

1Exercice 5: Application 3 : fréquence de rotation du rotor d'un MAS à vide (Solution 5:)

1° La fréquence de rotation d'un MAS à vide dépend elle de la valeur efficace de la tension aux bornes de chaque enroulement ?
2° Qu'est ce qui impose la valeur de la fréquence de rotation du rotor d'un MAS à vide ?
3° Que faut-il faire pour inverser le sens de rotation du rotor ?

1Exercice 6: Application 4 : à la recherche du nombre de paires de pôles.(Solution 6:)

1° Combien y a t-il de paires de pôles dans un stator « bipolaire » ? « Tétrapolaire » ? « Hexapolaire » ?

1Exercice 7: Application 5 : glissement d'un MAS.(Solution 7:)

Données : plaque signalétique MAS tétrapolaire : 230V/400V ; 5.2A/3.0A ; Cosφ 0.820 inductif ; 1380 tr/min réseau 3~ 400V – 50Hz.
1° Quelle est la valeur du champ tournant en tr/s et en tr/min ?
2° Le rotor est calé. Quelle est la valeur de la fréquence de rotation du rotor ? Quelle est la valeur du glissement ?
3° Le MAS est à vide. Quelle est la valeur de la fréquence de rotation du rotor ? Quelle est la valeur du glissement ?
4° Le MAS est en charge nominale.

- 41°Quelle est la valeur de la fréquence de rotation du rotor ? Quelle est la valeur du glissement ?
- 42°Pourquoi le glissement ne dépasse pas 10% ? Que se produirait-il sur le rotor si le glissement était supérieur à 10% ?
- 43°Donnez la valeur de l'intensité efficace de ligne nominale appelée par le MAS.

1Exercice 8: Application 6 : comment retrouver le nombre de paires de pôles ?(Solution 8:)

Données : réseau 3~ 50Hz.
1° Combien y a t-il de paires de pôles dans le stator si le rotor tourne à 2820 tr/min ? à 950 tr/min ? à 1410 tr/min ?

1Exercice 9: Application 7 : exploitation de la plaque signalétique d'un MAS.(Solution 9:)

Données : réseau 133V/230V – 50Hz.
Plaque signalétique moteur : 230V/400V – 50Hz ; 8.5A/4.9A ; Cosφ 0.800 inductif ; 2.00 KW ; 1380 tr/min.
1° Donnez l'interprétation de chaque valeur numérique portée sur la plaque signalétique.
2° Justifiez le couplage à effectuer. En déduire la valeur de : l'intensité efficace de ligne appelée par le moteur, l'intensité efficace qui traverse chaque enroulement.
3° Combien y a t'il de pôles magnétiques au stator ? Justifiez.
4° Donnez la valeur de la puissance active consommée par le MAS.

5° Quelle est la valeur du rendement du moteur pour son fonctionnement nominal ? En déduire la valeur des pertes.

1Exercice 10: Application 8 : essais en continu et en charge.(Solution 10:)

Données : réseau 3~ 400V / 50Hz. MAS : pertes fer au stator : 200W.
Essai en continu : tension entre 2 phases = 4.50V ; courant de ligne = 2.30A
Essai en charge : intensité efficace de ligne = 6.30A ; Cosφ 0.820 inductif ; 1405 tr/min.

1° Calculez les valeurs de :
- 11° la puissance active consommée,
- 12° les pertes joules au stator,
- 13° la puissance électromagnétique transmise,
- 14° le moment du couple électromagnétique.

2° Justifiez le nombre de paires de pôles. En déduire la valeur du glissement.
3° Calculez la valeur des pertes joules rotor.
4° Peut on connaître la valeur de la puissance utile mécanique ? Pourquoi ?

1Exercice 11: Application 9 : l'intérêt d'effectuer l'essai à vide…(Solution 11:)

Données : réseau 230V/400V ;50Hz. MAS : pertes fer au stator : 320W.
Essai en continu : tension entre 2 phases = 6.20V ; courant de ligne = 3.50A
Essai à vide : intensité efficace de ligne à vide = 5.50A ; Cosφ à vide 0.185 inductif ; 1495 tr/min.

1° Que représentent « u_{DC} » ? « i_{DC} » ? « I_0 » ? « n_0 » ? « $Cos\varphi_0$ » ?
2° Calculez les valeurs de :
- 21° la puissance active consommée à vide, les pertes joules à vide au stator ;
- 22° la puissance électromagnétique transmise à vide ;
- 23° les pertes joules au rotor à vide ;
- 24° la puissance mécanique utile à vide. En déduire la valeur des pertes mécaniques. Conclure sur l'intérêt de l'essai à vide.

3° Calculez les valeurs du : moment de couple électromagnétique, moment du couple utile à vide. En déduire la valeur du moment de couple lié aux pertes mécaniques. Conclure sur une relation qui relie les moments de couple utile, électromagnétique et celui lié aux pertes mécaniques.

1Exercice 12: Application 10 : la valeur des pertes mécaniques à vide peut elle être égale à celle en charge ?(Solution 12:)

Données : réseau 3~ 400V - 50Hz. Plaque signalétique MAS : 400V/693V - 50Hz
Essai en continu : tension entre 2 phases = 5.80V ; courant de ligne = 3.30A
Essai en charge : méthode des 2 wattmètres : L1 = 2.74KW ; L2 = 1.17KW ; 1365 tr/min ; Cosφ 0.820 inductif ; 7.25A en ligne.
Essai à vide : méthode des 2 wattmètres : L10 = 1.44KW ; L20 = -730W ; 1495 tr/min ; $Cos\varphi_0$ 0.185 inductif ; 5.80A en ligne.
La valeur du moment de couple lié aux pertes mécaniques reste constante et indépendante de la valeur de la fréquence de rotation.
La valeur des pertes fer au stator est la même que celle des pertes mécaniques.

1° Justifiez le couplage à effectuer.
2° Donnez la valeur de la résistance interne d'un enroulement.
3° Justifiez le nombre de paires de pôles. En déduire la valeur du glissement en charge.
4° Calculez la valeur des pertes fer au stator. En déduire celle des pertes mécaniques.
5° Calculez la valeur du moment de couple lié aux pertes mécaniques.
6° Calculez la nouvelle valeur des pertes mécaniques en charge. En déduire les valeurs de la puissance électromagnétique transmise, les pertes joules au rotor, la puissance mécanique utile, le moment de couple utile et la valeur du rendement.
7° Au lieu de recalculer la nouvelle valeur des pertes mécaniques en charge, on décide de garder la valeur obtenue lors de l'essai à vide. En déduire les valeurs de la puissance électromagnétique transmise, les pertes joules au rotor, la puissance mécanique utile, le moment de couple utile et la valeur du rendement.
8° Comparez les valeurs de la puissance mécanique utile, du moment du couple utile, des rendements entre elles. Conclure sur la validité de l'approximation suivante : « la valeur des pertes mécaniques à vide ou en charge sont supposées constantes. »

1Exercice 13: Application 11 : caractéristique mécanique utile et équilibre mécanique.(Solution 13:)

1° Reprendre les valeurs des moments de couple utile à vide et en charge de l' **Application 10**.
2° Esquissez l'évolution de la valeur du moment de couple utile d'un MAS lorsque les valeurs de la fréquence de rotation varient de 0 tr/min à 1500 tr/min. Donnez l'équivalence de l'axe des fréquences de rotation en axe des glissements.
3° Tracez la caractéristique mécanique utile du MAS de l' **Application 10** lorsque les valeurs de la fréquence de rotation varient de 1000 tr/min à 1500 tr/min (échelles : 1cm pour 1.5Nm et 1cm pour 50tr/min) .
4° Tracez la caractéristique mécanique du couple résistant d'un système mécanique entrainé par le moteur de l' *Application 10.*
Données : pour 500 tr/min, valeur du moment du couple résistant est égale à 8.00Nm ; pour 1350 tr/min, valeur du moment du couple résistant est égale à 13.4Nm ; pour 1495 tr/min, valeur du moment du couple résistant est égale à 18.0Nm.
5° Qu'appelle t'on « équilibre mécanique » ? Y a t'il équilibre mécanique lorsqu'il y a accélération ? décélération ? lorsque le moteur tourne à fréquence de rotation constante ? Illustrez la notion d'équilibre mécanique dans le cas : « Quand un cycliste atteint il l' équilibre mécanique dans une descente ? »
6° Qu'appelle t'on « point de fonctionnement » ?
7° A l'équilibre mécanique, en déduire les valeurs de : la fréquence de rotation, le moment de couple utile et la puissance mécanique utile fournie par le moteur.

1Exercice 14: Application 12 : variation de vitesse d'un MAS à rotor bobiné en utilisant des rhéostats rotoriques.(Solution 14:)

On considère le MAS de l' **Application 10**, la caractéristique mécanique utile de l' **Application 11,** la.caractéristique mécanique du couple résistant de l' **Application 11**.
Données : rotor bobiné 3~ couplé Y ; la résistance interne de chaque bobinage rotorique vaut 1.30Ω.

1° Effectuez un schéma des rhéostats rotoriques connectés au MAS.
2° On déplace le curseur des 3 rhéostats. La valeur de la résistance de chaque phase rotorique augmente.
21° La variation de la valeur de la résistance de chaque phase rotorique fait elle varier la valeur de la puissance active consommée ?
22° La variation de la valeur de la résistance de chaque phase rotorique fait elle varier la valeur efficace du courant de ligne appelé ?

23° La variation de la valeur de la résistance de chaque phase rotorique fait elle varier la valeur de la puissance électromagnétique transmise ?
24° La variation de la valeur de la résistance de chaque phase rotorique fait elle varier la valeur des pertes joules rotoriques ?
25° La variation de la valeur de la résistance de chaque phase rotorique fait elle varier la valeur du glissement ?
3° Que représente le terme « Rr/g » ? Dans quelle condition le terme « Rr/g » reste t'il constant ?
4° On désire faire tourner le MAS entrainant le système mécanique à la fréquence de rotation de 1000 tr/min.
41° Quelle est la valeur du moment de couple utile correspondant à une fréquence de rotation de 1000 tr/min ?
42° Sans rhéostats rotoriques : quelle aurait été la valeur du glissement pour la valeur du moment de couple utile correspondant à une fréquence de rotation de 1000 tr/min ? En déduire la valeur du terme « Rr/g ».
43° Avec rhéostats rotoriques : quelle est la valeur du glissement correspondant à une fréquence de rotation de 1000 tr/min ? En déduire la valeur de la résistance totale de chaque phase rotorique. En déduire la valeur de la résistance de chaque rhéostat rotorique.
44° Proposez une méthode simple qui permette de connaître la valeur de chaque rhéostat rotorique pour amener le moteur à une fréquence de rotation souhaitée. En déduire une méthode simple qui permette de connaître la valeur de chaque rhéostat rotorique pour amener le moteur à développer un moment de couple utile souhaité.
5° Déterminez la valeur de chaque rhéostat rotorique pour amener le moteur à développer un moment de couple utile de 8.00Nm.

1Exercice 15: Application 13 : démarrage Y-D (Solution 15:)

Rappel des données de l'**Application 10** : réseau 3~ 400V - 50Hz. Plaque signalétique MAS : 400V/693V - 50Hz ; 7.25A/ 4.19A

1° Rappelez le principe du démarrage Y-D ? Le MAS se prête t'il au démarrage Y-D ?

2° Dans quel but effectue t'on de démarrage ?
3° Il apparaît une surintensité à la mise sous tension d'un moteur initialement à l'arrêt. Une estimation de cette surintensité est de l'ordre de 8 fois l'intensité efficace de ligne nominale appelée selon le couplage effectué. Calculez la valeur de cette surintensité si l'on démarre en Y ? si l'on démarre en D ?
4° Comment varient les valeurs des moments de couple utile et électromagnétique si la valeur de la tension efficace aux bornes de chaque enroulement statorique diminue de moitié ? Reprendre les valeurs des moments de couple utile et électromagnétique obtenues lors de l'**Application 10** lorsque le MAS était couplé D. En déduire les nouvelles valeurs des moments de couple utile et électromagnétique lorsque le MAS est couplé Y.
5° Que peut on dire entre la valeur du moment de couple utile au démarrage (MAS couplé D) et la valeur du moment de couple utile au démarrage (MAS couplé Y) ? Que doit on impérativement vérifier pour que mécaniquement le moteur et son système mécanique puisse démarrer si on utilise un démarrage Y-D ?

1Exercice 16: Application 14 : variation de vitesse d'un MAS à cage d'écureuil (rotor en court circuit) en utilisant un onduleur 3~.(Solution 16:)

Données : réseau 230V/400V – 50Hz ; Plaque signalétique MAS : 230V/400V – 50Hz
Essai en continu : tension entre 2 phases = 15.0V ; courant de ligne = 3.75A
Essai en charge : 1365 tr/min ; Cosφ 0.820 inductif ; 5.85A en ligne.
Essai à vide : 1495 tr/min ; $Cos\varphi_0$ 0.185 inductif ; 4.25A en ligne.
La valeur du moment de couple de pertes mécaniques reste constante et indépendante de la valeur de la fréquence de rotation.
La valeur des pertes fer au stator est la même que celle des pertes mécaniques.

1° Justifiez le couplage à effectuer.
2° Donnez la valeur de la résistance interne d'un enroulement.
3° Justifiez le nombre de paires de pôles. En déduire la valeur du glissement en charge.
4° Calculez la valeur des pertes fer au stator. En déduire celle des pertes mécaniques.
5° Pour le MAS en charge, en déduire les valeurs de la puissance électromagnétique transmise, les pertes joules au rotor, la puissance mécanique utile, le moment de couple utile et la valeur du rendement.
6° On désire faire varier la fréquence de rotation du MAS en l'alimentant par un onduleur autonome 3~.

- 61° Expliquez brièvement le principe de faire varier la fréquence de rotation à l'aide d'un onduleur. Pourquoi est-il si important de pouvoir faire varier le temps de conduction des interrupteurs électroniques commandables ?
- 62° Quels sont les composants que l'on utilise pour ces interrupteurs électroniques commandables?
- 63° Rappelez l'expression de la valeur maximale du champ magnétique créé par un enroulement. En déduire l'expression de la valeur maximale du flux forcé par un enroulement
- 64° Pourquoi l'onduleur maintient il le rapport « tension efficace aux bornes de chaque enroulement / fréquence des tensions au stator » constant ? Pourquoi utilise t'on un onduleur à « V/f = cte » ? Pourquoi un onduleur à « V/f = cte » maintient il les valeurs des moments de couple utile et électromagnétique constants ?
- 65° Pourquoi les caractéristiques mécaniques utiles vont elles se déplacer parallèlement les unes par rapport aux autres lorsque l'on fait varier la valeur de la fréquence des tensions statoriques à l'aide de l'onduleur ?
- 66° Tracez la caractéristique mécanique utile du MAS pour les fréquences 50Hz, 40Hz et 25 Hz lorsque les valeurs de la fréquence de rotation varient de 500 tr/min à 1500 tr/min (échelles : 1cm pour 1.5Nm et 1cm pour 50tr/min) .
- 67° En déduire les valeurs des tensions efficace du réseau 3~ fourni par l'onduleur pour 50Hz, 40Hz et 25 Hz.
- 68° Tracez la caractéristique mécanique du couple résistant du système mécanique : (1500 tr/min ; 15Nm et 500 tr/min ; 4.5Nm). En déduire la valeur de la puissance utile mécanique fournie par le MAS pour 50Hz, 40Hz et 25 Hz.

1Exercice 17: BTS Etk 2009 Nouméa (Solution 17:)

Les deux moteurs du mouvement de translation étudié sont à rotor bobiné. Des résistances sont insérées en série avec le rotor lors des phases de démarrage et de freinage de manière à limiter les couples (pour éviter le patinage des galets sur les rails) ainsi que les courants d'appel.

FIGURE 4 :

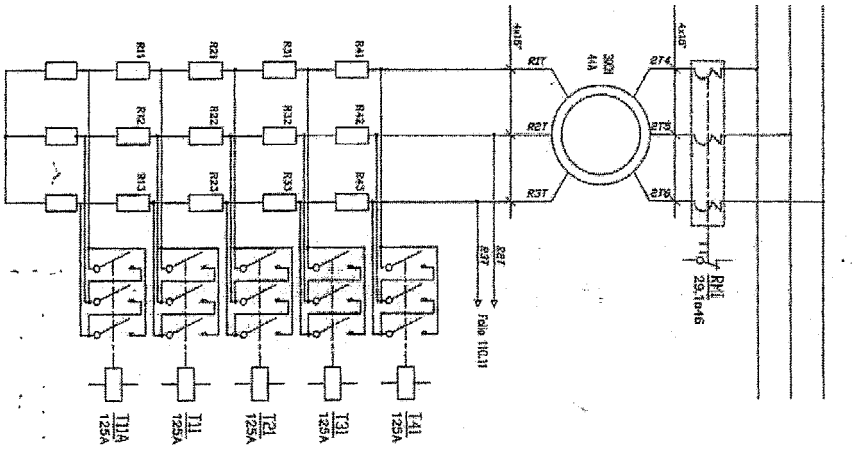
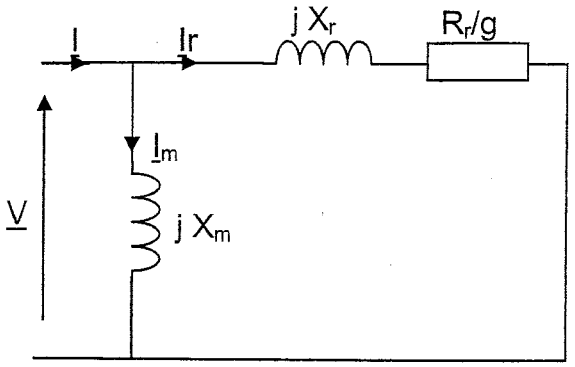


Schéma du démarreur rotorique associé à un moteur de translation horizontale

B.1. Démarrage et freinage du moteur

Le schéma suivant sera utilisé pour modéliser chaque phase du moteur asynchrone pour différents régimes de fonctionnement établi. Ce modèle est ramené du côté stator. La tension $\underline{V}$ a une valeur efficace V = 230V et une fréquence de 50 Hz. $\underline{I}$ est le courant de ligne.
En régime nominal n= 945 tr/min



On donne: X_m=7,6Ω. à 50Hz X_r = 0,033Ω à 50 Hz.

La résistance Rr représente la résistance équivalente d'une phase rotorique, ramenée côté stator. Selon les phases de fonctionnement, Rr peut prendre différentes valeurs comme l'indique le tableau suivant :

Début de démarrage	Rr =17Ω
Régime établi	Rr =4 Ω
Début de freinage en contremarche	Rr =17 Ω

B.1.1. Calculer la pulsation de synchronisme Ω_s en rad/s.
B.1.2. Exprimer la valeur efficace du courant Ir en fonction des éléments Rr,g, Xr et V du schéma équivalent par phase.
B.1.3. Calculer les valeurs efficaces de Ir :
B.1.3.1. au démarrage (g=100%)
B.1.3.2. au moment où l'on débute le freinage en contremarche (g=200%).
B.1.4. Étude du couple :
B.1.4.1. Exprimer le moment du couple électromagnétique Tem du moteur en fonction de Rr, Ir, g et Ωs.
B.1.4.2. Calculer les valeurs de Tem au démarrage et au freinage.

Pour éviter les problèmes de patinage des galets sur les rails, le moment du couple électromagnétique doit rester inférieur à 200 Nm. Pour que la durée de démarrage puisse passer à td = 3,5 s, il est nécessaire de prendre Rr =10 Ω au démarrage comme au freinage.

B.1.5. Calculer les moments des couples de démarrage et de freinage pour td =3,5s.
B.1.6. Cette solution convient-elle ?

B.2. Étude des moteurs de translation en régime établi

On se propose de vérifier que le dimensionnement des moteurs de translation peut être revu à la baisse pour le régime établi. On souhaite également déterminer la puissance perdue par chaque moteur pour ce régime établi. **On négligera les pertes mécaniques et magnétiques ainsi que les pertes par effet Joule au stator. On s'intéresse à l'un des moteurs de translation horizontale du pont.**

- Alimentation du moteur : 230V / 400V - 50 Hz ;
- Fréquence de rotation du moteur : 945 tr/min

B.2.1. Déterminer le nombre de pôles du moteur
B.2.2. Calculer le glissement nominal
B.2.3. La puissance utile nominale du moteur est de 22kW. Calculer le moment du couple utile nominal de ce moteur.

Les besoins en régime établi correspondent à un couple résistant Tr = 19 Nm.
B.2.4. Que peut-on en déduire quant au régime de fonctionnement du moteur ?
B.2.5. Calculer la puissance utile nécessaire pour le mouvement de translation du pont roulant en régime établi.
B.2.6. En déduire la puissance transmise au rotor P_{TR} Si on néglige les pertes mécaniques.
B.2.7. Quelle est alors la puissance active Pa absorbée par le moteur ?
B.2.8. Calculer l'ensemble des pertes en régime établi.
B.2.9. A quoi correspondent ces pertes ?

1Exercice 18: BTS Etk 2010 Métro(Solution 18:)

Le choix d'un moteur asynchrone servant à l'extraction de copeaux et poussières a aboutit sur le modèle suivant.

ABB M2BA T315SMA 110 kW ; 1484 tr.min^{-1} ; 230V/400V ; η= 0,946 ; cosϕ = 0,85.

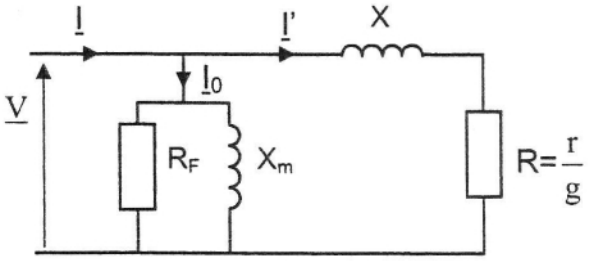
On souhaite déterminer les conditions d'alimentation de la machine permettant d'obtenir la vitesse d'extraction à la valeur souhaitée, *v' = 23 m.s^{-1}*

Pour obtenir la caractéristique mécanique de la machine asynchrone, on utilise le modèle équivalent simplifié d'une phase du moteur représenté à la figure 4.

On néglige les pertes mécaniques ainsi que les pertes par effet Joule au stator : $p_M \approx 0$ et $p_{JS} \approx 0$.

Modèle par phase de la machine asynchrone en régime permanent

Figure 4.



Des essais ont été réalisés sur le moteur afin de calculer la valeur de chaque élément.

- *Essai à vide sous tension nominale : $n_0 \approx 1500$ tr.min^{-1} ; P_0 = 5,10 kW et I_0 = 86 A.*
- *Essai en charge nominale : les valeurs sont celles de la plaque signalétique, soient 110 kW ; 1484 tr. min^{-1} pour f = 50 Hz; 230V/400V ; η = 0,946 ; cosϕ = 0,85 ; et il a été mesuré au stator : P = 116 kW et I= 198 A.*

2.1. Quelles puissances modélisent les éléments R_F et R du modèle équivalent
2.2. Les valeurs numériques obtenues sont X_M = 2,69 Ω ; X = 0,167 Ω et r = 15 mΩ. Compléter ces résultats en calculant la valeur numérique de R_F.

On considérera ces quatre valeurs constantes pour la suite du problème.

Puissance transmise au rotor

2.3. Exprimer la puissance P_{tr} transmise au rotor en fonction de r/g et du courant I'.
2.4. Montrer qu'avec les hypothèses envisagées, cette puissance transmise peut aussi s'écrire $P_{tr} = T_u . \Omega_S$, avec T_u moment du couple utile du moteur.
2.5. En déduire l'expression de T_u en fonction de r, g, I' et Ωs.

Couple utile

Les conditions de fonctionnement du moteur dans cette application font que son glissement reste toujours inférieur à 2%.

2.6. Montrer qu'en première approximation X« r/g

2.7. En tenant compte de ce résultat, relier la valeur efficace I' du courant à la valeur efficace V de la tension v.

2.8. Le moment du couple utile peut alors s'écrire sous la forme simple $T_u = A \cdot (\Omega_S - \Omega)$, c'est-à-dire $T_u = K \cdot (n_S - n)$.

Montrer que le coefficient K a pour expression $K = \frac{3V^2}{r \cdot \Omega_S^2} \cdot \frac{2\pi}{60}$, si les vitesses sont exprimées en tr/min.

2.9. En déduire la condition sur la tension V et la fréquence f que le variateur de vitesse doit assurer pour rendre ce coefficient K constant.

2.10. Calculer K à l'aide des valeurs nominales.

Point de fonctionnement

La condition précédente étant remplie, la caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ du moteur est, dans sa zone utile, la droite d'expression $T_u = 44{,}9.(ns - n)$. Les vitesses sont exprimées en tours par minute.

2.11. Tracer cette droite pour la fréquence f = 50 Hz, dans le même repère que la caractéristique mécanique du ventilateur (document réponse 2). On placera les points de fonctionnement correspondant à T_u= 0 et T_u= 900 Nm.

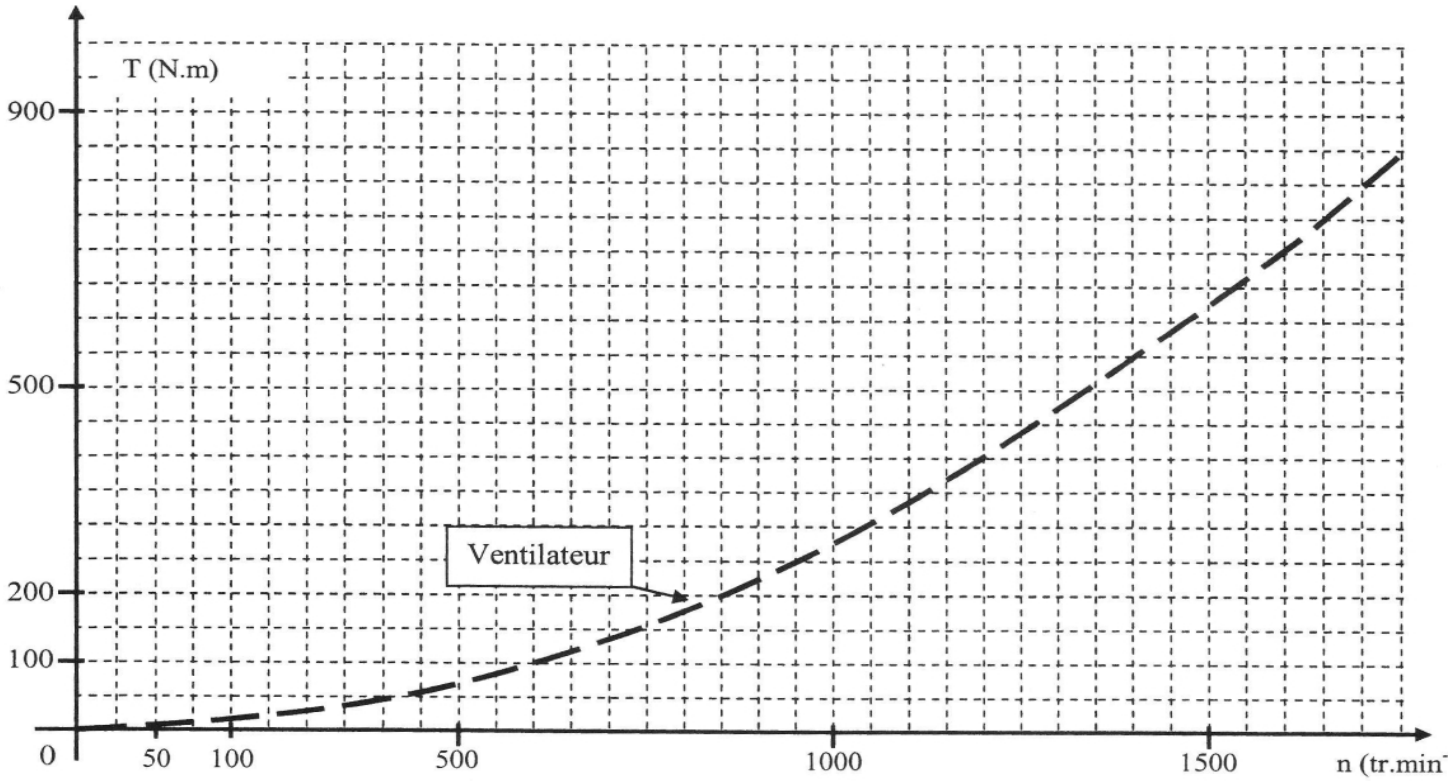
2.12. Décrire de quelle manière se déplace cette droite si le variateur réduit la fréquence des tensions.

2.13. En déduire l'effet de la réduction de fréquence sur le débit d'air du ventilateur.

Le moment du couple correspondant au point de fonctionnement adopté pour diminuer la consommation énergétique (vitesse d'extraction réglée à 23 $m.s^{-1}$) vaut T = 510 N.m.

2.14. *À* l'aide du document réponse 2, déterminer la valeur f_1 de la fréquence que doit imposer le variateur pour obtenir ce point de fonctionnement.

DOCUMENT RÉPONSE 2



1Exercice 19: BTS Etk 2008 Nouméa : Pont Flaubert (Solution 19:)

Pilotage de la machine asynchrone lors des phases de montée et descente du tablier du pont Flaubert

Cette partie concerne l'étude d'une des 4 machines asynchrones associées au treuil de la partie précédente. La machine asynchrone est alimentée par un onduleur triphasé, dont **la fréquence de sortie est variable.**

L'onduleur fonctionne en Modulation de Largeur d'Impulsion, les tensions de sorties sont donc non sinusoïdales.

Dans cette partie, nous nous intéressons au comportement de la machine à la fréquence du fondamental. **Les tensions et intensités seront donc supposées sinusoïdales.**

Caractéristiques nominales de la machine asynchrone en fonctionnement moteur :

- machine asynchrone triphasée, rotor à cage ;
- 2 paires de pôles ;
- puissance utile nominale 37 kW ;
- alimentation 230V / 400V - 50Hz ;
- couplage étoile des enroulements statoriques ;
  - les pertes joule statoriques, les pertes fer rotoriques ainsi que les pertes mécaniques sont négligées.

On donne en figure 3 le **modèle équivalent pour une phase de la machine** asynchrone :

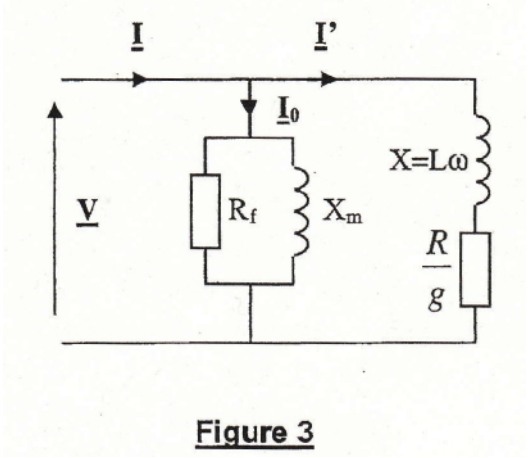


Figure 3

R_f permet de représenter les pertes fer ;
X_R, est la réactance magnétisante du stator ;
X est la réactance totale de fuite vue du stator;
ω est la pulsation des courants statoriques ; ω=2πf;
R est la résistance du rotor ramenée au stator ;
g est le glissement.

Caractéristiques des éléments du modèle équivalent : **R_f=300 Ω; Xm=25 Ω; X=0,70 Ω; R=212 mΩ**

B.1. ***Etude en montée à vitesse constante***

La machine asynchrone fonctionne en moteur. Sa vitesse de rotation est constante et vaut **n = 1366** tr.min^{-1}. Elle délivre une puissance utile constante **P_u = 19,7 kW**. L'onduleur fournit une tension v(t) considérée comme sinusoïdale, de valeur efficace **V = 215 V** et de fréquence **f = 47 Hz**.

B.1.1. Calculer la vitesse de synchronisme ns, en tr.min^{-1}.
B.1.2. En déduire le glissement g.
B.1.3. Calculer la puissance transmise au rotor P_{tr}.
B.1.4. Calculer les pertes fer statoriques p_{fs}.
B.1.5. Calculer la puissance absorbée P_{abs}.
B.1.6. Calculer le rendement η de la machine asynchrone dans ces conditions.

B.2.***Expression du couple électromagnétique***

B.2.1. A partir de la figure 3, exprimer l'intensité efficace I' en fonction de V, R, L, ω et g.
B.2.2. Exprimer la puissance P_{tr} transmise au rotor en fonction de V, R, L, ω.et g.
B.2.3. Montrer que l'on peut exprimer le moment du couple électromagnétique T_{em} de la façon suivante :

$$T_{em} = \frac{3pR}{g\omega}\frac{V^2}{(L\omega)^2 + \left(\frac{R}{g}\right)^2}$$

B.2.4. Montrer que, lorsque g est faible, on peut négliger un terme et on peut alors écrire :

$$T_{em} \approx \frac{3p^2}{60 \cdot 2\pi \cdot R}\left(\frac{V}{f}\right)^2 (n_s - n)$$

où ns et n sont exprimées en tr.min"'.

B.2.5. En déduire que lorsque g est faible et que le rapport $\frac{V}{f}$ est maintenu constant, on peut écrire :

$T_{em} \approx A(n_s - n)$.

Déterminer l'expression littérale de A. Montrer que A = 3,14 N.m.min.tr^{-1}.

B.2.6. A partir de la question précédente, calculer le moment du couple électromagnétique T_{em} dans les conditions de montée à vitesse constante.

B.3.***Fonctionnement à (V/f) = constante***

Les caractéristiques du fonctionnement de la machine asynchrone en **montée à vitesse constante** sont connues :

 n = 1366tr.min^{-1} ; P_u = 19,7 kW; T_{em} = 138 N.m;

 n_s = 1410 tr.min^{-1} ; fréquence de sortie du variateur : **f =47 Hz ;** tension simple de sortie du variateur : **V= 215 V.**

Dans la partie B.3. on s'intéresse au fonctionnement de la machine asynchrone alimentée par l'onduleur qui fonctionne à **(V/f)** = **constante.**

B.3.1. *Caractéristique Tem(n) en montée*

On rappelle que, dans les conditions définies ci-dessus, on peut écrire : $T_{em} \approx 3{,}14\left(n_s - n\right)$.

B.3.1.1. Sur le **document réponse 1,** tracer la caractéristique Tem = f(n) pour un fonctionnement en montée.

B.3.1.2. Indiquer sur le **document réponse 1** le point de fonctionnement F, correspondant à la montée à vitesse constante définie ci-dessus.

B.3.2. *Caractéristique Tem(n) en descente*

La descente du tablier s'effectue à la même vitesse que la montée, mais en sens inverse :
v' = - 4,2 m.min^{-1}. Dans ces conditions, la machine asynchrone tourne à la vitesse **n' = - 1366 tr.min^{-1}.** La valeur du moment du couple électromagnétique T'_{em} de la machine asynchrone permettant de freiner la descente du tablier vaut **T'_{em} = 100N.m.**

B.3.2.1. Montrer que la machine asynchrone fonctionne en génératrice.

L'onduleur fonctionnant à (V/f) = constante, la relation suivante reste vérifiée en descente :

$T'_{em} \approx 3{,}14\left(n'_s - n'\right)$.

B.3.2.2. Sur le **document réponse 1,** indiquer le point de fonctionnement F_2 correspondant à la descente à vitesse constante définie ci-dessus.

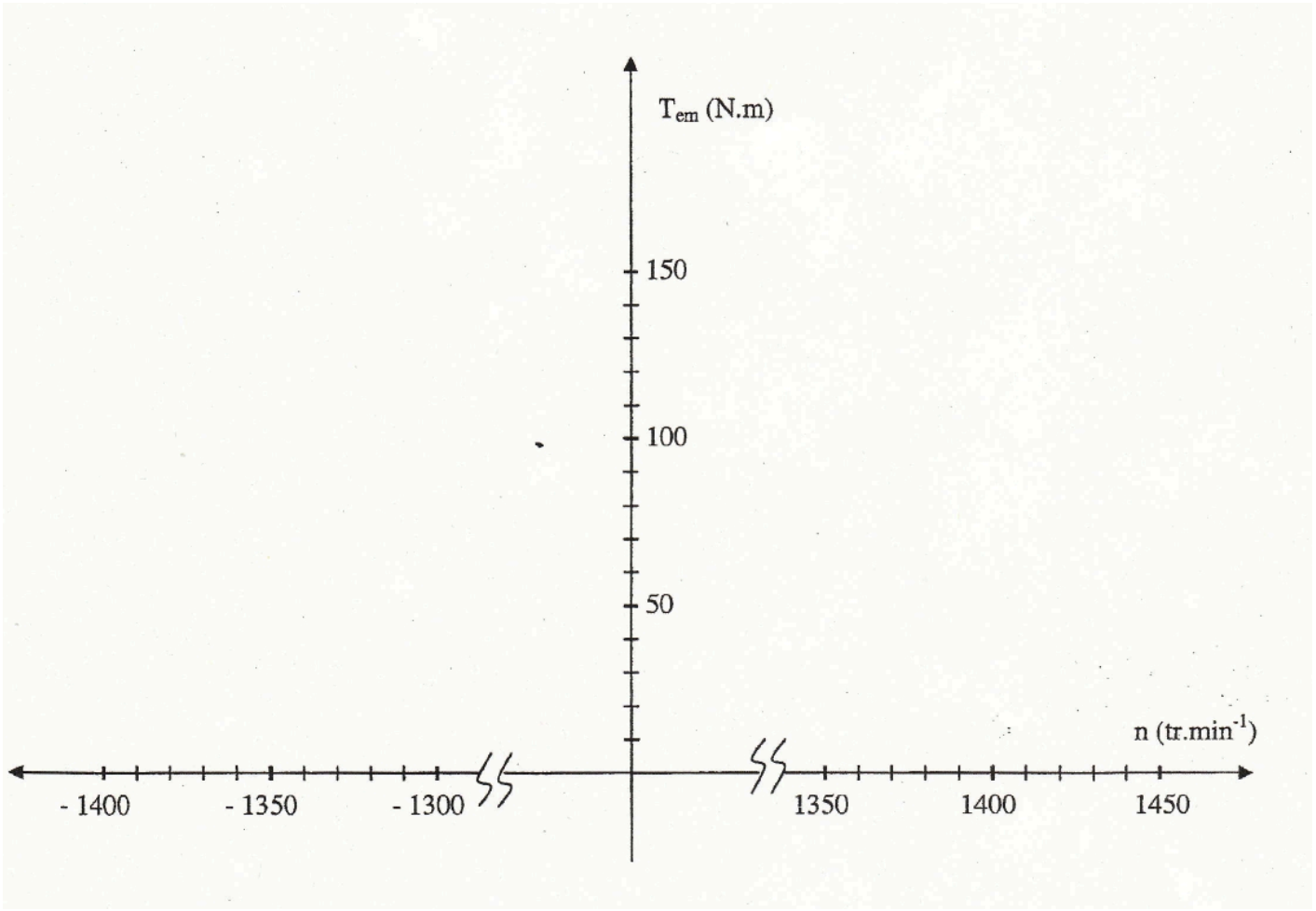
B.3.2.3. Sur le **document réponse 1,** tracer la caractéristique T'_{em} =f(n') pour un fonctionnement en descente.

B.3.2.4. Déterminer la vitesse de synchronisme n'_S .

B.3.2.5. Calculer la fréquence de sortie f' du variateur.

B.3.2.6. Montrer que le glissement g', correspondant à la descente à vitesse constante définie ci-dessus, vaut g' = - 2,4%.

B.3.2.7. Calculer la puissance transmise P_{tr}' pour la descente à vitesse constante définie ci-dessus.



Caractéristiques à V/f=constante

1Exercice 20: BTS Etk 2008 Métro : Jeux d'eau au château de Versailles(Solution 20:)

Afin de commander un servomoteur de vanne, un moteur asynchrone est nécessaire.

Le domaine des machines de petites puissances est très différent de celui des machines de fortes puissances et les valeurs numériques ont des ordres de grandeurs très différents de ceux auxquels nous sommes habitués pour les plus fortes puissances, en particulier les valeurs des rendements.

La machine asynchrone triphasée choisie est couplée en étoile et a un point nominal défini par les valeurs suivantes :

P_{un} = 60W ; n_n = 1400tr/min ; U_n=400V ; f = 50Hz ; I_n =0,3A ; cosϕ = 0,8.

Elle possède deux paires de pôles.

B.2.1. Quelle est la valeur du glissement g_N ?

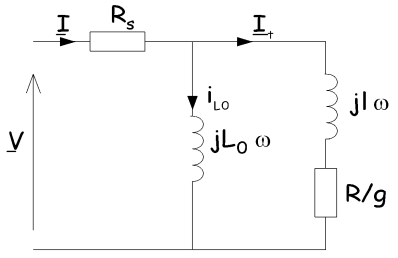
B.2.2. Que doit-on prévoir au niveau de l'alimentation pour permettre rotation dans les deux sens ?

B.2.3. Calculer la valeur du moment du couple utile C_{MAS}

B.2.4. Calculer les valeurs des puissances active P_a et réactive Q_a absorbée par la machine asynchrone au point nominal.

B.2.5. Calculer le rendement de la machine asynchrone.

La boucle de régulation de la position de la vanne impose au moteur des démarrages fréquents pendant les régimes transitoires. Pour calculer le courant de démarrage, utilisons le schéma équivalent par phase de la machine asynchrone :



R_S = 118 Ω
$L_0ω$ = 1225 Ω
lω = 267 Ω
R = 145 Ω

B.2.6. Que représentent les grandeurs R_S, R, lω et $L_o\omega$?

B.2.7. Que vaut le glissement au démarrage de la machine asynchrone ?

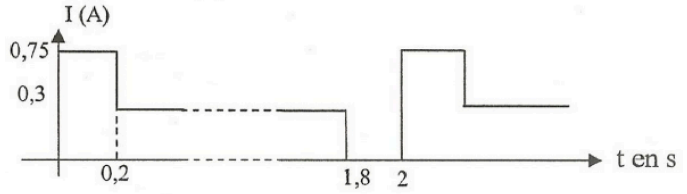
B.2.8. On se propose de calculer la valeur efficace du courant de démarrage, noté I_d, de la machine asynchrone, démarrage effectué sous tension nominale.

B.2.8.1. Déterminer l'impédance équivalente $\underline{Z}$ à la branche formée par R/g et lω pour le démarrage.

B.2.8.2. On remplace les deux branches formées par $L_o\omega$ et l'impédance précédemment calculée par une impédance $\underline{Z}_e$ équivalente dont on donne l'expression $\underline{Z}_e$ =96,6+j229. En déduire la valeur de l'impédance totale $\underline{Z}_{eT}$ équivalente à l'ensemble du schéma.

B.2.8.3. Calculer la valeur de I_d.

B.2.9. Soit un cycle de fonctionnement pour lequel les variations de la valeur efficace du courant en fonction du temps sont représentées :



Compte tenu de ces démarrages, calculer la valeur efficace équivalente de I sur un cycle.

B.2.10. Quelle est la conséquence de ce type de fonctionnement sur l'échauffement du moteur ?

B.2.11. Calculer le nombre de démarrages par heure correspondant à ce cycle.

1Exercice 21 : BTS Etk 2007 Nouméa : Etude d'une station de pompage autonome(Solution 21 :)

Le moteur asynchrone triphasé à cage entraînant la pompe a les caractéristiques nominales ci-dessous :

Fréquence	Vitesse	Puissance utile	Rendement
f = 50 Hz	N = 2900 tr/min	P_u = 1100 W	η = 90%.

On néglige les pertes mécaniques.

A.1.1 - Donner la valeur :

- de la vitesse de rotation nominale Ω (en $rads^{-1}$)
- de la vitesse de synchronisme Ω_S (en $rad.s^{-1}$)
- du glissement nominal g
- du moment du couple électromagnétique T_e nominal
- de la puissance absorbée par le moteur P_{abs} en conditions nominales

A.1.2 - La caractéristique mécanique de la pompe est $Tr = 4.10^{-5}.\Omega^2$. Lorsque la vitesse est nominale, que vaut le moment du couple résistant T_r,? Vérifier que le moteur fonctionne bien dans les conditions nominales lorsqu'il entraîne cette pompe.

1Exercice 22: BTS Etk 2006 Métro : Motorisation d'un tramway(Solution 22:)

Il s'agit d'un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage dont les enroulements statoriques sont couplés en étoile.

Caractéristiques nominales du moteur

- Tension nominale entre phases : U_N = 585 V
- Fréquence statorique nominale : f_N = 88 Hz
- Intensité nominale du courant statorique : I_N = 35,4 A
- Facteur de puissance nominal : $\cos\phi_N$ = 0,732
- Fréquence nominale de synchronisme : Ns = 2640 $tr.min^{-1}$
- Fréquence nominale de rotation du rotor : N_N = 2610 $tr.min^{-1}$

Dans ce qui suit, on néglige : - les résistances et inductances de fuites statoriques ;
- les pertes dans le fer ;
- les pertes mécaniques.

A.1 - Etude du fonctionnement nominal du moteur

A.1.1 - Déterminer le nombre p de paires de pôles du moteur sachant que la fréquence statorique nominale est f_N = 88 Hz.

Pour le point nominal de fonctionnement :

A.1.2 - Calculer le glissement g_N.

A.1.3 - Calculer la puissance électrique P_N absorbée par le moteur et préciser la valeur de la puissance électromagnétique P_{TrN} transmise au rotor.
A.1.4 - Calculer le couple électromagnétique C_N.
A.1.5 - Exprimer les pertes par effet Joule au rotor p_{Jr} en fonction de P_{Tr}. Calculer p_{JrN}.
A.1.6 - Calculer la puissance utile P_{UN} développée par le moteur.

A.2 - Expression simplifiée du moment du couple électromagnétique
Pour chaque phase du moteur, on adopte le modèle équivalent monophasé simplifié de la figure 2.

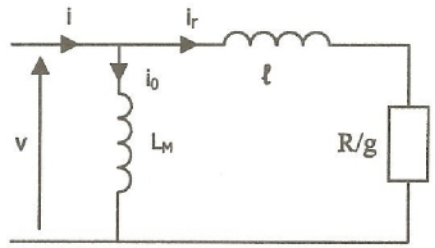


figure 2

-R/g est la résistance modélisant le transfert de puissance active au rotor
L_M est l'inductance magnétisante
ℓ est l'inductance totale de fuites vue du stator
g est le glissement
v est une tension simple du réseau d'alimentation de valeur efficace V
i est l'intensité du courant de ligne

On donne L_M=26,6mH ℓ=2,38mH R=0,147 Ω

A.2.1 - Calculer, sous alimentation nominale (V = 338 V et f = 88 Hz), la valeur efficace I_o du courant i_0.
A.2.2 - A partir du modèle équivalent monophasé de la figure 2, exprimer la valeur efficace I_r du courant i_r en fonction de V, ℓω, R et g.
A.2.3 - Montrer que pour les faibles valeurs du glissement (g « 1), la relation précédente devient : $I_r = \frac{V}{R} \cdot g$
A.2.4 - Exprimer la puissance transmise au rotor P_{Tr} en fonction de I_r et de $\frac{R}{g}$
A.2.5 - En déduire alors que, pour les faibles valeurs du glissement, le moment du couple électromagnétique s'écrit : C = K.g
Exprimer K en fonction de la tension efficace V, de la résistance R et de la vitesse de synchronisme Ω_S exprimée en $rad.s^{-1}$. Calculer la valeur numérique de K sous alimentation nominale (V = 338 V et f = 88 Hz).

A.3 - Fonctionnement en traction
On envisage le cas où le moteur développe un couple électromagnétique C = 170 N.m en fonctionnant sous alimentation nominale (V = 338 V et f = 88 Hz).
On supposera le glissement faible et on admettra les résultats suivants :

I_0=23A $\quad I_r = \frac{V}{R} \cdot g \quad$ C=8433.g

A.3.1 - Déterminer la valeur du glissement correspondant au fonctionnement étudié.
A.3.2 - En déduire la valeur de la fréquence de rotation du rotor N en $tr.min^{-1}$.
A.3.3 - Déterminer la valeur de I_r.
A.3.4 - On note ϕ_r le déphase de I_r par rapport à la tension simple v prise comme référence des phases. En se reportant au modèle équivalent monophasé de la figure 2, exprimer tanϕ en fonction de ℓω et de $\frac{R}{g}$. En déduire que $\phi_r \approx 10,2°$.
A.3.5 - La tension simple v étant toujours choisie comme référence des phases, dessiner les vecteurs de Fresnel $\overrightarrow{I_0}$ et $\overrightarrow{I_r}$ associés aux courants i_o et i_r (on adoptera l'échelle 5 A / cm).
A.3.6 - En déduire la construction du vecteur de Fresnel $\overrightarrow{I}$ associé à i.
A.3.7 - Déterminer alors graphiquement la valeur efficace I et le déphasage ϕ de i par rapport à v.
A.3.8 - Calculer la puissance électrique P reçue par le moteur dans ce cas de fonctionnement.

1Exercice 23: BTS Etk 2005 Nouméa : Amélioration du fonctionnement d'une scie (Solution 23:)

Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 400 V - 50 Hz.
Les principales caractéristiques de la machine sont fournies par le constructeur :

- Alimentation 230 V / 400 V - 50 Hz
- Puissance utile nominale Pu = 22 kW
- Fréquence de rotation nominale 1455 tr/min
- Rendement nominal 93,3 %
- Facteur de puissance nominal 0,85
- Pertes mécaniques négligeables
- Pertes fer rotoriques négligeables
- Résistances et inductances de fuite statoriques négligeables.

A. ÉTUDE DE LA MACHINE ASYNCHRONE.

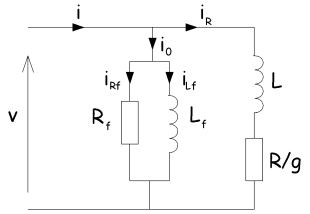
A.1. Fonctionnement électromécanique de la machine asynchrone.

A.1.1. Calculer le nombre p de paires de pôles de la machine asynchrone.
A.1.2. Calculer, la valeur du glissement g au fonctionnement nominal.
A.1.3. Calculer la puissance absorbée nominale P_{an}.
A.1.4. Exprimer P_{an} en fonction de V, valeur efficace d'une tension simple, I_n, valeur efficace de l'intensité nominale du courant dans un fil de ligne, et du facteur de puissance nominal de la machine.
A.1.5. Calculer I_n, valeur efficace nominale de l'intensité du courant dans un fil de ligne.
A.1.6. Calculer la valeur du couple utile nominal C_{un}.

A.2. Modèle équivalent d'une phase du stator de la machine asynchrone.

La figure 1 représente le schéma équivalent d'une phase du stator

v est une tension simple d'une phase du réseau, de pulsation ω_s



On posera $X = L.\omega_s$ et $X_f = L_f.\omega_s$

Figure 1

A.2.1. On a réalisé un essai à vide sous tension nominale, la scie étant désaccouplée du moteur. Les mesures ont donné :

- puissance absorbée : P_{ao} = 900 W
- intensité du courant dans une phase du stator : I_0 = 10,2 A
- facteur de puissance : cos ϕ_o = 0,128
- glissement pratiquement nul

a) Calculer les valeurs de R_f et de $X_f = Lf.\omega_s$. Préciser le rôle de ces deux éléments dans le schéma équivalent.

b) Calculer les valeurs efficaces I_{Rf} et I_{Lf} des intensités i_{Rf} et i_{Lf} .

A.2.2. Le moteur fonctionne dans les conditions nominales. Tracer les vecteurs représentant les courants i, i_{Rf}, i_{Lf}, et i_R (On prendra comme échelle 1 cm pour 4 A et V pour origine des phases).
Déduire du diagramme la valeur efficace I_R du courant i_R.
A.2.3. Calculer la valeur de la puissance P_{tr} transmise au rotor.
A.2.4. Exprimer P_{tr}, en fonction de R, g, et I_R.
A.2.5. Calculer la valeur de R.
A.2.6. Exprimer I_R en fonction de V, R, g et X.
A.2.7. Calculer la valeur de $X = L\omega_s$.

Pour la suite du problème on prendra R = 0, 188 Ω et X = 2,16 Ω.

A.2.8. Lors d'un démarrage direct sous pleine tension et en négligeant la valeur de I_0 devant I_R, calculer I_{dem}, valeur efficace de l'intensité du courant i absorbé au démarrage.

A.3. Couple électromagnétique

A.3.1. Exprimer le moment du couple électromagnétique C_e en fonction de p, P_{tr} et ω_s.
A3.2. Exprimer P_{tr}, en fonction de V, R, g, et X.

A.3.3. Montrer que C_e peut se mettre sous la forme suivante :

$$C_e = 3p\left(\frac{R}{g\omega_s}\right)\frac{V^2}{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + X^2}$$

A.3.4. Vérifier que Ce peut s'écrire de la façon suivante :

$$C_e = 3{,}59\cdot 10^{-3}\,\frac{V^2}{\frac{35{,}3\cdot 10^{-3}}{g} + 4{,}66\times g}$$

A.3.5. Calculer la valeur du couple électromagnétique C_{edem} disponible au démarrage si V = 230V.
A.3.6. Calculer la valeur du glissement g_{max} pour lequel le couple électromagnétique est maximal ?
A.3.7. Calculer la valeur maximale C_{emax} du couple électromagnétique si V = 230 V.
A.3.8. Tracer, sur le document réponse n° 1, figure 7, l'allure de la courbe C_e (g), g variant de 0 à 1.

B. Démarrage et arrêt avant modification de la scie.

Lors d'un cycle de fonctionnement, la scie démarre grâce à l'ajout de résistances R_{h2} mises en série avec les enroulements rotoriques (figure 2). L'arrêt est obtenu en roue libre, l'alimentation du stator étant coupée et la scie désengagée de la bille de bois.

B.1. Démarrage

Le stator est alimenté directement par le réseau 400V - 50 Hz.

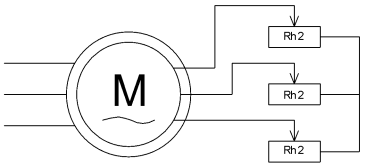


Figure 2

B.1.1. Lors du démarrage, trois résistances R_{h2r} sont insérées en série avec les enroulements du rotor (figure 2). L'insertion de ce rhéostat au rotor a pour effet d'augmenter la valeur de la résistance R présente dans le schéma équivalent de la figure 1 en lui donnant une nouvelle valeur R'.
La valeur maximale de I_R au démarrage est de 40 A. Calculer R'.
B.1.2. Quelle est, dans ces conditions, la nouvelle valeur du couple électromagnétique de démarrage C_{edem} ?
B.1.3. Porter, sur le document réponse n°1, figure 7, le point figuratif du démarrage correspondant à ce fonctionnement.

B.2. Arrêt

Un enregistrement de la fréquence de rotation du rotor a été fait pendant la phase d'arrêt (figure 3), la scie étant accouplée de la machine asynchrone mais désengagée de la bille de bois. Le ralentissement de l'ensemble est principalement dû aux différents frottements mécaniques que l'on modélise par un couple résistant total C_R que l'on considérera comme constant.

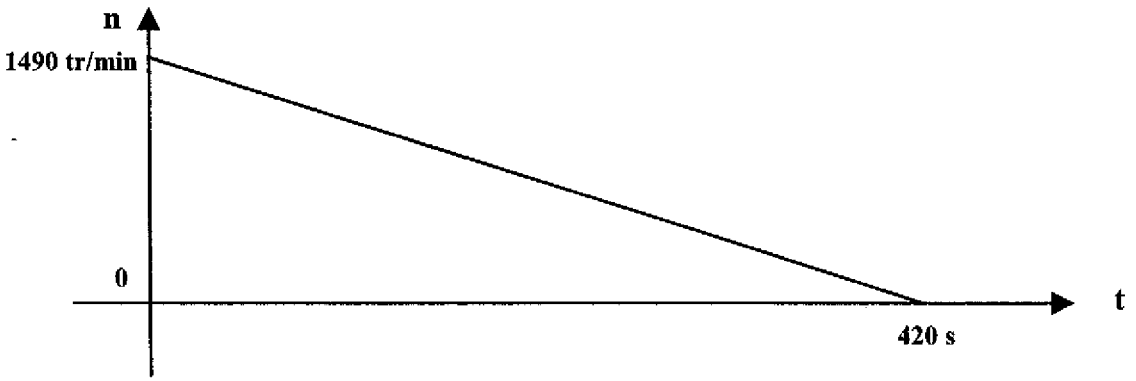


Figure 3

B.2.1. Ecrire la loi de la dynamique régissant la variation de la vitesse Ω en fonction du moment d'inertie J et du couple résistant total C_R pendant la phase d'arrêt.

B.2.2. La valeur du moment d'inertie de l'ensemble des parties tournantes est J = 21,5 kg.m^2. Calculer la valeur du couple résistant total C_R, sachant que la fréquence de rotation initiale est n = 1490 tr/min.

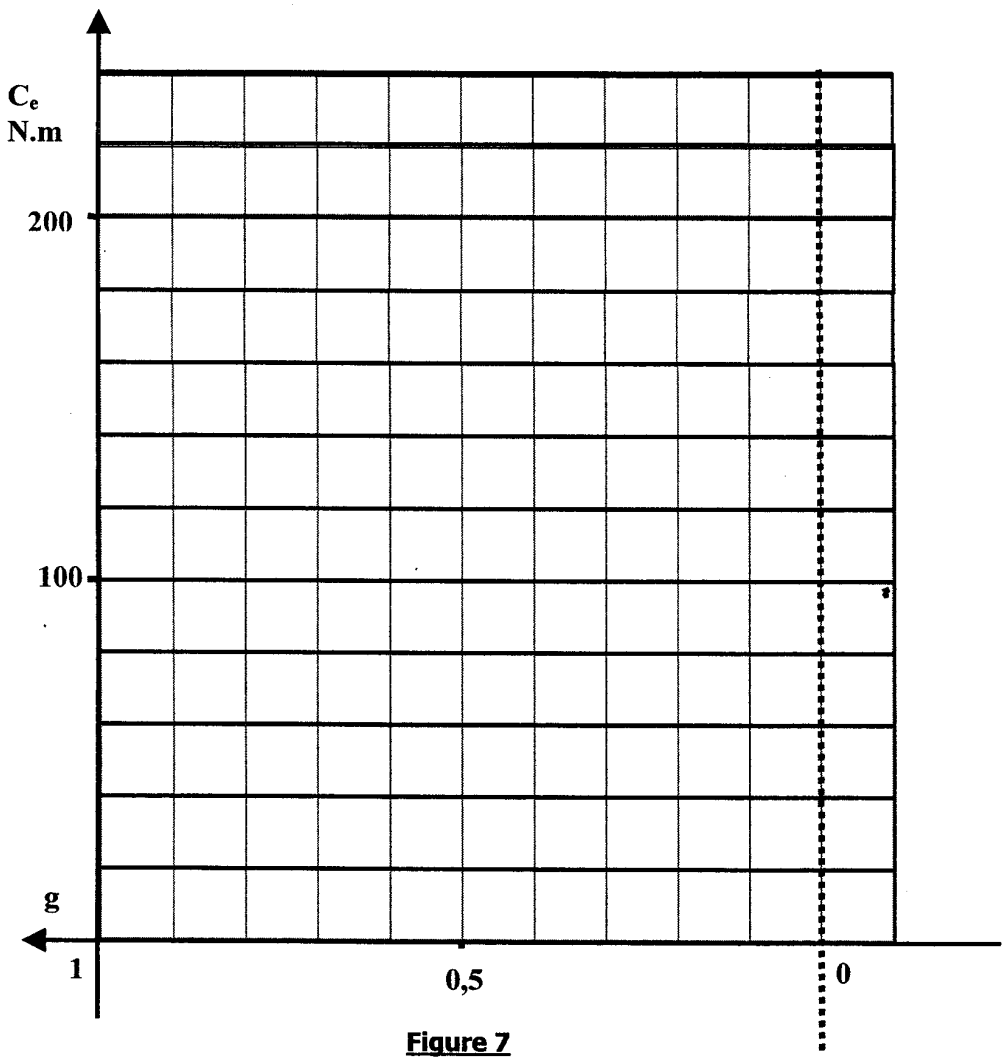


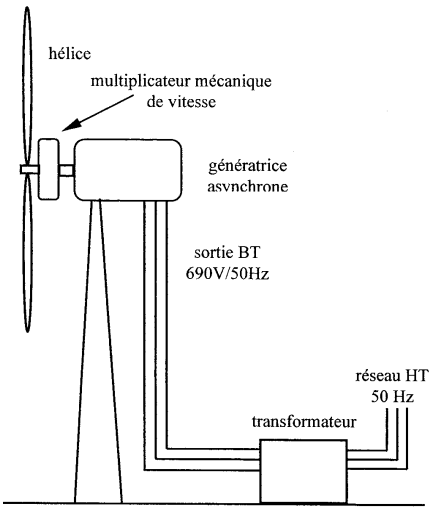
Figure 7

1Exercice 24: BTS Etk 2004 Nouméa : générateur éolien (Solution 25:)

Le générateur éolien étudié ici est constitué d'une hélice à trois pales (diamètre 47 m) placée au sommet d'un mât (hauteur 40 m). Elle tourne à une vitesse de 30 tr/min environ et entraîne, par l'intermédiaire d'un multiplicateur mécanique de vitesse une génératrice asynchrone tétrapolaire fonctionnant au voisinage de sa vitesse de synchronisme (1500 tr/min).

L'éolienne est conçue pour exploiter des vents dont la vitesse est comprise entre 15 km/h et 90 km/h. En deçà, la vitesse du vent est insuffisante pour assurer la production d'électricité, au delà, on arrête l'éolienne pour des raisons de sécurité.

Nous examinerons ici quelques aspects de la transformation d'énergie mécanique en énergie électrique par la génératrice asynchrone, d'abord reliée à un réseau triphasé (figure ci-contre), puis fonctionnant sur un site isolé



Les différentes parties du problème sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

DANS TOUT LE PROBLEME, LA MACHINE ASYNCHRONE SERA EN CONVENTION RECEPTEUR : AINSI, LORSQUE LA GENERATRICE FOURNIT DE L'ENERGIE, SA PUISSANCE PREND UNE VALEUR NÉGATIVE.

A. PREMIÈRE PARTIE: GÉNÉRATRICE RELIÉE AU RÉSEAU 50 Hz

A.I. Étude du fonctionnement nominal de la génératrice

Le constructeur fournit les valeurs suivantes, pour le fonctionnement nominal en génératrice :

- puissance électrique nominale : P = - 660 kW
- tension nominale entre phases : U = 690 V / 50 Hz
- machine tétrapolaire (p = 2), enroulements couplés en étoile (Y)
- vitesse nominale : n = 1530 tr/min
- déphasage courant / tension pour une phase : ϕ= 152°
- pertes fer stator sous la tension nominale : P_{fs} = 4,0 kW
- pertes mécaniques à la vitesse nominale : P_m = 3,0 kW

La résistance mesurée entre deux phases du stator lors d'un essai en continu est R_A = 9,6 mΩ.
Pour le point nominal de fonctionnement, calculer :

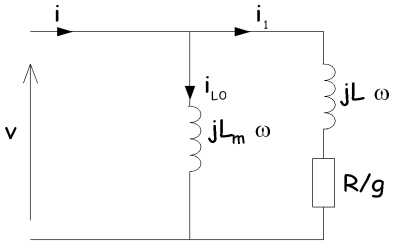
A.I.1. le glissement g de la machine,
A.I.2. la valeur efficace du courant nominal I_n débité,
A.I.3. les pertes par effet Joule P_{js} au stator,

on adopte maintenant la valeur P_{js} = 5,6 kW

A.I.4. la puissance électromagnétique P_{em} et les pertes par effet Joule au rotor P,r,
A.I.5. la puissance mécanique P_{mec} effectivement transformée et la puissance mécanique totale P_a apportée par l'hélice.
A.I.6. Compléter le document réponse DR1 en indiquant les noms des différentes puissances et pertes, ainsi que leurs valeurs numériques. En déduire le rendement de la génératrice.
A.I.7. Quelle est la fréquence des courants rotoriques ?
A.I.8. Pourquoi peut-on négliger les pertes ferromagnétiques au rotor ?
A.I.9. Calculer le couple exercé par l'éolienne sur l'arbre de la machine et vérifier que le couple électromagnétique vaut T_{em} = - 4260 N.m

A.II. Modélisation de la machine

Dans cette partie, les pertes statoriques et mécaniques sont négligées. On admet alors que le modèle électrique de la génératrice fonctionnant en régime sinusoïdal est donné pour une phase par le schéma de la figure 2 (ce schéma est en convention récepteur).



- X_m est la réactance magnétisante,
- X est la réactance du rotor ramenée au stator,
- R est la résistance du rotor ramenée au stator,
- g est le glissement de la machine,
- v, tension simple du réseau, a pour valeur efficace V.

Deux essais ont été effectués pour déterminer les éléments du schéma équivalent.

⇒ *essai à vide :* la machine alimentée sous la tension nominale U = 690 V tourne pratiquement à la vitesse de synchronisme. Elle absorbe un courant de 215 A.

A.II.1. Calculer la valeur de la réactance magnétisante X_m

⇒ *essai à rotor bloqué : la* machine est alimentée par la tension réduite U_{CC} = 103 V, elle absorbe un courant de 590 A et consomme une puissance de 13,2 kW.

A.II.2. Déterminer les valeurs de X et de R. On pourra négliger la réactance magnétisante.

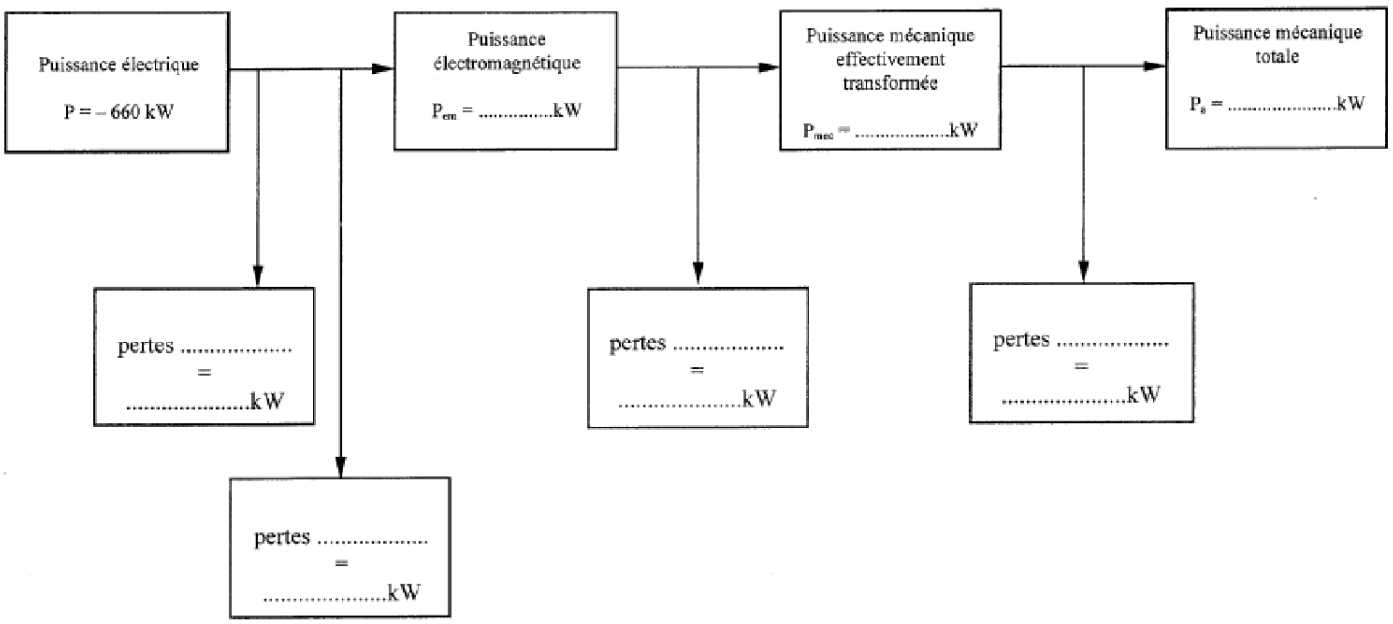
On adoptera pour la suite les valeurs X. = 1,85 Ω ; X = 106 mΩ et R = 14 mΩ,

A.II.3. Exprimer la puissance mise en jeu dans la résistance R/g en fonction de V, X, R et g. En déduire l'expression de la puissance électromagnétique de la machine.
A.II.4. En déduire l'expression du couple électromagnétique qu'on mettra sous la forme :

$$T_{em} = \frac{K}{\frac{a}{g} + bg}$$ (avec a=R²)

Expliciter les expressions de K et b puis vérifier les valeurs numériques: K = 42,4 U.S.I., a = 2.10^{-4} U.S.I. et b = 11.10^{-3} U.S.I.
A.II.5. En fonctionnement normal, le glissement est toujours inférieur à 5% en valeur absolue. Proposer dans ce cas une simplification de l'expression du couple électromagnétique, donner alors l'expression simplifiée littérale puis numérique de Tem en fonction de g.

A.II.6. Tracer la courbe Tem(g) pour des valeurs de glissement comprises entre - 0,03 et + 0,03.
A.II.7. Déterminer le couple électromagnétique pour la vitesse nominale de fonctionnement (1530 tr/min) et comparer à la valeur obtenue en A.I.9.



1Exercice 25: BTS Etk 2004 Métro (Production d'électricité avec une éolienne)(Solution 25:)

Une éolienne de puissance nominale 300 kW alimente un site isolé (une île) en électricité.
Son rotor équipé de trois pales longues de 15 m est situé à l'extrémité d'un mât haut de 40 m. Elle peut fournir sa puissance nominale quand la vitesse du vent est comprise entre 50 km/h et 80 km/h ce qui est souvent le cas sur ce site.

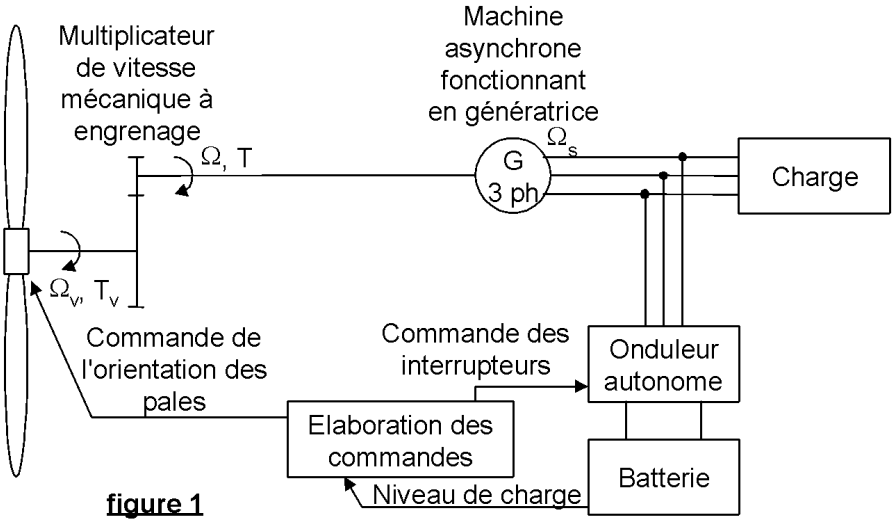


figure 1

Les pales de l'éolienne mises en mouvement par le vent entraînent le rotor d'une machine asynchrone par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesse à engrenage.

Les enroulements du stator de la machine asynchrone sont soumis à un système triphasé de tensions produit par un onduleur autonome alimenté par une batterie.
L'onduleur impose donc la fréquence de synchronisme de la machine.

L'énergie électrique absorbée par la charge est fournie par la machine asynchrone qui fonctionne en génératrice quand le couple exercé par le vent sur les pales du rotor suffit.
La vitesse de rotation des pales Ω_v est imposée par la machine asynchrone au glissement près.
Le couple T_v exercé par les pales sur l'axe du rotor dépend de la vitesse du vent. Un système de contrôle l'ajuste en fonction des besoins en puissance en agissant sur l'orientation des pales.

Dans le cas où la vitesse du vent est insuffisante, la batterie prend le relais de la génératrice pour assurer la continuité de service.

L'onduleur doit être réversible en courant pour que la batterie puisse être rechargée.

Partie A - **Etude de la machine asynchrone fonctionnant en moteur**

Il s'agit uniquement dans cette partie d'élaborer le schéma électrique équivalent d'une phase de la machine asynchrone ***en fonctionnement moteur*** à partir des informations délivrées par le constructeur.

Caractéristiques nominales du moteur

- 4 pôles (p = 2), rotor à cage
- alimentation 230 V / 400 V - 50 Hz
- puissance utile nominale : P_u = 300 kW
- vitesse nominale N = 1485 tr.min^{-1}
- rendement nominal η = 96 %
- les pertes mécaniques sont supposées constantes et égales à p_m = 1,0 kW.
- les pertes fer rotoriques et les pertes Joule statoriques sont négligées.

A.1 - Questions préliminaires

A.1.1 - Calculer la vitesse de synchronisme quand la machine est alimentée par le réseau 50 Hz. Exprimer cette grandeur en rad.s^{-1}, (notée Ω_s), puis en tr.min^{-1}, (notée N_s).
En déduire la valeur nominale du glissement.

A.1.2 - Compléter le diagramme des puissances sur le ***document réponse n°1*** en faisant apparaître les puissances ci-dessous :

- Puissance utile . . . . . $P_u = T_u.\Omega$
- Puissance transmise au rotor . . $P_{tr} = T_e.\Omega_s$
- Puissance mécanique . . . . . $P_M = T_e.\Omega$
- Puissance absorbée . . . . . P_{abs}
- Pertes joule dans le rotor . . . . . p_{jr}
- Pertes mécaniques . . . . . p_m
- Pertes fer statoriques . . . . . p_f

A.2 - Calcul des couples nominaux

A.2.1 - Calculer le moment du couple utile nominal T_u.
A.2.2 - Calculer le moment du couple de pertes mécaniques T_m.
A.2.3 - Calculer le moment du couple électromagnétique nominal T_e.

A.3 - Calcul des puissances nominales

A.3.1 - Calculer la puissance nominale transmise au rotor P_{tr}. En déduire les pertes par effet Joule au rotor p_{jr}.
A.3.2 - Calculer la puissance active absorbée par le moteur P_{abs}. En déduire les pertes fer p_f.

A.4 - Modèle électrique équivalent d'une phase de la machine asynchrone

On admet qu'on peut modéliser chaque phase de la machine asynchrone fonctionnant en moteur par le schéma électrique suivant.

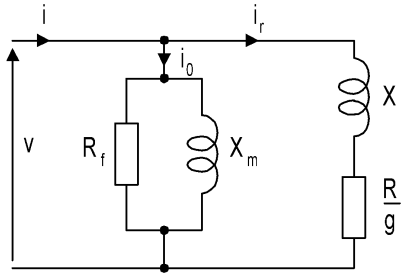


figure 2

R_f modélise les pertes fer
X_m est la réactance magnétisante du stator
R est la résistance du rotor ramenée au stator
X est la réactance totale de fuites vue du stator
g est le glissement

v est une tension simple du réseau de valeur efficace V = 230 V et de fréquence 50 Hz.
i est l'intensité du courant de ligne ; i_r est l'intensité du courant rotorique ramené au stator.

On se propose de vérifier la cohérence de ces valeurs avec les résultats obtenus précédemment.

A.4.1 - Exprimer les pertes fer statoriques p_f en fonction de R_f et V. En déduire la valeur de R_f.

Dans la suite du problème, on prendra les valeurs approchées suivantes :
R_f = 19 Ω X_m = 1,3 Ω X = 0,13 Ω R = 5,0 mΩ

A.4.2 - Exprimer la valeur efficace I_r du courant i_r en fonction de V, X, R et g. Donner sa valeur numérique pour g = 1%.

A.4.3 - La puissance nominale transmise au rotor P_{tr} a pour expression $P_{tr} = 3 \cdot \frac{R}{g} \cdot I_r^2$. Calculer la valeur de P_{tr} pour g = 1%. Comparer avec la valeur calculée en **A.3.1**.

Partie B - **Machine fonctionnant en génératrice hypersynchrone**

Le stator de la machine asynchrone est alimenté par un système triphasé de tensions 230 V / 400 V – 50 Hz.

Le rotor est entraîné en rotation par les pales de l'éolienne par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesse mécanique dont le **rapport de multiplication m est égal à 35**.

Conventions de signe

On conserve les conventions de signes représentées sur le schéma (figure 2) du modèle équivalent par phase de la machine (convention récepteur).
Quand l'éolienne fonctionne normalement, **la machine fonctionne en génératrice** : elle fournit de la puissance active qui prend alors une valeur négative.
Les vitesses de rotation restant positives, **les moments des couples deviennent négatifs**.

B.1 - **Vitesse et glissement en condition nominale**

Dans les conditions de fonctionnement nominal, la vitesse de rotation des pales est N = 43,3 $tr.mn^{-1}$.

B.1.1 - Déterminer la vitesse de rotation N du rotor de la machine asynchrone.

B.1.2 - En déduire la valeur du glissement g. Justifier l'appellation génératrice hypersynchrone.

B.2 - **Caractéristique couple - vitesse de la machine**

B.2.1 - On rappelle deux expressions de la puissance transmise au rotor :

$P_{tr} = T_e.\Omega_s$ et $P_{tr} = 3 \cdot \frac{R}{g} \cdot I_r^2$.

Quand le glissement est très faible (g<<1), on peut faire l'approximation : $I_r \cong \frac{gV}{R}$.
En déduire une expression approchée du couple électromagnétique T_e en fonction de Ω, Ω_s, V et R.
Calculer la valeur numérique de T_e pour les valeurs suivantes de Ω : 0,99 Ω_s ; Ω_s ; 1,01 Ω_s.

B.2.2 - La caractéristique couple vitesse est tracée sur le ***document réponse n°1***. Tracer sur le même graphique la caractéristique approchée valable quand g << 1.

B.2.3 - Repérer sur cette courbe par une croix, le point correspondant aux conditions de fonctionnement nominal de l'éolienne.

B.3 - **Application**

Le bilan des puissances pour l'ensemble constitué du multiplicateur de vitesse et de la machine asynchrone, obtenu à l'occasion d'un essai, a donné :

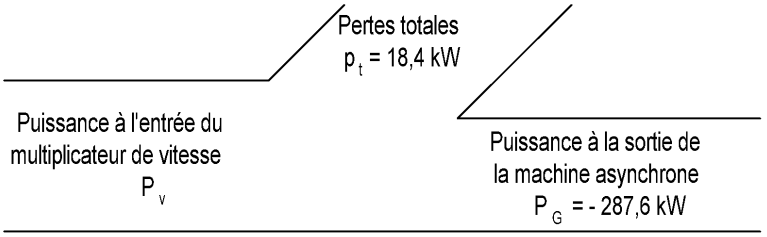


figure 3

B.3.1 - Calculer la puissance P_v à l'entrée du multiplicateur de vitesse.

B.3.2 - Montrer, en utilisant les relations fournies en **B.2.1** que le glissement a pour expression approchée :

$$g \cong \frac{T_e.\Omega_s.R}{3.V^2}$$.

En déduire une valeur approchée du glissement sachant que T_e = -1882 N.m.

B.3.3 - Montrer que la valeur efficace I_r de i_r est voisine de 428 A.

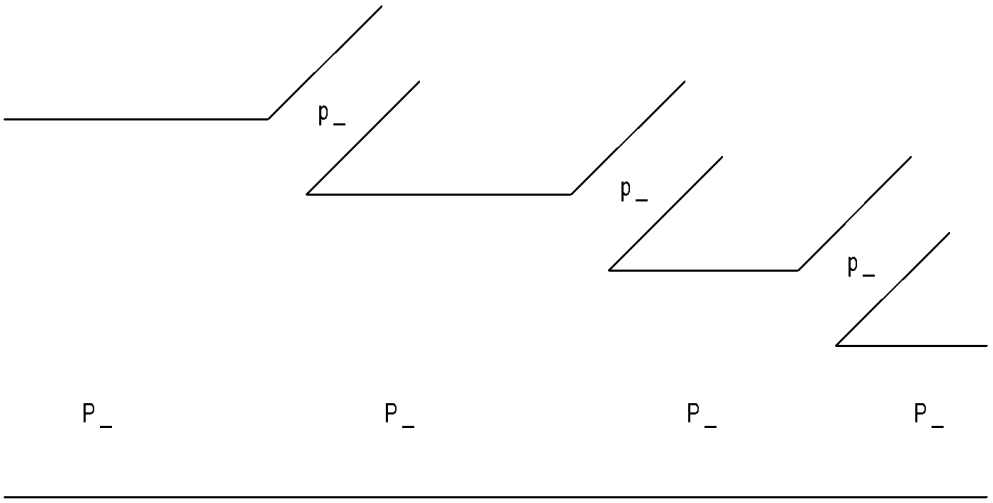
B.3.4 - Donner l'expression de la puissance réactive Q_G consommée par la machine asynchrone en fonction de V, I_r, X_m et X. Donner sa valeur numérique.

B.3.5 - Calculer la puissance apparente S_G mise en jeu dans la machine. En déduire le facteur de puissance de l'installation.

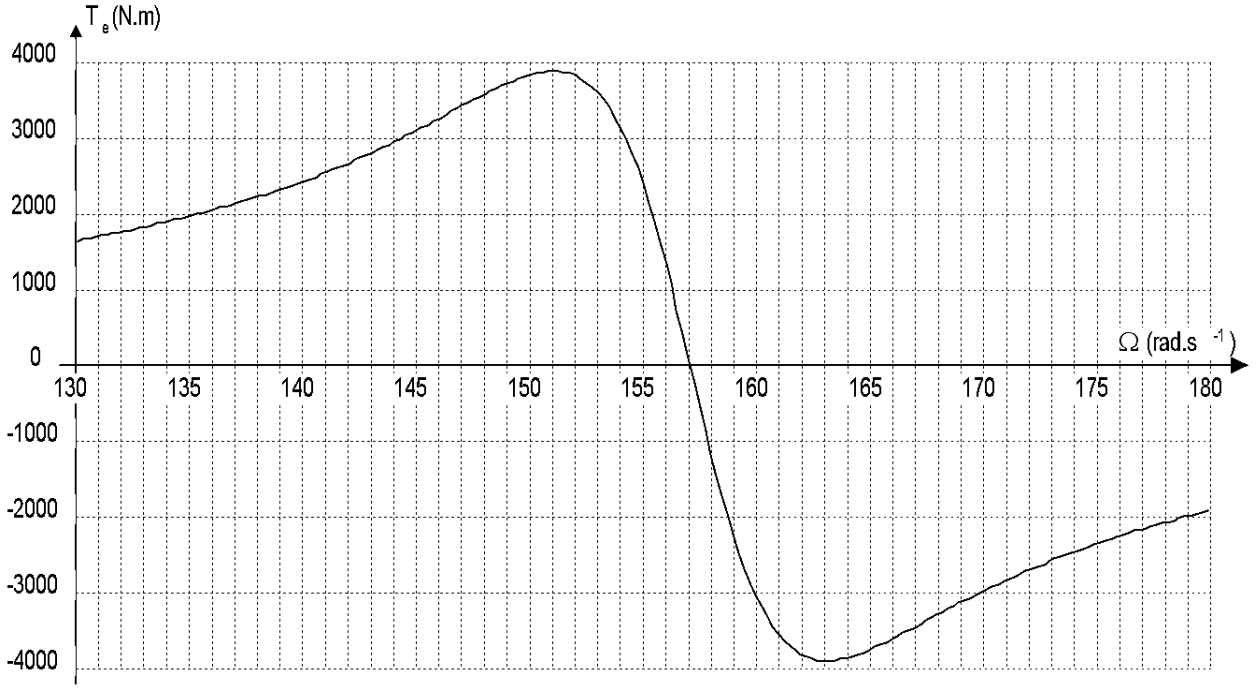
Quelle solution technologique permettrait d'améliorer ce facteur de puissance ?

Document réponse n°1

A.1.2 – Diagramme des puissances de la machine fonctionnant en moteur



B.2 – Caractéristique couple – vitesse de la machine



1Exercice 26: BTS Etk 2002 Nouméa (Etude d'une station de pompage)(Solution 26:)

Dans cette partie du sujet est étudié le moteur asynchrone effectuant le pompage, on fait le bilan des pertes du moteur afin de calculer son rendement au fonctionnement nominal ; on modélisera ensuite le moteur afin de calculer le couple au démarrage.

Sur la plaque signalétique du moteur asynchrone, on peut lire les indications suivantes :

Puissance utile nominale : 9,0 kW
Vitesse nominale: 1425 tr/min
Fréquence nominale : 50 Hz
Y : 400V –17 A
Δ : 230 V- 29 A

Sur cette machine, on réalise les essais suivants à 50 Hz :

A) Essai à vide, sous la tension nominale U_N = 400V :

- Courant absorbé : I_v = 7,0 A ;
- Puissance absorbée : P_v = 570W ;

Cet essai est réalisé à une vitesse très proche du synchronisme (le glissement est quasi nul), On admet en outre que les pertes mécaniques sont négligeables.

B) Essai avec rotor bloqué :

- Tension d'alimentation : U_{CC} = 71 V ;
- Courant par phase : I_{CC} = 17 A ;
- Puissance absorbée : P_{CC} = 603 W.

Dans tout le problème, on néglige :

- **les inductances de fuite et les résistances statoriques**
- **les pertes fer rotoriques**
- **les pertes mécaniques.**

1.1 Analyse des essais

1.1.1 Sachant que le moteur est alimenté par un réseau dont la tension entre phases a pour valeur efficace 400 V, comment doit-on coupler les enroulements statoriques du moteur ?

1.1.2 Donner (éventuellement sous la forme d'un diagramme) le bilan de puissance du moteur asynchrone étudié.

1.1.3 Rappeler la relation entre les pertes joule au rotor et la puissance transmise au rotor.

1.1.4 Pour le point de fonctionnement nominal, déterminer :

- les pertes fer stator, P_{fs} ;
- le glissement, g ;
- la puissance transmise au rotor, P_{tr} ;
- le couple électromagnétique, T_{em} ;
- les pertes joules rotoriques, P_{jr} ;
- la puissance absorbée, P_{abs}
- le facteur de puissance, f_p ;
- le rendement, η.

1.2 Modélisation

Pour chaque phase du moteur on adopte le modèle simplifié représenté à la figure 1.

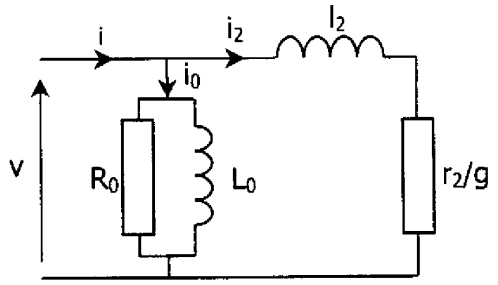


Figure 1

r_2 et l_2 représentent les résistance et inductance de fuites rotoriques ramenées au stator, g désigne le glissement. On notera $X_0 = L_0\omega$ et $X_2 = L_2\omega$ (ω désigne la pulsation des tensions d'alimentation).

1.2.1 Que devient le modèle lors de l'essai à vide ? (On rappelle que le glissement est alors négligeable). Calculer Ro et X_0.

1.2.2 En utilisant l'essai B à rotor bloqué et en négligeant I_0 devant I, déterminer une valeur approchée des autres éléments du modèle, soit r_2 et X_2.

1.3 Expression du moment du couple

Quelles que soient les valeurs trouvées précédemment, on prendra pour la suite :

$r_2 = 0{,}80\ \Omega$ et $l_2\omega = 2{,}5\ \Omega$.

1.3.1 Montrer à partir du modèle équivalent que le moment du couple électromagnétique en fonction de g s'exprime par :

$$T_{em} = \frac{3 \cdot V^2 \left(\frac{r_2}{g} \right)}{\Omega_s \times \left[\left(\frac{r_2}{g} \right)^2 + \left(l_2 \omega \right)^2 \right]}$$

avec Ω_s vitesse de synchronisme du moteur.

1.3.2 Calculer le moment du couple au démarrage, sous la tension nominale U_N.

1Exercice 27: BTS Etk 1998 Nouméa (Etude d'un monte charge)(Solution 27:)

principe de l'installation

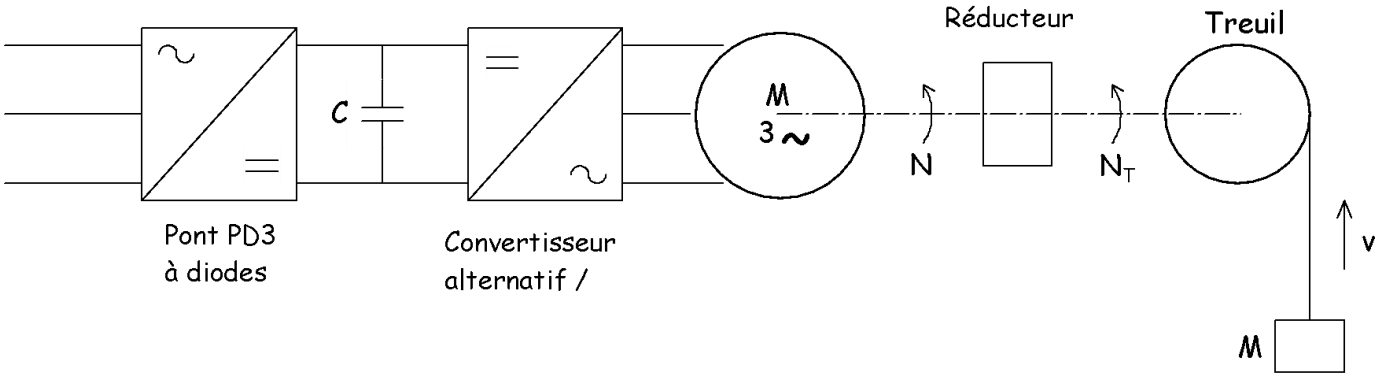


Figure 1

Le treuil sur lequel s'enroule le câble supportant la cabine du monte-charge est entraîné par l'intermédiaire d'un réducteur par une machine asynchrone à cage. Le stator de la machine est alimenté par un ensemble redresseur PD3 à diodes - condensateur de filtrage - convertisseur continu / alternatif.

I - Etude de la machine asynchrone

La plaque signalétique de la machine porte les indications suivantes :

220 V / 380 V - 50 Hz - 15 kW - 1440 $tr.min^{-1}$

La machine est alimentée par un système triphasé équilibré de tensions sinusoïdales de fréquence f ; on note V la valeur efficace des tensions simples et g le glissement.

On néglige toute saturation magnétique ainsi que les résistances et inductances de fuite statoriques.

1 - Donner le nombre p de paires de pôles de la machine.

2 - Le schéma équivalent par phase, entre phase et neutre, est représenté à la figure 2 ; il est utilisable quelle que soit la valeur de la tension V.

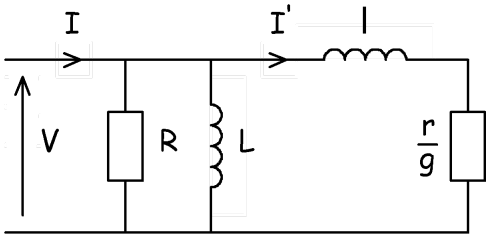


Figure 2

On a effectué sur la machine les essais suivants à la fréquence f = 50 Hz :

- **Essai n° 1** : la machine est entraînée à la vitesse de synchronisme ; sous tension V = 220 V, le courant de ligne a pour intensité efficace I_0 = 9,5 A et la puissance absorbée est P_0 = 630 W.
- **Essai n° 2** : le rotor de la machine est bloqué ; sous tension V_{cc} = 50 V, le courant de ligne a pour intensité efficace I_{cc} = 30 A et la puissance absorbée est P_{cc} = 830 W.

a - En utilisant l'essai n° 1, déterminer les valeurs des éléments R et L.

b - Dans l'essai n°2 :

- Calculer la puissance active consommée par R et la puissance réactive absorbée par L.
- En déduire les puissances actives et réactives absorbées par r et l puis les valeurs des éléments r et l.

On prendra les valeurs suivantes pour la suite du problème :

R = 230 Ω - r = 0,34 Ω - L = 74 mH - l = 5,6 mH

3 - Expression approchée du moment du couple électromagnétique (**en convention moteur**).

a - Donner l'expression littérale de l'intensité efficace I' du courant dans la résistance . En donner une expression approchée si $(gl\omega)^2$ est négligeable devant r^2.

b - Donner l'expression approchée du moment C_e du couple électromagnétique si $(gl\omega)^2 << r^2$.

c - Exprimer le glissement g en fonction de la vitesse de rotation N de la machine et de sa fréquence de synchronisme N_s.

d - En déduire que l'expression approchée du moment C_e du couple électromagnétique peut s'écrire :

Vérifier que $A = 94 \times 10^{-3}$ si C_e est exprimé en N.m, V en volts, f en Hz , N_s et N en $tr.min^{-1}$.

1Exercice 28: BTS Etk 1996 Métro Entraînement d'un ventilateur de tirage d'une chaudière (Solution 28:)

Le problème étudie l'entraînement d'un ventilateur contrôlant le tirage d'une chaudière de forte puissance équipant une usine de pâte à papier. La régulation de température de la chaudière se faisant en partie par action sur le tirage, le moteur du ventilateur doit être entraîné à vitesse variable.

La solution retenue est celle d'un moteur asynchrone triphasé.
La puissance utile nominale du moteur est égale à 160 kW.
Dans tout le problème, le fonctionnement envisagé fait que le facteur de puissance du moteur est constant ; on a cosϕ = 0,84.
La caractéristique mécanique moment du couple - vitesse du ventilateur obéit à la relation :

$$Tr = 0{,}00115.\ n^2 \quad (\ Tr \text{ en N.m et } n \text{ en tr.min}^{-1}\ ).$$

I - Commande du moment du couple du moteur asynchrone :

(Étude en régime sinusoïdal).
Le convertisseur statique alimentant le moteur se comporte comme un ensemble de 3 sources de courant constituant un système triphasé équilibré.
L'étude porte sur les propriétés du moteur asynchrone alimenté par des courants sinusoïdaux. Pour cela on représente chaque phase par le modèle électrique équivalent simplifié de la figure 1 où les fuites globalisées sont ramenées au stator.

Notations:
v : tension simple.
i : intensité du courant par phase.
ω : pulsation de ce courant.
l : inductance de fuites ramenées au stator.
L_m : inductance magnétisante par phase.
ω_r : pulsation des courants rotoriques.
R' : résistance permettant de modéliser la puissance transmise au rotor.
i_m : intensité du courant dans L_m.
i_r : intensité du courant dans R'.
e_r : tension aux bornes de R'.
p : nombre de paires de pôles du moteur : p = 3.
Ω : vitesse angulaire de rotation du moteur.
n : fréquence de rotation de l'ensemble tournant.

On néglige les pertes statoriques par effet Joule, les pertes dans le fer et les pertes mécaniques.

I.1- Étude des caractéristiques du moteur :

I.1.1. A partir des informations données à la page précédente, montrez que la fréquence de rotation nominale de ce moteur est $n_N \approx 1100$ tr.min-1.

I.1.2. Calculez le moment nominal T_N du couple moteur correspondant.

I.1.3. Relations générales :

a- Pour une pulsation ω des courants statoriques, rappelez l'expression de la vitesse angulaire de synchronisme Ω_S (le moteur a p paires de pôles).

b- Définissez le glissement g en fonction de Ω et Ω_S.

c- Donnez la relation entre ω_r, la pulsation des courants rotoriques, g et ω.

d- Montrez qu'il existe une relation entre ω, ω_r et n (en $tr.min^{-1}$), relation de la forme $\omega = kn + \omega_r$. Calculez k.

e- On donne $\omega_r = 2{,}5\ rad.s^{-1}$. Pour le point de fonctionnement nominal, calculez les valeurs ω_N de ω, n_{NS} de n (n_{NS} est la fréquence de rotation correspondant au synchronisme) et g_N de g correspondantes.

f- Donnez une estimation du rendement au point de fonctionnement nominal. En déduire un ordre de grandeur de la puissance électrique nominale absorbée.

g- La tension simple nominale étant de 300 V par phase, donnez un ordre de grandeur de l'intensité nominale I_N du courant.

I.2- Étude du moment du couple moteur :

On utilise le schéma équivalent, par phase, de la figure 1.

$R' = \frac{R}{g}$ $R' = R\frac{\omega}{\omega_r}$

I.2.1 R étant reliée à la résistance du rotor par phase : montrez que .

I.2.2 Établir la relation entre les valeurs efficaces I_m et I_r des intensités i_m et i_r.

I.2.3

a- Donnez l'expression de la valeur efficace I de i en fonction de Im et Ir.

b- A partir des résultats précédents, montrez que I_r s'exprime en fonction de I par la relation :

$$I_r = \frac{L_m \omega_r}{\sqrt{R^2 + L_m^2 \omega_r^2}} I$$

.

I.2.4 A l'aide du schéma équivalent (figure 1), exprimez la puissance transmise au rotor.

I.2.5 Exploitez le résultat précédent pour montrer que le moment du couple moteur T_m s'exprime, en fonction de I, par :

$$T_m = \frac{a}{\frac{b}{\omega_r} + c\,\omega_r} I^2$$

avec T_m en N.m et I en ampères.

A quelle condition le moment du couple moteur est-il imposé par la valeur efficace I de l'intensité i du courant statorique ?

Pour la suite on prendra a = $17{,}0.10^{-6}$ (S.I.) ; b = $81{,}0.10^{-6}$ (S.I.) ; c = 210.10^{-6} (S.I.)

I.2.6 Pour ω_r = 2,5 rad.s^{-1}, quelle est la relation numérique liant T_m à I^2. Calculez la valeur I_N de l'intensité nominale du courant; comparez avec l'estimation faite dans le I.1.3.g.

<u>I.3- Autopilotage :</u>

L'autopilotage impose à la pulsation ω_r d'être constante : la valeur choisie dans le problème est ω_r = 2,5 rad.s^{-1}.

- La commande du pont redresseur est liée au moment du couple moteur que l'on désire obtenir en régime permanent ; cette commande définit donc la valeur, en régime permanent, de l'intensité I du courant dans le moteur et par conséquent celle de l'intensité I_0 circulant entre les deux ponts de la figure 2.
- La commande de l'onduleur engendre, à partir de la mesure de Ω, la pulsation ω telle que, à chaque instant :

$$\omega = \omega_r + p\,\Omega$$

I.3.1. On veut que la fréquence de rotation du ventilateur soit de 1000 tr.min^{-1}. Quel doit être, en régime établi, le moment du couple T_m pour avoir cette vitesse ?

I.3.2.Quelle sera, en régime établi, la pulsation des courants statoriques imposée par l'autopilotage.

I.3.3.En déduire la valeur efficace I de i, intensité du courant dans la phase considérée sur la figure 1, lorsque le moteur fournit ce couple.

I.3.4.On donne l = 1,33 mH ; Lm =14,5 mH ; R = 9,00 mΩ.

a- Mettez en place sur la feuille de réponse 1, les vecteurs de Fresnel associés aux intensités i_r, i_m, i.

b- Écrire la relation entre les tensions e_r, v_l et v. Mettez en place sur la feuille réponse 1, les vecteurs associés à e_r, v_l et v.

c- Déterminez la valeur efficace V de la tension v, pour le point de fonctionnement envisagé.

d- Que vaut la puissance absorbée par le moteur en ce point (on rappelle que le facteur de puissance est constant et vaut 0,84) ? Que vaut le rendement ?

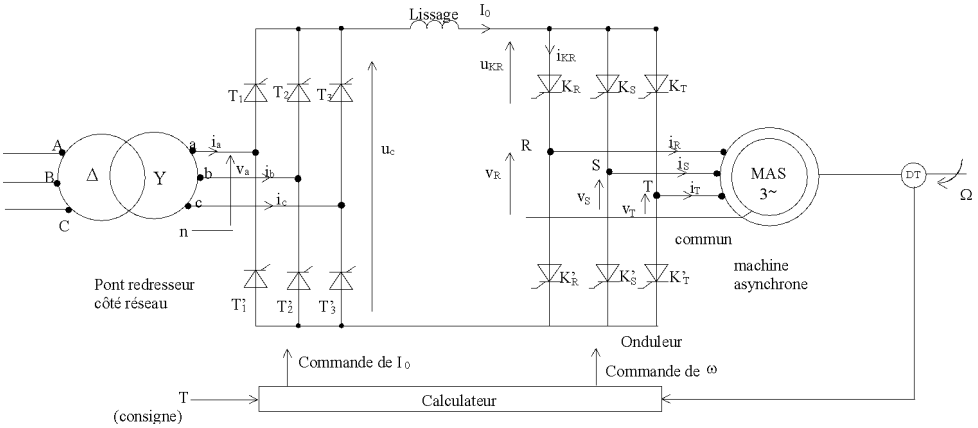
I.3.5.On se propose d'établir la relation qui lie la fréquence de rotation n de l'ensemble à la tension V par phase.

a- Montrez, simplement, que V = K ω I. A l'aide des résultats trouvés précédemment, calculez K.

b- Compte tenu de la relation définissant la caractéristique mécanique du ventilateur (voir présentation de l'épreuve), montrez que, en régime permanent I = k' n.

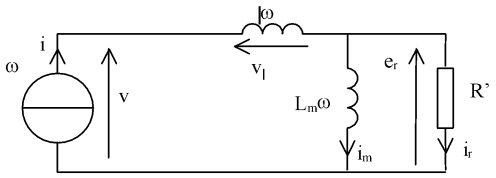
c- Déduire du résultat des deux questions précédentes et de celui de la question I.1.3-d, la relation qui, en régime permanent, avec ω_r = 2,5 rad.s^{-1}, lie la tension V à la fréquence de rotation n de l'ensemble tournant.

d- En négligeant ω_r dans cette relation, montrez que lorsque la tension V d'alimentation d'une phase du moteur vaut 300V on retrouve bien la fréquence de rotation nominale n_N de l'ensemble.



K_R, K_S, K_T, K'_R, K'_S, K'_T sont des interrupteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture.

Figure 2



Une phase de la machine qui en comporte 3.

Figure 1

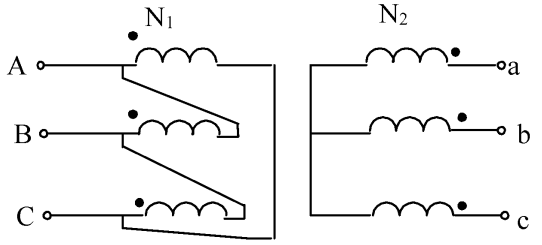
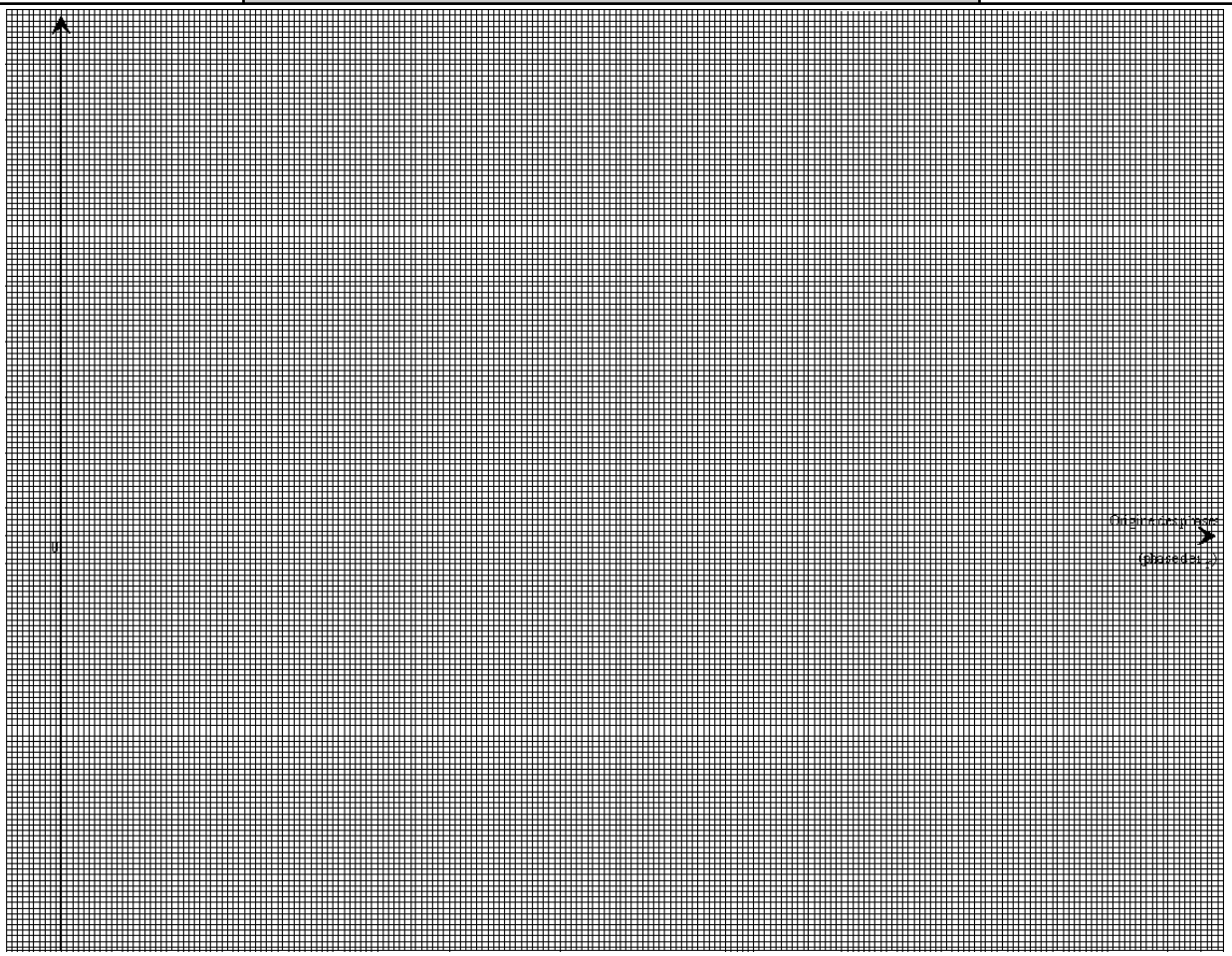


Figure 3

Nom : .....

DOCUMENT REPONSE N° 1

BTS 96



Echelle :	Courants : 1 cm → 20 A	Tensions : 1 cm → 20 V

1Exercice 29: BTS Etk 1996 Nouméa Association machine asynchrone / convertisseur de fréquence Autopilotage (Solution 29:)

Notations :

U	(V)	Tension composée du réseau triphasé.
V	(V)	Tension simple du même réseau.
f	(Hz)	Fréquence des courants statoriques.
fr	(Hz)	Fréquence des courants rotoriques.
ω	($rad.s^{-1}$)	Pulsation des courants statoriques.
Ω_S	($rad.s^{-1}$)	Vitesse de rotation du champ tournant créé dans l'entrefer par les courants statoriques.
Ω	($rad.s^{-1}$)	Vitesse angulaire de la machine.
ns	($tr.s^{-1}$)	Fréquence de rotation du champ tournant créé dans l'entrefer par les courants statoriques.
n	($tr.s^{-1}$)	Fréquence de rotation de la machine.

Caractéristiques électromécaniques du moteur étudié :

Sur la plaque signalétique du moteur asynchrone sont fournies les indications suivantes :

Tension d'alimentation nominale Un = 380 V fn = 50 Hz

Courant nominal parcourant chaque phase du moteur In = 106 A.

Facteur de puissance nominal $\cos\phi_n = 0{,}86$.

Fréquence de rotation nominale $n_n = 1460\ tr.min^{-1}$.

Puissance utile nominale $Pu_n = 55\ kW$.

Le couplage des phases statoriques est en étoile.

1 Fonctionnement au régime nominal de la machine

On demande de calculer:

le nombre de paires de pôles p

le glissement g_n , en déduire la fréquence des courants rotoriques fr.

la puissance active absorbée Pa_n

le rendement η_n.

le moment du couple utile Tu_n.

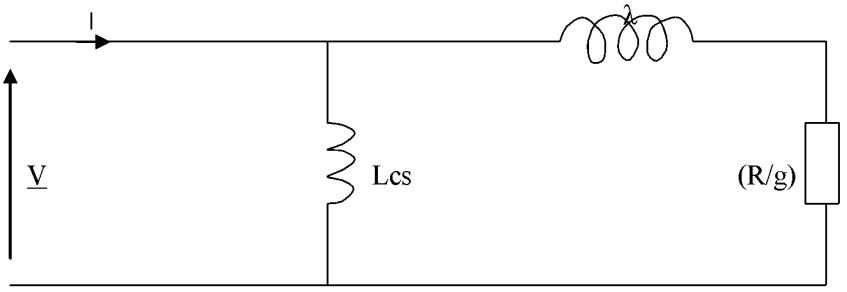
2 Recherche des éléments d'un modèle équivalent simplifié

La figure 2 représente un modèle linéaire simplifié d'une phase statorique pour lequel on a négligé:

la résistance globale de l'enroulement statorique

-les pertes mécaniques et ferromagnétiques de la machine.

Figure 2



Lcs : inductance magnétisante du stator.

λ : inductance globale de fuites ramenée au stator.

R : résistance du rotor ramenée au stator.

Pour calculer les impédances figurant dans ce modèle, on procède aux essais suivants :

1er essai :

Le moteur fonctionne à vide et est alimenté sous sa tension nominale. On obtient :

n_v = fréquence de rotation à vide peu différente de la fréquence de synchronisme n_s

intensité du courant absorbée par chaque phase Iv = 50 A.

2ème essai :

Le moteur fonctionne à rotor bloqué et est alimenté à partir du réseau sous tension réduite

Ucc = (Un/10).

On obtient alors:

- puissance active consommée Pcc = 970 W.
- intensité du courant absorbée par chaque phase Icc = 70 A.

1) Donner le modèle équivalent pour le fonctionnement à vide. Calculer l'inductance magnétisante d'une phase statorique.

2) Pour l'essai à rotor bloqué, on considère que le courant absorbé par l'inductance magnétisante statorique est négligeable.
Donner le modèle équivalent à une phase. En déduire les valeurs des éléments R et λ.
Pour la suite du problème, on prendra R = 66 mΩ et λ = 1 mH.

3 - Étude du moment du couple électromagnétique Tem

1) Exprimer à l'aide du modèle équivalent la puissance Pem transmise au rotor ; en déduire que le moment du couple électromagnétique Tem peut se mettre sous la forme :

$$T_{em} = \frac{3p}{2\pi}\left(\frac{V}{f}\right)^2 \frac{R \cdot f_r}{R^2 + 4\pi^2\lambda^2 f_r^2}$$

2) Montrer que pour les faibles valeurs de fr on peut écrire : $T_{em} = A\left(\frac{V}{f}\right)^2 f_r$.
Définir A et montrer que sa valeur numérique est **A = 14,5 Ω^{-1}**.

4 - Fonctionnement à vitesse de synchronisme variable.

Pour cette étude, on reste dans l'hypothèse de la question 2) du 3 ci-dessus.
Le moteur est alimenté par le convertisseur de fréquence qui permet de maintenir aux bornes d'un enroulement le rapport (V/f) constant.

1) Sachant que pour V = Vn on a f = fn = 50 Hz, montrer que Tem peut s'écrire : **Tem = A'.fr.**
Donner la valeur numérique de A'.
Calculer le couple électromagnétique nominal sachant que le glissement nominal g_n vaut 2,7% pour f = 50 Hz.
2) On rappelle que la fréquence fr des courants rotoriques peut s'exprimer par : **fr = p.(n_s - n).**
Donner la nouvelle expression de Tem en fonction de n_s et n : **Tem = A".(n_s - n).** Calculer A".
3) Donner l'allure des caractéristiques Tem(n) pour: f = 12,5 Hz et f = 50 Hz.
4) On souhaite faire démarrer la machine à couple nominal. Calculer la fréquence minimale que doit alors délivrer l'onduleur.

5 - Autopilotage de la machine asynchrone.

Pour imposer le couple de la machine asynchrone associée au convertisseur (V/f), il faut, d'après la formule établie à la question 1) du 4 , imposer la fréquence des courants rotoriques en plus du rapport (V/f) constant.
Dès lors, on se propose de réaliser un autopilotage fréquentiel de la machine. La schéma de principe est celui de la figure 3.

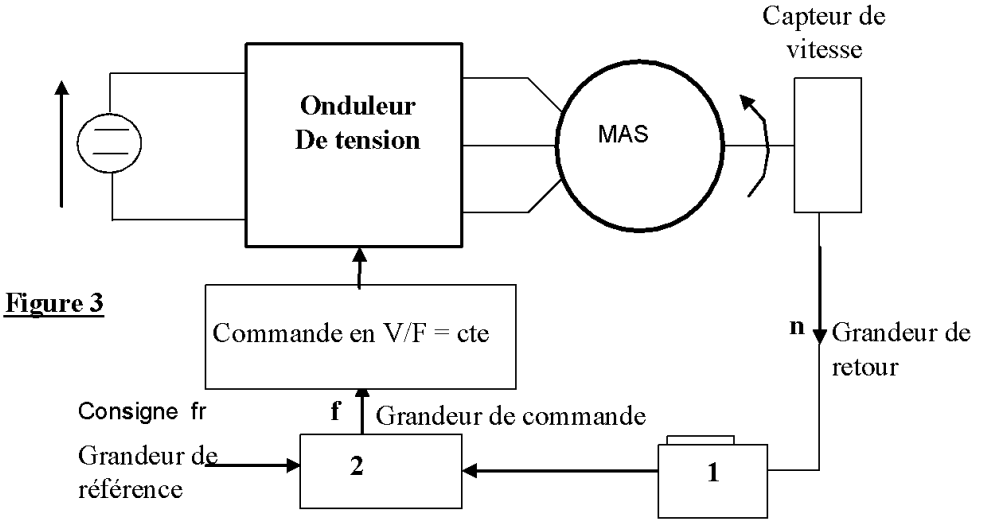


Figure 3

1) Montrer que lorsque l'on fixe fr donc le couple de la machine, il faut que la fréquence délivrée par le convertisseur ait pour valeur : **f = fr + p.n**.
2) Définir les fonctions réalisées par les blocs 1 et 2 de la figure 3.

1Exercice 30: BTS Etk 1987 (Solution 30:)

Un moteur d'induction asynchrone comporte 4 pôles et a son stator couplé en étoile. Le rotor est bobiné et couplé en étoile. On fait les hypothèses suivantes :

Les résistances et inductances de fuite du stator sont négligeables ainsi que les pertes ferromagnétiques et mécaniques.

1. Le stator est alimenté par le réseau EDF 220 V / 380 V de fréquence 50 Hz.

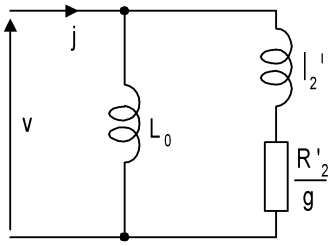
On effectue sur le moteur les essais suivants :

1er essai : fonctionnement à vide sous tension U = 380 V entre phases. La fréquence de rotation est alors n = 1500 tr/min et le courant appelé est I_0 = 15 A en ligne.

2ème essai : rotor en court-circuit, maintenu à l'arrêt le moteur est alimenté sous tension réduite U_{CC} = 95 V entre phases. Le courant en ligne est alors I_{CC} = 38 A et la puissance absorbée est P_{CC} = 1,8 kW.

1.1. A partir de ces essais, on veut déterminer les éléments du schéma équivalent d'une phase du moteur (figure ci-contre).

v est la tension instantanée aux bornes d'un enroulement, de valeur efficace V ;
j est le courant instantané circulant dans l'enroulement, de valeur efficace J ;
j_0 est le courant instantané dans un enroulement à vide, de valeur efficace J_0 ;
R'_2 et ℓ'_2 sont la résistance et la réactance d'une phase du rotor ramenées au stator.
On posera $X_0 = L_0\omega$ et $X'_2 = \ell'_2\omega$.



1.1.1. A partir de l'essai à vide, déterminer X_0.

1.1.2. A partir de l'essai en court-circuit, déterminer les puissances active et réactive consommées dans R'2 et X'2.

1.1.3. Déterminer R'2 et X'2.

1.2. Exprimer la puissance transmise au rotor en fonction de V, $\frac{R'_2}{g}$ et X'_2. Exprimer ensuite le couple électromagnétique C_e en fonction de cette puissance. En déduire que le couple électromagnétique peut s'exprimer par la relation :

$$C_e = K \cdot \frac{V^2}{\omega} \cdot \frac{\frac{R'_2}{g}}{\left(\frac{R'_2}{g}\right)^2 + \left(X'_2\right)^2}$$

2. On désire alimenter le moteur par un autre réseau que le réseau EdF, donc à tension et fréquence éventuellement différentes.

2.1. Exprimer le flux maximal φ_M créé par un enroulement du stator en fonction de la valeur efficace de la tension v et du nombre N de conducteurs par pôle et par phase. Le coefficient de bobinage sera pris égal à 1. Calculer ce flux maximal φ_M pour V = 220 V, f = 50 Hz. Le stator comporte 900 conducteurs au total pour les 3 enroulements.

2.2. Exprimer la puissance P en fonction de V, de la valeur efficace du courant dans un enroulement du stator et du facteur de puissance. Exprimer aussi cette puissance en fonction du couple électromagnétique et en déduire l'expression du couple C_e en fonction de φ_M, I_a (composante active de I) et d'une constante A que l'on déterminera.

2.3. Calculer la valeur de I_a pour un couple C_e = 150 N.m lorsque le moteur fonctionne dans les conditions suivantes :

U = 380 V entre phases, f = 50 Hz.

En déduire le glissement g (on prendra X'_2 = 1,2 Ω et R'_2 = 0,4 Ω dans l'expression donnée en **1.2.**

2.4. On désire faire fonctionner le moteur à couple constant en maintenant le courant actif à la valeur calculée précédemment. Comment doit être réglé le flux maximal φ_M ?

Quelle relation existe-t-il alors entre la fréquence f et la valeur efficace de la tension d'alimentation V aux bornes d'un enroulement ?

1Exercice 31 : BTS Etk 1983 (Solution 31 :)

Un moteur d'induction asynchrone triphasé est alimenté par le réseau EdF 220/380 V de fréquence 50 hertz.

Le stator (primaire) est couplé en triangle ; le rotor bobiné est couplé en étoile sans neutre sorti. La machine est à 4 pôles.

On fera les hypothèses simplificatrices suivantes :

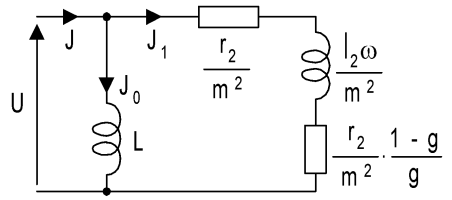
- les pertes ferromagnétiques, les chutes de tension dans les résistances et les inductances de fuite du stator sont négligeables.
- Les pertes mécaniques sont également négligeables.

On effectue deux essais du moteur sous tension nominale :

Premier essai : Moteur à l'arrêt, rotor ouvert, on relève la tension entre 2 bagues du rotor : 395 V et le courant en ligne I_0 = 16,5 A.

Deuxième essai : Moteur en marche, rotor en court-circuit, la fréquence de rotation est de 1455 tr/min. La machine absorbe une puissance mesurée par la méthode des deux wattmètres dont les déviations de même sens, correspondent respectivement à : 17,9 kW et 7 kW.

1. Calculer pour le point de fonctionnement du deuxième essai et dans les hypothèses simplificatrices :
   - 1.1. le glissement g.
   - 1.2. le facteur de puissance cos ϕ (on prendra par la suite : cos ϕ = 0,8).
   - 1.3. l'intensité du courant en ligne I.
   - 1.4. la puissance dissipée par effet Joule dans le rotor P_{jr}.
   - 1.5. le couple électromagnétique exercé sur le rotor : T.
2. Compte tenu des hypothèses, on propose ci-dessous le schéma équivalent ramené au primaire d'une phase du stator.



- r_2 et l_2 sont la résistance et la réactance de fuite d'une phase du rotor.
- m est le rapport de transformation **par phase**, à vide, g est le glissement.

On rappelle que le couple électromagnétique peut se mettre sous la forme : $T = K \cdot U^2 \dfrac{\dfrac{r_2}{g}}{\left(\dfrac{r_2}{g}\right)^2 + l_2^2\omega^2}$.

On se propose d'utiliser les essais effectués pour déterminer les facteurs KU^2, r_2, $l_2\omega$.

- 2.1. Placer sur un diagramme vectoriel la tension U et les courants J_0, J_1, J. Montrer que l'intensité J_1 du courant par phase a pour valeur efficace : J_1 = 22,9 A. (On pourra utiliser une méthode graphique ou un calcul).
- 2.2. Vérifier que m = 0,6 et calculer la résistance rotorique par phase : r_2.
- 2.3. Calculer la réactance : $l_2\omega$.
- 2.4. Montrer alors que le facteur KU^2 vaut : KU^2 = 992,5 S.I.
- 2.5. Quel est le couple électromagnétique maximal T_M ? Pour quel glissement a-t-il lieu ?

3. On veut obtenir le point de fonctionnement suivant : T = 200 mN pour g = 0,5.
   On utilise pour cela un rhéostat de glissement couplé en étoile au rotor.
   - 3.1. Montrer que la résistance par phase de ce rhéostat doit être : Rh = 1,95 Ω.
   - 3.2. Calculer la puissance totale dissipée dans le rhéostat : P_{Rh}.

1Exercice 32: BTS Etk Nouméa 2010 (Solution 32:)

Chaque machine asynchrone entraînant une broche possède 3 paires de pôles. On rappelle, ci-dessous (figure 3), le schéma équivalent d'une phase de cette machine en régime permanent sinusoïdal, où V est le nombre complexe associé à la tension simple du réseau. R est la résistance d'un enroulement rotorique ramenée au stator, elle vaut 0,54 Ω.

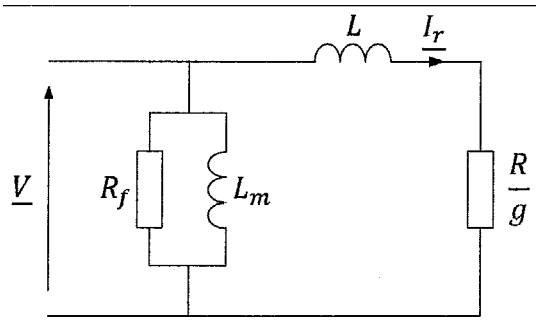


Figure 3

La machine asynchrone est pilotée par un variateur à commande en $\frac{V}{f} = 4,6\ \mathrm{V \cdot Hz^{-1}}$ constant, où f est la fréquence des courants statoriques (de pulsation ω) et V la valeur efficace de la tension simple du réseau.

Dans l'ensemble du problème, on néglige les pertes mécaniques de la machine.

A.2.1 Dans les conditions de fonctionnement de la machine, on considère que Lω est très inférieur à $\frac{R}{g}$. Exprimer I_r la valeur efficace du courant $\underline{I_r}$ en fonction de V, R et du glissement g.

A.2.2 En déduire l'expression de la puissance électromagnétique P_{em} de la machine en fonction de V, R et g.

A.2.3 Rappeler la définition du glissement g en fonction de la vitesse de synchronisme N_s et de la vitesse de rotation N_m de la machine.

A.2.4 Montrer que le moment du couple électromagnétique s'exprime :

$$C_{em} = K \cdot \left(N_S - N_m \right) \quad \text{avec} \quad K = \frac{3 \cdot p^2}{120 \cdot \pi \cdot R} \cdot \left(\frac{V}{f} \right)^2$$

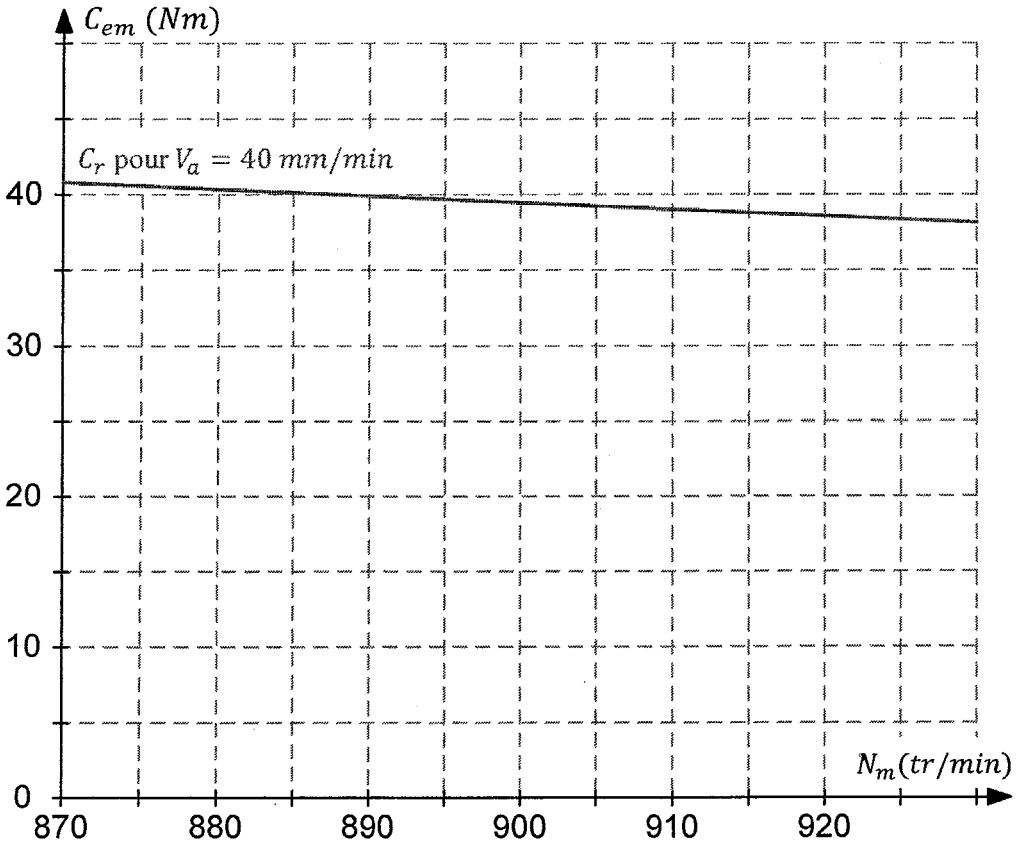
où N_s et N_m sont exprimées en $\mathrm{tr.min^{-1}}$.

A.2.5 Vérifier que K = 2,81 $\mathrm{N.m.tr^1.min}$.

A.2.6 Calculer N_S pour une fréquence des courants statoriques f = 46Hz.

A.2.7 Pour f = 46Hz, tracer C_{em} en fonction de N_m sur le document réponse 1.

A.2.8 Sur ce même document réponse 1 est fourni le tracé du moment du couple résistant C_r appliqué au moteur asynchrone pour une vitesse d'avance V_a= 40 $\mathrm{mm.min^{-1}}$. Déterminer les coordonnées [C_{em0};N_{m0}] du point de fonctionnement du système en l'état initial.



Document réponse 1

1Exercice 33: BTS Etk Métro 2011 (Solution 33:)

Une Pico Centrale Hydraulique (PCH) est constituée de deux groupes turbo-alternateurs identiques dont l'organisation est présentée figure 2.

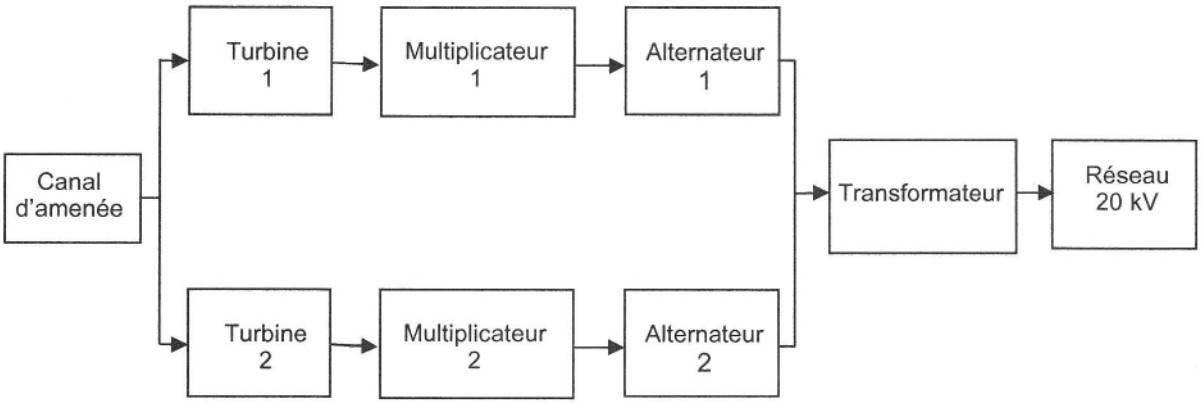


Figure 2

Au niveau de la PCH, l'écoulement entraîne deux turbines de type Kaplan. Chaque turbine est couplée à un alternateur triphasé (par l'intermédiaire d'un multiplicateur). L'induit de chaque alternateur est couplé au réseau triphasé 20 kV par l'intermédiaire d'un transformateur.

Suivant les saisons, le débit de l'eau au niveau de la PCH peut prendre deux valeurs notées dorénavant Q_1 et Q_2.

- Q_1= 50 $m^3.s^{-1}$ en période hivernale.
- Q_2= 70 $m^3.s^{-1}$ en période estivale.

Ce débit se divise à parts égales entre les deux turbines.

La pré-étude consistera à :

- calculer la puissance hydraulique disponible ;

- calculer la puissance électrique produite;
- valider le principe de réglage du courant inducteur et du facteur de puissance.

Les résultats de la pré-étude serviront de base pour l'étude de la rentabilité de l'investissement et l'étude de l'injection de la puissance générée dans le réseau 20kV avec un facteur de puissance imposé.

Dans cette partie, on étudie les caractéristiques hydrauliques du canal d'amenée afin de déterminer la puissance mécanique disponible au niveau de chaque alternateur.

A.1. Détermination de la puissance hydraulique

Sur la figure 3 est représenté un tube de courant modélisant l'écoulement de l'eau au niveau de la PCH.

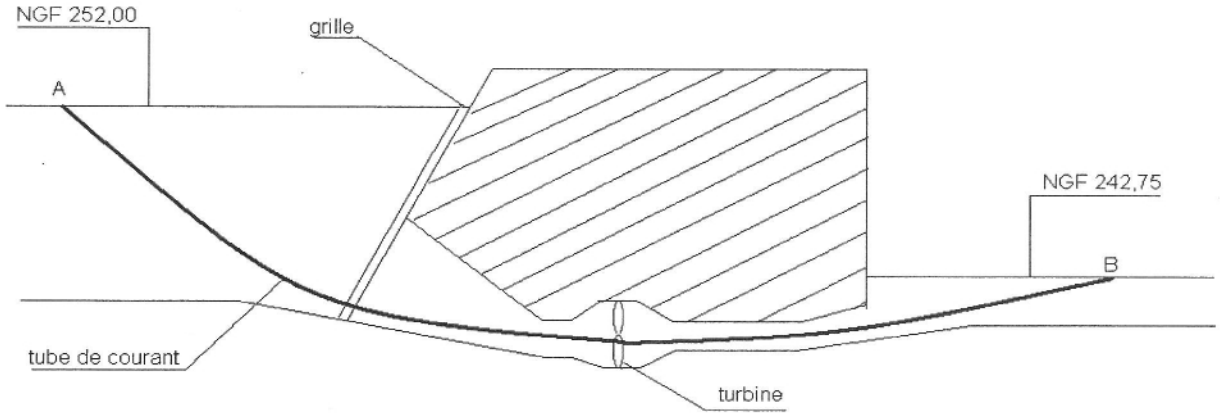


Figure 3

Pour les altitudes, on prendra comme référence le NGF (Niveau Général Français) mentionné sur la figure 3 (exprimé en mètre).

Le tableau 1 fixe les notations utilisées pour les paramètres de l'écoulement aux points A et B.

	Point A	Point B
Altitude	z_A	z_B
Vitesse	V_A	v_B
pression	P_A	P_B

Tableau 1

On rappelle les données suivantes :

- masse volumique de l'eau : $\rho = 10^3$ kg.m^{-3};
- accélération de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m.s^2
- pression atmosphérique supposée normale : $Po = 10^5$ Pa.

A.1.1. Que valent les pressions P_A et P_B?

A.1.2. Le théorème de Bernoulli généralisé entre les points A et B du tube de courant s'écrit

$$\rho \cdot g \cdot z_A + \frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 + P_A = \rho \cdot g \cdot z_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2 + P_B + \frac{P_T}{Q}$$

où P_T est la puissance hydraulique prélevée par les deux turbines, et Q le débit à travers les deux turbines. Les vitesses d'écoulement aux points A et B sont du même ordre de grandeur. On admet qu'elles sont égales.

Donner l'expression de la puissance hydraulique prélevée par les deux turbines en fonction de Z_A, Z_B, g, ρ et Q.

A.1.3. Pour les débits Q_1 et Q_2, calculer la puissance hydraulique prélevée par l'ensemble des deux turbines.

A.2. Détermination de la puissance mécanique fournie à chaque alternateur

En production, la vitesse des turbines est maintenue constante à la valeur $n_T = 214{,}3$ tours.min^{-1}.

Le rendement des turbines est supposé constant, $\eta_T = 0{,}95$. Le rendement des multiplieurs (de rapport de **multiplication** r = 3,5) est $\eta_M = 0{,}98$.

A.2.1. Calculer la puissance mécanique fournie par chaque turbine à son alternateur pour les débits Q_1 et Q_2.

A.2.2. Pour les débits Q_1 et Q_2, déterminer la vitesse d'entraînement des deux alternateurs.

2 Solutions à Machines Asynchrones

Solution 1: Exercice 1:QCM1

N=n_S ; rotor bloqué n=0 ; 1500 ; 3% ; 3.3% ; -6,7% ; 950 tr/min ; 1 ; deux paires ; 500 tr/min ; 50 hz ; Génératrice ; 5 Hz ; diminue

Solution 2: Exercice 2:QCM2 (

Schéma 1 ; 10,4 ;10.3 ;123 Ω ; 49,4 ;4,69 ;32,3 W ; 42,6 ;0,260 Ω ; 256 ; 2,59 mH

Solution 3: Exercice 3:Application 1 : MAS à vide et MAS en charge

Un moteur asynchrone est dit à vide s'il n'entraîne pas de charge , l'arbre du rotor n'est pas relié (à un réducteur , à une poulie ou autre)
Un moteur asynchrone est dit en charge s'il entraîne une charge mécanique ,

Solution 4: Exercice 4:Application 2 : le MAS à vide.

1°) la puissance active du MAS provient des pertes fer
2°) a vide cosϕ≈ 0,2 le MAS est donc modélisé par résistance en série avec inductance
3°) La puissance réactive provient de la magnétisation du circuit magnétique

Solution 5: Exercice 5:Application 3 : fréquence de rotation du rotor d'un MAS à vide

1&2) la fréquence de rotation à vide ne varie pas avec la tension d'alimentation car celle ci est proche de n_s qui est égale à f/p donc ne dépend que de la fréquence d'alimentation est du nombre de paire de pôles.
2°) on inverse le sens de rotation en inversant deux phases

Solution 6: Exercice 6:Application 4 : à la recherche du nombre de paires de pôles.

« bipolaire » ? 1 paire de pôle
« Tétrapolaire » ? 2 paire de pôle
« Hexapolaire » ? 3 paire de pôle

Solution 7: Exercice 7:Application 5 : glissement d'un MAS.

1°) $n_S = f/p = 50/2 = 25$ tr/s soit 1500 tr/min

2°) rotor calé ⇒ bloqué ⇒ $n=0$ ⇒ $g = \frac{n_S - n}{n_S}$

⇒ $g = \frac{1500-0}{1500} = 1$

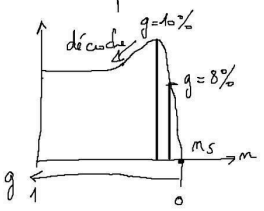
3°) A vide ⇒ $n \approx n_S \approx 1500$ tr/min

⇒ $g = \frac{n_S - n_v}{n_S} = \frac{1500-1500}{1500} = 0$

4°) En charge
4.1) Donné dans le texte $n = 1380$ tr/min

4.1) $g = \frac{1500-1380}{1500} = 0{,}08 = 8\,\%$

4.2) Le glissement ne dépasse pas 10% sinon on dépasserait le couple max du MAS ⇒ calage du MAS



4.3°)

4.3) 230/400 V → sur un enroulement
5,2 / 3A → sur réseau U = 400V
△ ⇒ couplage étoile
Y ⇒ I = 3A

Solution 8: Exercice 8:Application 6 : comment retrouver le nombre de paires de pôles ?

Ex6 :

On sait que pour un réseau 50Hz les fréquences de synchronisme seront si p = 1 n_s = 3000 tr/min
p = 2 n_s = 1500 tr/min
p = 3 n_s = 1000 tr/min

⇒ si n = 2820 tr/min la n_s juste supérieur est n_s = 3 000 ⇒ p = 1

si n = 930 tr/min ⇒ p = 3

n = 1410 tr/min ⇒ p = 2

Solution 9: Exercice 9:Application 7 : exploitation de la plaque signalétique d'un MAS.

Exercice 7 :

1°) 230 V tension supportée par 1 enroulement ⇒ en cas de réseau {127/230 → Δ ⇒ 8,5A=I ; 230/400 → λ ⇒ 4,9A=I

400 V tension composée pour un couplage triangle

50 Hz fréquence d'usage

cosφ = 0,8 inductif

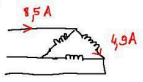
2 kW : Puiss du moteur

1380 tr/min : vitesse de rotation du moteur

Δ	λ
230	400
8,5	4,9

2°) Couplage triangle car chaque enroulement étant alimenté par une tension de 230V, avec un réseau 127/230V, la tension composée alimente un enroulement ⇒ il faut coupler en triangle.

D'après le tableau le courant consommé vaut 8,5 A



3°) Comme $n_s = (f/p) \times 60$ en tr/min

si p = 2 n_s = 1500 tr/min
p = 3 n_s = 1000 tr/m ↳ juste supérieur ⇒ p = 2

4°) $P_a = \sqrt{3} U I \cos\varphi$
$P_a = \sqrt{3} \times 230 \times 8,5 \times 0,8 = 2708$ W

5°) $\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{2000}{2708} = 74\%$

$P_{pdc} = P_a - P_u = 708$ W

Solution 10: Exercice 10:Application 8 : essais en continu et en charge.

1.1. $P_a = \sqrt{3} U I \cos\varphi = \sqrt{3} \times 400 \times 6,3 \times 0,82 = 3579 W$

1.2. On ne connaît pas le couplage mais la mesure faite donne la résistance entre deux phases.

Et quelque soit le couplage $P_{JS} = \frac{3}{2} R_B I^2$ avec $R_B = \frac{4,5}{2,3} = 1,96\ \Omega$

Donc $P_{JS} = \frac{3}{2}\left(\frac{4,5}{2,3}\right) 6,3^2 = 116\ W$

1.3. $P_{em} = P_a - P_{JS} - P_{fs} = 3579 - 116 - 200 = 3263\ W$

1.4. $T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega_S} = \frac{3263}{2\pi \times \frac{1500}{60}} = 20,8\ Nm$

2°) Si on considère que n_S vaut 1500 tr/min (en 50 Hz n_S prend les valeurs 3000, 1500, 1000, 750…) alors

$p = \frac{f}{n_S} = \frac{50}{1500/60} = 2$ (n_S en tr/s)

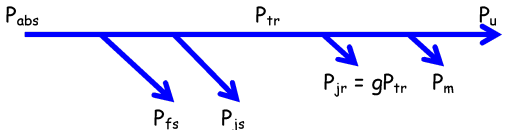
donc 2 paires de pôles

$$g = \frac{n_S - n}{n_S} = \frac{1500 - 1405}{1500} = 6,3\%$$

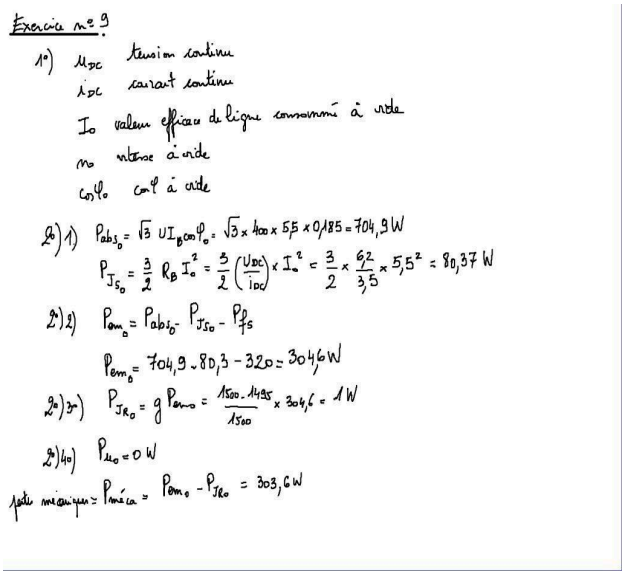
3°) $P_{jr} = gP_{tr} = 0,063 \times 3263 = 205,6 W$

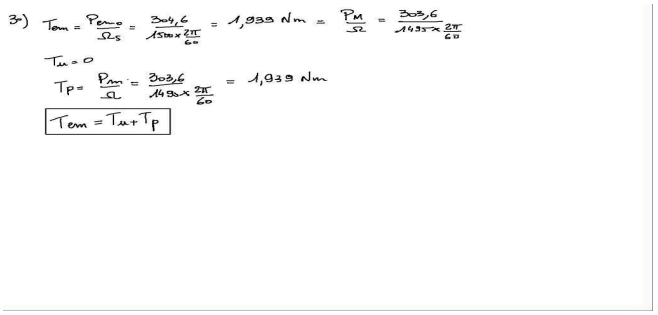
4°) Pour connaître la puissance mécanique il faut négliger les pertes mécaniques.

Alors $P_u = P_a - P_{JS} - P_{fs} - P_{jr} = 3579 - 116 - 200 - 205,6 = 3057,4\ W$



Solution 11: Exercice 11:Application 9 : l'intérêt d'effectuer l'essai à vide…





Solution 12: Exercice 12:Application 10 : la valeur des pertes mécaniques à vide peut elle être égale à celle en charge ?

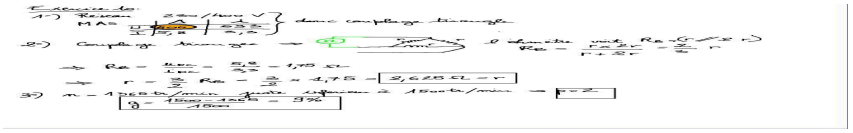
1°) Réseau 230/400V

Pour le MAS

	triangle	étoile
U	400	693
I	5,8	3,3

Les valeurs les plus faibles de la tension et du courant sont celles qui parcourent un enroulement
Donc si on veut 400 V sur un enroulement avec un réseau 400 V entre phase, il faut donc faire un couplage triangle

2°)



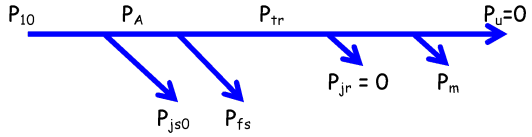
$$R_B = \frac{u_{DC}}{i_{DC}} = \frac{5,8}{3,3} = 1,75\ \Omega$$

$$\Rightarrow r = \frac{3}{2} R_B = \frac{3}{2} 1,75 = 2,625\ \Omega$$

3°) n= 1365 tr/min juste inférieur à 1500 tr/min donc p=2

$$g = \frac{n_S - n}{n_S} = \frac{1500 - 1365}{1500} = 9\%$$

4°) A vide L_{10}=1,44 kW et L_{20}=-730W donc $P_{10} = 1440 - 730 = 710\ W$



$$P_A = P_{fs} + P_m = 2P_{fs}$$

$$P_A = P_{fs} + P_m = 2P_{fs}$$

$$P_A = P_{10} - P_{JS0} = 710 - \frac{3}{2} R_B I_0^2 = 710 - \frac{3}{2} 1,75 \times 5,8^2 = 621\ W$$

Et

$$P_{fs} = P_m = \frac{P_A}{2} = 310,5 W$$

Donc

$$T_p = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{310,5}{1495 \times \frac{2\pi}{60}} = 1,98\ Nm$$

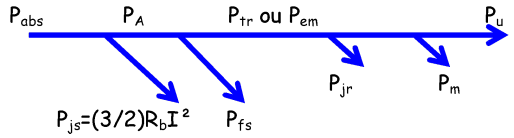
5°)

6°) Le couple de pertes mécaniques ne change pas, seule la vitesse change

$$P_m = T_p \times \Omega = 1,98 \times 1365 \times \frac{2\pi}{60} = 283,5\ W$$

Donc en charge :

7°)



$$P_{abs} = L_1 + L_2 = 2740 + 1170 = 3910\ W$$

$$P_{js} = \frac{3}{2} R_b I^2 = \frac{3}{2} 1,75 \times 7,25^2 = 138\ W$$

$P_{fs} = 310 W$ car la tension d'alimentation est inchangée et $P_{fs} = 3\frac{V^2}{R_f}$

$$P_{em} = 3910 - 138 - 310 = 3462\ W$$

$$P_{jr} = gP_{em} = \frac{1500 - 1365}{1500} \times 3462 = 311,6\ W$$

9%

$$P_u = P_{em} - P_{jr} - P_m = 3462 - 311,6 - 283,5 = 2867\ W$$

$$T_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{2867}{1365 \times \frac{2\pi}{60}} = 20 Nm$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} = \frac{2867}{3910} = 73,3\%$$

8°)

$$\left.\begin{array}{l} P_{abs} = 3910\ W \\ P_{js} = 138\ W \\ P_{fs} = 310\ W \end{array}\right\} P_{em} = 3910 - 138 - 310 = 3462\ W$$

$$P_{jr} = gP_{em} = 311,6\ W$$

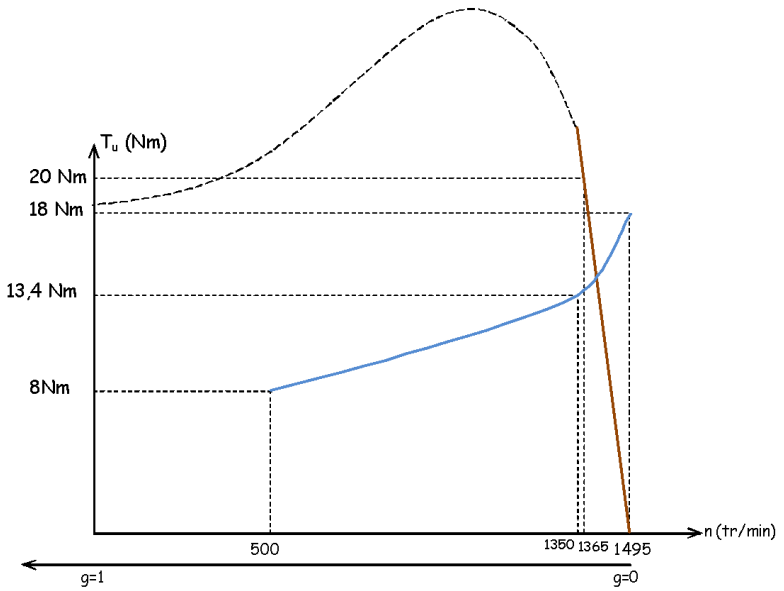
$$P_u = P_{em} - P_{jr} - P_m = 3462 - 311,6 - 310 = 2840 W$$

$$T_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{2840}{1365 \times \frac{2\pi}{60}} = 19,87 Nm$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} = \frac{2840}{3910} = 72,6\%$$

Les résultats varient peu, on peut donc approximer que la valeur des pertes mécaniques à vide ou en charge sont constantes

Solution 13: Exercice 13:Application 11 : caractéristique mécanique utile et équilibre mécanique.



5°) L'équilibre mécanique est obtenu lorsque le couple moteur égale le couple résistant, on obtient alors une vitesse constante. Lors d'une accélération ou décélération les couples moteur et résistant ne sont pas égaux : le terme JdΩ/dt s'ajoute.

Un cycliste atteint cet équilibre mécanique lorsqu'en descente la vitesse du cycliste est constante : les forces de frottements augmentant avec la vitesse s'équilibrent avec le couple moteur (pédalage du cycliste)

6°) le point de fonctionnement correspond à l'intersection des courbes des lieux d'existence du couple moteur et du couple résistant en fonction de la vitesse

7°) Si le point de fonctionnement est n = 1400 tr/min et T_u =14,2 Nm alors $P_u = T_u\Omega$ = 2080 W

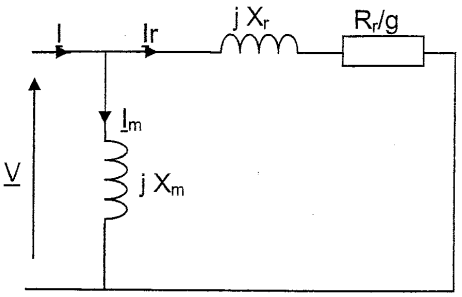
Solution 14: Exercice 14:Application 12 : variation de vitesse d'un MAS à rotor bobiné en utilisant des rhéostats rotoriques.

Solution 15: Exercice 15:Application 13 : démarrage Y-D

Solution 16: Exercice 16:Application 14 : variation de vitesse d'un MAS à cage d'écureuil (rotor en court circuit) en utilisant un onduleur 3~.

Solution 17: Exercice 17:BTS Etk 2009 Nouméa

B.1. Démarrage et freinage du moteur



On donne: X_m=7,6Ω. à 50Hz X_r = 0,033Ω à 50 Hz.

B.1. Démarrage et freinage du moteur

B.1.1. La pulsation de synchronisme dépend du nombre de paire de pôles et comme Ω_M=99 rad/s (question A.2.2). Un résultat juste supérieur à Ω sera cohérent après divers essais pour p =3 $\Omega_s = \frac{\omega}{p} = 104,7 \text{ rad/s}$.

$$I_r = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{g}\right)^2 + \left(X_r\right)^2}}$$

B.1.2. Le dipôle associé à jX_r et R_r/g en série

$$I_r = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{g}\right)^2 + \left(X_r\right)^2}} = \frac{230}{\sqrt{17^2 + 0,033^2}} \approx \frac{230}{17} = 13,5\,A$$

B.1.3.1 au démarrage g=1 donc .

Pour le démarrage I_r = 13,5 A

$$I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{2}\right)^2 + \left(X_r\right)^2}} = \frac{230}{\sqrt{\left(\frac{17}{2}\right)^2 + 0,033^2}} \approx \frac{230}{\frac{17}{2}} = 27\,A$$

B.1.3.2. Pour le freinage : g=2 donc

Pour le freinage I_r = 27 A

B.1.4. Étude du couple :

B.1.4.1. $T_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} = \frac{3\frac{R_r}{g} \times I_r^2}{\Omega_s}$ On peut aboutir à une expression faisant intervenir V ce qui évitera que l'on

$$I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{2}\right)^2 + \left(X_r\right)^2}} \approx \frac{V}{\frac{R_r}{g}}$$

oublie de recalculer I_r par la suite. En effet donc

$$T_{em} = \frac{3\frac{R_r}{g} \times \left(\frac{gV}{R_r}\right)^2}{\Omega_s} = \frac{3gV^2}{\Omega_s R_r} \quad \text{soit} \quad T_{em} = \frac{3gV^2}{\Omega_s R_r}$$

B.1.4.2. au démarrage g=1

$$T_{em} = 3\frac{R_r}{\Omega_s}\frac{V^2}{{R_r}^2 + X_s^2} \approx 3\frac{V^2}{\Omega_s R_r} = 3\frac{230^2}{104,7 \times 17} = 89\ Nm$$ donc $T_{em} = 89\ Nm$

Au freinage

$$T_{em} = 3\frac{2\times 230^2}{\Omega_s R_r} = 178,3\ Nm$$ donc $T_{em} = 178,3\ Nm$

B.1.5. t_d= 3,5 s et R_r = 10 Ω, en reprenant l'expression trouvée précédemment $T_{em} = \frac{3gV^2}{\Omega_s R_r}$

Au démarrage g=1

$$T_{em} = 3\frac{gV^2}{\Omega_s R_r} = 3\frac{230^2}{104,7\times 10} = 151,6\ Nm$$ donc $T_{em} = 89\ Nm$

Au freinage g=2

$$T_{em} = 3\frac{gV^2}{\Omega_s R_r} = \frac{3\times 2\times 230^2}{104,7\times 10} = 303\ Nm$$ donc $T_{em} = 303\ Nm$

B.1.6. Cette solution ne convient pas car le couple de freinage dépasse de 200 Nm

B.2. Étude des moteurs de translation en régime établi

B.2.1. Le moteur a trois paires de pôles car la vitesse de synchronisme est de 1000 tr/min donc 6 pôles

B.2.2. Le glissement est donné par $g = \frac{n_S - n}{n_S} = \frac{1000-945}{1000} = 0,055 = 5,5\%$ donc g=5,5%

B.2.3. Le couple utile est donné par $T_u = \frac{P}{\Omega} = \frac{2200}{2\pi\times\frac{945}{60}} = 22,2\ Nm$. Donc T_u=22,23 Nm

B.2.4. Le moteur fonctionne donc en sous régime

B.2.5. En régime établi $P_u = T_u\Omega_r$ avec T_u=T_r donc $P_u = 19\times 2\pi\times\frac{945}{60} = 1880\ W$ donc P_u=1880W

B.2.6. $P_{tr} = \frac{P_u}{1-g} = 1990\ W$ .donc P_{tr}= 1990 W

B.2.7. P_a=P_{tr} car on néglige les pertes fer et les pertes Joules stator (non considérées dans le modèle équivalent) P_a= 1990 W

B.2.8. La somme des pertes est 110 W (B.2.9).

B.2.9. Ce sont les pertes Joules rotor. La puissance utile sert à compenser les frottements lors du déplacement du pont.

Solution 18: Exercice 18:BTS Etk 2010 Métro

B.2. Mode d'alimentation du moteur asynchrone

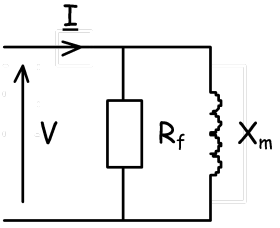
Modèle par phase de la machine asynchrone

B.2.1. R_f modélise la puissance perdue dans le fer

R modélise la puissance électromagnétique au niveau du rotor

B.2.2. Comme pour l'essai à vide n_0= 1500 tr/min alors g=0

A vide le modèle équivalent est donc



$$P_0 = 3\frac{V^2}{R_F} \Rightarrow R_F = 3\frac{V^2}{P_0} = 3\frac{230^2}{5100} = 31,1\Omega$$

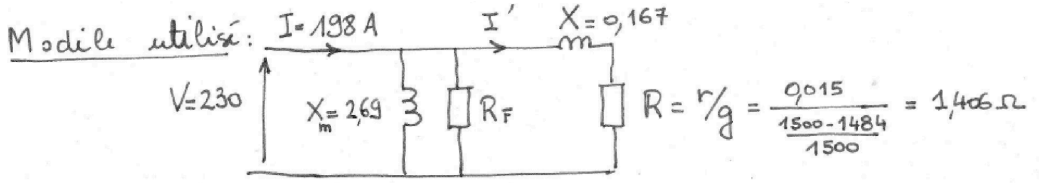
Donc

La résistance modélisant les pertes fer est $R_F = 31,1\Omega$

B.2.2. (bis) Autre méthode plus compliquée

En se servant de l'essai en charge nominale

Le modèle utilisé est donc



La puissance mesurée au stator P=116 kW correspond aux puissances actives consommées par R_F et R

$$P = 3\frac{V^2}{R_F} + 3RI'^2 \qquad I' = \frac{V}{\sqrt{X^2+R^2}} = \frac{230}{\sqrt{0{,}167^2+1{,}406^2}} = 162{,}4\ A$$

donc or

$$R_F = \frac{3\times V^2}{P - 3RI'^2} = 33{,}8\ \Omega$$

Donc donc $R_F = 33{,}8\ \Omega$

Puissance transmise au rotor

B.2.3. $P_{tr} = 3RI'^2 = 3\frac{r}{g}I'^2$ donc $P_{tr} = 3\frac{r}{g}I'^2$

B.2.4. Comme $P_m = 0$ on a $T_{em} = T_u = \frac{P_{tr}}{\Omega_s}$ d'où $P_{tr} = T_u\Omega_S$

Ou un bilan des puissances du moteur asynchrone donne

$$P_{tr} = P_u + \underbrace{P_{méca}}_{0} + P_{fer} + \underbrace{P_J}_{gP_{tr}}$$

donc avec les simplifications $P_{tr} = P_u + gP_{tr}$

donc en factorisant par P_{tr} $P_{tr}(1-g) = P_u$

$$P_{tr} = \frac{T_u\Omega}{1-g} = \frac{T_u\Omega}{1-\frac{\Omega_S-\Omega}{\Omega_S}} = \frac{T_u\Omega}{\frac{\Omega_S}{\Omega_S}-\frac{\Omega_S-\Omega}{\Omega_S}} = \frac{T_u\Omega}{\frac{\Omega_S-\Omega_S+\Omega}{\Omega_S}}$$

Comme $P_u = T_u\Omega = P_{tr}(1-g)$ on en déduit

$$g = \frac{\Omega_S-\Omega}{\Omega_S}$$

En remplaçant on obtient

$$P_{tr} = \frac{T_u\Omega}{1-g} = \frac{T_u\Omega}{1-\frac{\Omega_S-\Omega}{\Omega_S}} = \frac{T_u\Omega}{\frac{\Omega_S}{\Omega_S}-\frac{\Omega_S-\Omega}{\Omega_S}} = \frac{T_u\Omega}{\frac{\Omega_S-\Omega_S+\Omega}{\Omega_S}} = T_u\Omega_S$$

Donc $P_{tr} = T_u\Omega_S$

B.2.5. A l'aide des deux résultats précédents : $P_{tr} = 3\frac{r}{g}I'^2$ et $P_{tr} = T_u\Omega_S$ on en déduit que $3\frac{r}{g}I'^2 = T_u\Omega_S$

soit $T_u = 3\frac{r}{g}\frac{I'^2}{\Omega_S}$.

Couple utile

B.2.6. $X = 0{,}167\,\Omega \ll \frac{r}{g} = \frac{0{,}015}{0{,}02} = 0{,}75$ le caractère négligeable de X n'est pas vraiment vérifié.

$$I' = \frac{V}{\sqrt{X^2 + R^2}} = \frac{V}{\sqrt{X^2 + \left(\frac{r}{g}\right)^2}}$$

B.2.7. Strictement donc en faisant l'approximation proposée précédemment

$$I' \approx \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2}} = \frac{V}{r/g} \qquad I' = \frac{V}{r/g}$$ soit

B.2.8. Donc en utilisant le résultat du B.2.5. $T_u = 3\frac{r}{g}\frac{I'^2}{\Omega_S}$ et celui du B.2.7. $I' = \frac{V}{r/g}$ on peut facilement établir l'expression :

$$T_u = 3\frac{r}{g}\frac{\left(\frac{V}{r/g}\right)^2}{\Omega_S} = 3\frac{\cancel{r}}{\cancel{g}\Omega_S}\frac{V^2}{r^{\cancel{2}}/g^{\cancel{2}}} = 3\frac{gV^2}{r\Omega_S}$$

et en se servant du fait que $g = \frac{\Omega_S - \Omega}{\Omega_S}$

$$T_u = 3\frac{\frac{\Omega_S - \Omega}{\Omega_S}V^2}{r\Omega_S} = 3\frac{V^2}{r\Omega_S^2}\left(\Omega_S - \Omega\right)$$ soit en convertissant les rad/s en tr/min $\Omega = \frac{2\pi}{60}n$ on trouve bien l'expression demandée :

$$T_u = 3\frac{V^2}{r\Omega_S^2}\frac{2\pi}{60}\left(n_S - n\right)$$ avec $K = 3\frac{V^2}{r\Omega_S^2}\frac{2\pi}{60}$

B.2.9. Pour que K soit constant, il faut que $\frac{V^2}{\Omega_S^2}$ soit constant soit $\frac{V}{f} = C^{te}$

$$C^{te} = \frac{V}{\Omega_S} = \frac{V}{\frac{2\pi}{60}n_s} = \frac{V}{\frac{2\pi}{60}\frac{f}{p}} = \frac{60p}{2\pi} \times \frac{V}{f}$$ constant

donc il faut que

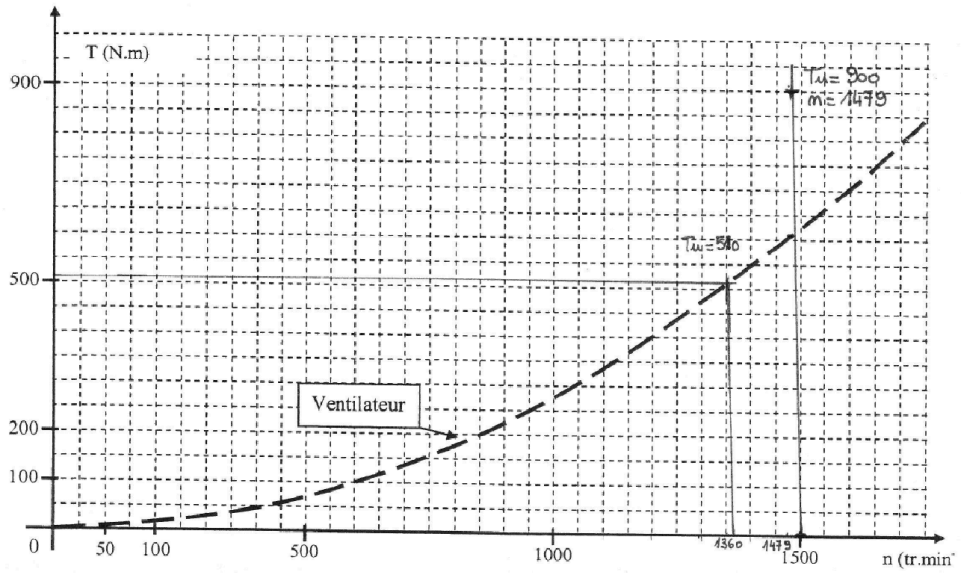
$$K = 3\frac{V^2}{r\Omega_S^2}\frac{2\pi}{60} = 3\frac{230^2}{0,015 \times \left(1500\frac{2\pi}{60}\right)^2}\frac{2\pi}{60} = 44,9$$

B.2.10. donc K=44,9 donc $T_u = 44,9 \times \left(n_S - n\right)$

Point de fonctionnement

B.2.11. Si T_u= 0 alors n= n_S

Si T_u= 900 alors $n = n_S - \frac{T_u}{44,9} = 1500 - \frac{900}{44,9} = 1479\ \text{tr/min}$



B.2.12. Si le variateur réduit la fréquence des tensions (ainsi que la valeur efficace des tensions de façon proportionnelle) la droite de charge du moteur se déplace parallèlement à celle tracée pour f= 50 Hz

B.2.13. Si la fréquence diminue, le débit d'air diminue.

B.2.14. Si T_u est fixé à 510 Nm, la fréquence de synchronisme est d'environ 1360 tr/min soit une fréquence de $50\times\frac{1360}{1500}$ soit f_1=45,3 Hz

Solution 19: Exercice 19:BTS Etk 2008 Nouméa : Pont Flaubert

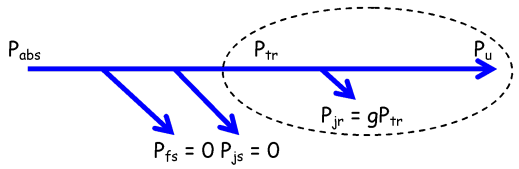
Partie B ***Total : 17***

Partie B.1 *Sous-Total : 4.5*

B.1.1. $n_s=\frac{f}{p}=\frac{47}{2}=23,5\ tr/s$ soit 1410 tr/min 0.5

B.1.2. $g=\frac{n_s-n}{n_s}=\frac{1410-1366}{1410}=3,1\%$ donc le glissement vaut 3.1% 0.5

B.1.3. Le bilan de puissances donne



$$P_{tr}=P_u+P_{jr}=P_u+gP_{tr}\Rightarrow P_{tr}-gP_{tr}=P_u$$

Donc $P_{tr}=\frac{P_u}{1-g}=\frac{19,7}{1-0,031}=20,3kW$ donc $P_{tr}=20,3kW$ 1

B.1.4. $P_{fs}=3\frac{V^2}{R_f}=3\frac{215^2}{300}=462\ W$ donc les pertes fer valent $P_{fs}=462\ W$ 1

B.1.5. $P_{abs}=P_{tr}+P_{fs}+P_{js}=20,3+0,46+0=20,76\ kW$ donc $P_{abs}=20,76\ kW$ 1

B.1.6. $\eta=\frac{P_u}{P_{abs}}=\frac{19,7}{20,76}=94,8\%$ donc $\eta=94,8\%$ 0.5

Partie B.1 *Sous-Total : 5.5*

B.2.1. On peut établir la loi des mailles $\underline{V} = \frac{R}{g}\underline{I'} + jL\omega\underline{I'}$ donc $\underline{I'} = \frac{\underline{V}}{\left(\frac{R}{g} + jL\omega\right)}$ soit

$$\underline{I'} = \frac{\underline{V}}{\underline{Z}} = \frac{\underline{V}}{R/g + jL\omega} \Rightarrow I' = \frac{V}{\left\| R/g + j\underbrace{L\omega}_{X} \right\|} \quad \text{donc} \quad I' = \frac{V}{\sqrt{\left(R/g\right)^2 + X^2}} \qquad 1$$

B.2.2 $P_{tr} = 3\frac{R}{g}I'^2$ donc $P_{tr} = 3\frac{R}{g}\frac{V^2}{\left(\sqrt{X^2 + \left(R/g\right)^2}\right)^2}$ $P_{tr} = 3\frac{R}{g}\frac{V^2}{X^2 + \left(R/g\right)^2}$ 1

B.2.3. $P_{tr} = T_{em}\underbrace{\Omega_S}_{\omega/p}$ donc $T_{em} = \frac{P_{tr}}{\underbrace{\Omega_S}_{\omega/p}} = P_{tr}\frac{p}{\omega}$ donc $T_{em} = 3\frac{R}{g}\frac{p}{\omega}\frac{V^2}{(L\omega)^2 + \left(R/g\right)^2}$ 1

B.2.4. si g est faible $\frac{R}{g} >> L\omega$ donc on néglige $L\omega$

$$T_{em} = 3\frac{R}{g}\frac{p}{\omega}\frac{V^2}{\left(R/g\right)^2} = 3\frac{\cancel{R}}{\cancel{g}}\frac{p}{\omega}\frac{V^2}{\frac{R^{\cancel{2}}}{g^{\cancel{2}}}} = 3g\frac{p}{2\pi f}\frac{V^2}{R} = 3\frac{(\Omega_S - \Omega)}{\Omega_S}\frac{p}{2\pi f}\frac{V^2}{R}$$

$$T_{em} = \frac{3p}{2\pi R}\frac{(n_S - n)}{\underbrace{n_S}_{60\frac{f}{p}}}\frac{V^2}{f} = \underbrace{\frac{3p^2}{60\times 2\pi\times R}\left(\frac{V}{f}\right)^2}_{A}(n_S - n)$$

Donc Démonstration 1

$$T_{em} = \underbrace{\frac{3p^2}{60\times 2\pi\times R}\left(\frac{V}{f}\right)^2}_{c^{te} = A}(n_S - n)$$

B.2.5. 0.5

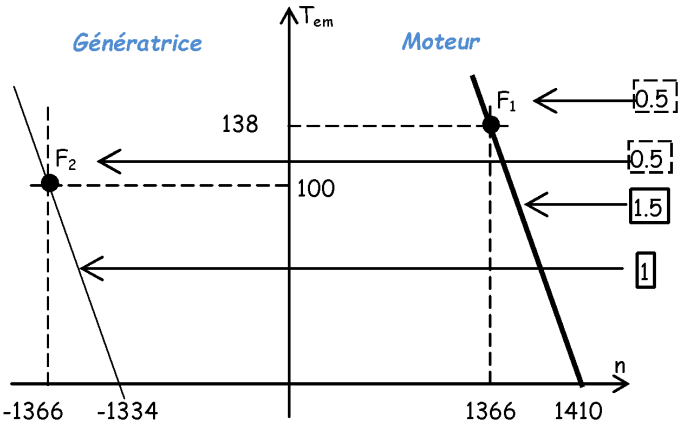
$$A = \frac{3p^2}{60\times 2\pi\times R}\left(\frac{V}{f}\right)^2 = \frac{3\times 2^2}{60\times 2\pi\times 0,212}\left(\frac{215}{47}\right)^2 = 3,14$$ 0.5

B.2.6. $T_{em} = 3,14(1410 - 1366) = 138\,Nm$ donc $T_{em} = 138\,Nm$ 0.5

Partie B.3 Sous-Total : 7

B.3.1.1 Schéma

B.3.1.2. Schéma



1.5+0.5+

$P = T_{em}\,\Omega < 0$ ($T_{em} > 0$, $\Omega < 0$)

B.3.2.1. donc génératrice 1

B.3.2.2 Schéma 0.5

B.3.2.3. Schéma 1

B.3.2.4. $T_{em} = A\left(n'_S - n'\right)$ donc $n'_S = \frac{T_{em}}{3,14} + n' = \frac{100}{3,14} - 1366 = -1334\,\text{tr/min}$ donc $n'_S = -1334\,\text{tr/min}$ 0.5

B.3.2.5. $f' = p \times n'_S = 44,46\,Hz$ donc $f' = 44,46\,Hz$ 0.5

B.3.2.6. $g' = \frac{-1334 - (-1366)}{-1334} = \frac{31,8}{-1334} \approx -2,4\%$ 0.5

B.3.2.7. $P'_{tr} = T_{em}\Omega_S = 100 \times 1334 \times \frac{2\pi}{60} = 13,96\,kW$ 0.5+0.5

Solution 20: Exercice 20:BTS Etk 2008 Métro : Jeux d'eau au château de Versailles

B.2.1. p=2 donc n_s = 1500 tr/min donc $g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1400}{1500} = 6,6\%$

B.2.2. Il faut inverser les phases

B.2.3. $C_{MAS} = \frac{P_{un}}{\Omega_n} = \frac{60}{1400 \times 2\pi/60} = 0,4\,\text{Nm}$ $\Rightarrow C_{MAS} = 0,4\,\text{Nm}$

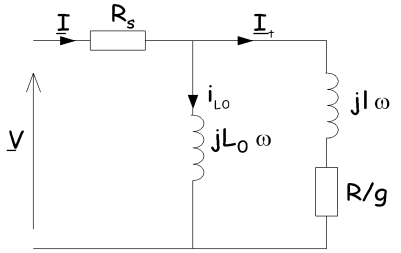
B.2.4. $P_a = \sqrt{3} \times 400 \times 0,3 \times 0,8 = 166\,\text{W}$ $\Rightarrow P_a = 166\,\text{W}$

$Q_a = \sqrt{3} \times 400 \times 0,3 \times \sin(arc\cos 0,8) = 124,7\,\text{Var}$ $\Rightarrow Q_a = 124,7\,\text{Var}$

B.2.5. $\eta = \frac{P_{un}}{P_a} = \frac{60}{166} = 36,1\%$ $\Rightarrow \eta = 36,1\%$

B.2.6.

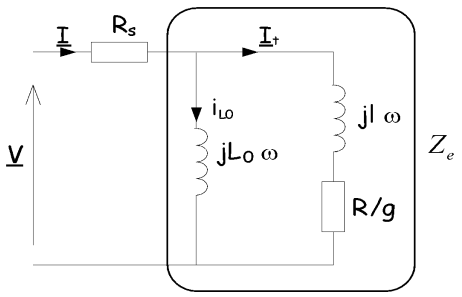
R_S : résistance des enroulements statoriques
R : résistance des enroulements rotoriques ramenés au stator
Lω : inductance de fuite
$L_0\omega$: inductance magnétisante



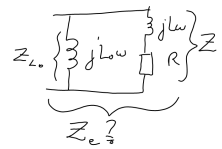
B.2.7. Démarrage g=1

B.2.8.1.

$$\underline{Z} = \frac{R}{g} + jl\omega \underset{g=1}{=} R + jl\omega = 145 + j267$$



B.2.8.2



$$\frac{1}{\underline{Z}_e}=\frac{1}{\underline{Z}_{L_0}}+\frac{1}{\underline{Z}} \Rightarrow \underline{Z}_e=\frac{\underline{Z}_{L_0}\times\underline{Z}}{\underline{Z}_{L_0}+\underline{Z}}=\frac{jL_0\omega\times(R+jL\omega)}{jL_0\omega+R+jL\omega}$$

$$\underline{Z}_e=\frac{j1225(145+j267)}{j1225+145+j267}=\frac{j177625-327075}{145+j1492}$$

$$\underline{Z}_e=\frac{(j177625-327075)(145-j1492)}{145^2+1492^2}$$

$$\underline{Z}_e=\underbrace{\frac{177625\times1492-327075\times145}{145^2+1492^2}}_{96,8}+j\underbrace{\frac{177625\times145+327075\times1492}{145^2+1492^2}}_{229}$$

$$\underline{Z}_{eT}=96,6+j229+R_s=214,6+229j \qquad \Rightarrow \underline{Z}_{eT}=214,6+229j$$

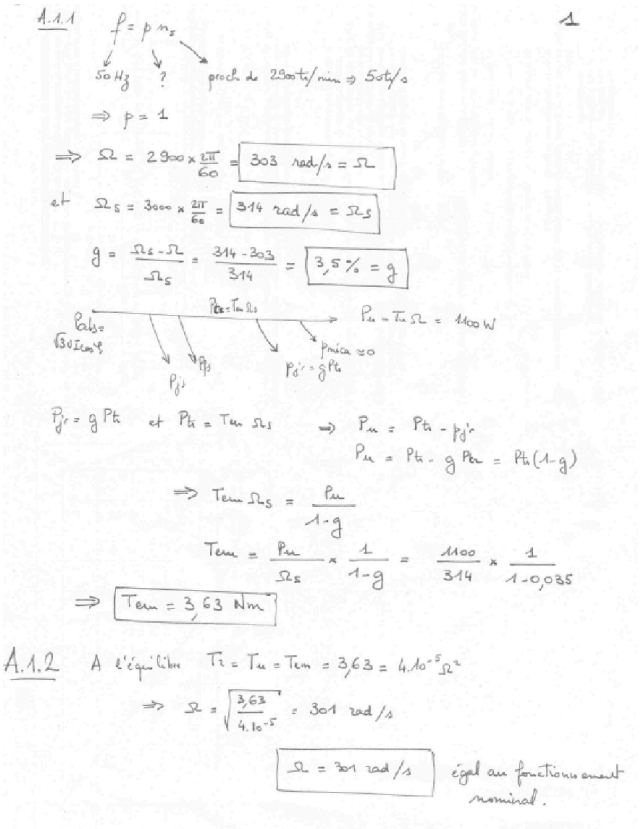
B.2.8.3.
$$I_d=\frac{U_n/\sqrt{3}}{Z_{eT}}=\frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{214,6^2+229^2}}=0,736 \qquad \Rightarrow I_d=0,736\ A$$

B.2.9.
$$I=\sqrt{\langle i^2\rangle}=\sqrt{\frac{0,75^2\times0,2+0,3^2\times1,6}{2}}=0,358 \qquad \Rightarrow I=0,358\ A$$

B.2.10. I>I_n donc *échauffement*

B.2.11. $\frac{3600}{2}=1800$ démarrages /heure

Solution 21: Exercice 21:BTS Etk 2007 Nouméa : Etude d'une station de pompage autonome



Plutôt g=3,3%

Plus rapide

Et $P_M=T_{em}\Omega=p_m+P_u$ avec $p_m=0$

$$T_{em}=\frac{P_u}{\Omega}=\frac{P_u}{\Omega_S(1-g)}$$

Solution 22: Exercice 22:BTS Etk 2006 Métro : Motorisation d'un tramway

A.1. Etude du fonctionnement nominal du moteur

A.1.1. de $f = p \cdot n_{tr/s}$ on tire $f_N = p \cdot \frac{n_S}{60}$ avec les notations du problème $\Rightarrow p = 60 \cdot \frac{f_n}{n_S} = 60 \cdot \frac{88}{2640} = 2$

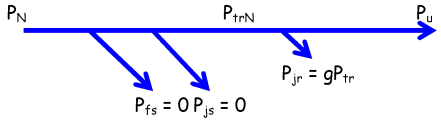
Le nombre de paire de pôle est de 2.

A.1.2. Par définition $g = \frac{N_S - N}{N_S} = \frac{2640 - 2610}{2640} = 0,01136$

Le glissement est donc g=1,14%

A.1.3. $P_n = \sqrt{3} \cdot U_N I_N \cos\varphi_N = \sqrt{3} \cdot 585 \times 35,4 \times 0,732 = 26,25\ kW$

Comme les pertes dans le fer et les pertes joules stator sont négligeables on aura



$P_N = P_{trn} = 26,3\ kW$

A.1.4. A partir de $P_{trn} = C_n \cdot \Omega_S = C_n \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot n_S$ donc $C_n = \frac{P_{trN}}{\frac{2\pi}{60} \cdot N_S} = \frac{26,3 \cdot 10^3}{\frac{2\pi}{60} \cdot 2640} = 95,13\ Nm$

Le couple nominal est donc $C_n = 95,13\ Nm$

A.1.5. On sait que les pertes joules stator valent $p_{jrN} = g_n P_{trN} = 0,01136 \times 26,3 \cdot 10^3 = 298\ W$

Les pertes joules rotoriques sont donc de $p_{jrN} = 298\ W$

A.1.6. Les pertes mécaniques étant négligées , la puissance utile développée par le moteur est donnée par $P_{uN} = P_{trN} - p_{jrN} = 26300 - 298 = 26,0\ kW$.

La puissance utile développée par le moteur est donc $P_{uN} = 26,0\ kW$

A.2. Expression simplifiée du moment du couple électromagnétique

A.2.1. D'après le schéma on a $I_0 = \frac{V}{L_M \omega} = \frac{338}{26,6 \cdot 10^{-3} \times 2\pi \times 88} = 23,0\ A$.

Le courant magnétisant est donc $I_0 = 23,0\ A$

A.2.2. D'après le modèle on a $\underline{V} = \frac{R}{g}\underline{I}_r + j\ell\omega\underline{I}_r$ donc $I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + (\ell\omega)^2}}$

A.2.3. Quand le glissement diminue on peut s'attendre à ce que $\frac{R}{g}$ devienne de plus en plus grand devant $\ell\omega$. En effet $\left(\frac{R}{g} = \frac{0,147}{0,01} = 14,7 >> \ell\omega = 2,38 \cdot 10^{-3} \times 2\pi \times 88 = 1,31\right)$

Alors $I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2}} = V\frac{g}{R}$ donc $I_r = V\frac{g}{R}$

A.2.4. On a $P_{tr} = 3\frac{R}{g}I_r^2$ donc $P_{tr} = 3\frac{R}{g}g^2\frac{V^2}{R^2}$

A.2.5. En remplaçant $I_r = V\frac{g}{R}$ dans $P_{tr} = 3\frac{R}{g}I_r^2$, on obtient $P_{tr} = 3\frac{\cancel{R}}{\cancel{g}}g^{\cancel{2}}\frac{V^2}{R^{\cancel{2}}}$

Soit $P_{tr} = 3g\frac{V^2}{R}$ et comme $P_{tr} = C\cdot\Omega_S$ donc $C = \frac{P_{tr}}{\Omega_S} = 3g\frac{V^2}{R\cdot\Omega_S}$ de la forme $C = k\cdot g$ avec

$$k = 3\frac{V^2}{R\cdot\Omega_S} = 8433\ Nm$$

A.3. Fonctionnement en traction

A.3.1. Avec $C = 8433\cdot g$ et C=170 Nm alors $g = \frac{C}{k} = \frac{170}{8433} = 2{,}02\cdot10^{-2}$ soit $g = 2{,}02\cdot10^{-2} = 2\%$

A.3.2. Alors $N = N_S(1-g) = 2640\times(1-0{,}0202)$ donc $N = 2587$ tr/min

A.3.3. De $I_r = V\frac{g}{R} = 338\times\frac{0{,}0202}{0{,}147}$ donc $I_r = 46{,}4\ A$

A.3.4. On voit que $\boxed{\tan\varphi_r = \frac{\ell\omega}{\frac{R}{g}} = \frac{g\ell\omega}{R}} = \frac{0{,}0202\times2{,}38\cdot10^{-3}\times2\pi\times88}{0{,}147} = 0{,}180$ soit

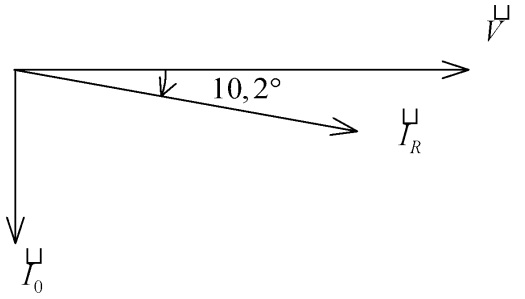
$\varphi_r = \arctan 0{,}180 = 10{,}2°$

A.3.5. Construction de Fresnel

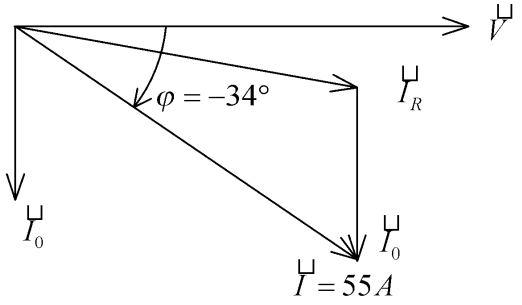
$\vec{I_0}$ est de 23 A et en retard de 90° sur $\vec{V}$

$\vec{I_r}$ est de 46,4 et en retard de 10,2° sur $\vec{V}$

avec l'échelle 5A/cm on a



A.3.6. De $i = i_0 + i_r$ donc $\vec{I} = \vec{I_0} + \vec{I_r}$ d'où la construction ci dessous



A.3.7 On mesure sur la construction $I = 55\ A$ et $\varphi = 34{,}5°$

A.3.8. Avec $P = 3VI\cos\varphi = 3\times338\times55\times\cos34{,}5 = 45961$ on trouve donc P=46000 W (bien loin de P_{un})

Solution 23: Exercice 23:BTS Etk 2005 Nouméa : Amélioration du fonctionnement d'une scie

A.1 Fonctionnement electromécanique

A.1.1. fréquence de synchronisme 1500 tr/min donc p=2

A.1.2. $$g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1455}{1500} = 3\%$$ donc le glissement vaut 3 %

A.1.3. $$P_{an} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{22000}{0,933} = 23580\ W$$ soit P_{an} = 23,6 kW

A.1.4. $P_{an} = 3 \cdot V \cdot I_n \cdot k$ avec k=cosϕ en sinusoidal k=0.85 donc ϕ = 31,2°

A.1.5. $$I_n = \frac{P_{an}}{3 \cdot V \cdot k} = \frac{23600}{3 \cdot 230 \cdot 0,85} = 40,2A$$ donc I_n = 40.2 A

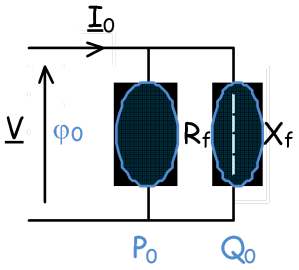
A.1.6. $$C_{un} = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{22000}{2\pi \times 1455 \times \frac{2\pi}{60}} = 144,4\ Nm$$ donc C_{un} = 144,4 Nm

A.2 Modèle équivalent

A.2.1.a). $$P_{a0} = 3\frac{V^2}{R_f} \Rightarrow R_f = 3\frac{V^2}{P_{a0}} = 3\frac{230^2}{900} = 176,3\ \Omega$$ soit R_f = 176,3 Ω

R_f résistance « fictive » correspondant aux pertes fer.

A vide



$$Q_{a0} = P_{a0} \tan\varphi_0 = 6973VAr$$ et $$Q_{a0} = 3\frac{V^2}{X_f}$$

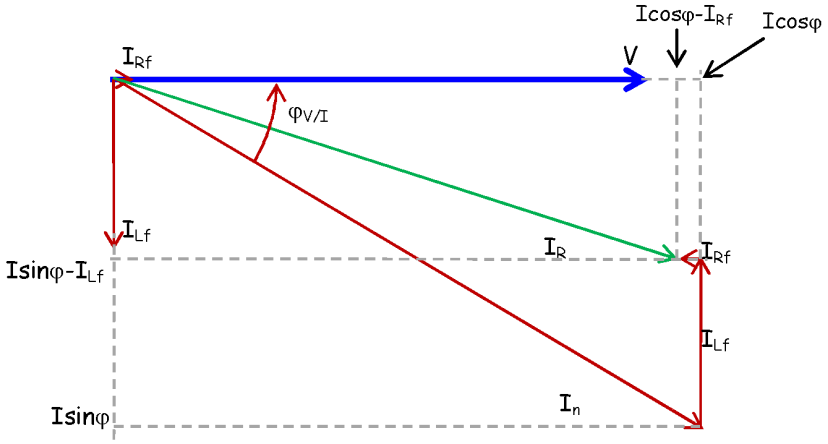
$$X_f = L_f\omega = \frac{V^2}{6973/3} = 22,8\ \Omega$$

Donc soit X_f =22,8 Ω

X_f réactance de magnétisation du moteur asynchrone

A.2.1.b) $$I_{Rf} = \frac{V}{R_f} = 1,3A$$ et $$I_{Lf} = \frac{V}{X_f} = 10,1A$$ donc I_{Rf} = 1,3 A et I_{Lf} = 10,1 A

A.2.2.



$$\vec{I} = \vec{I}_{R_f} + \vec{I}_{L_f} + \vec{I}_R$$

Cos ϕ=0,85 donc $\phi_{V/I}$ =arcos 0.85 = +32°

Si on prend V comme origine des phases.

$$\left[I\angle\varphi_{I_n/V}\right] = \left[I_{R_f}\angle\varphi_{I_{R_f}/V}\right] + \left[I_{L_f}\angle\varphi_{I_{L_f}/V}\right] + \vec{I}_R$$

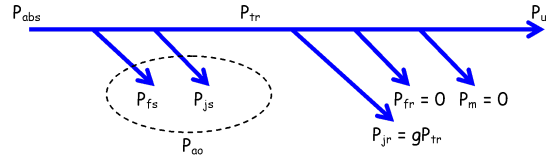
$$[40,2\angle -32°] = [1,3\angle 0°] + [10,1\angle -90°] + \vec{I_R}$$

$$I_R = \sqrt{\left(I\sin\varphi - I_{Lf}\right)^2 + \left(I\cos\varphi - I_{Rf}\right)^2}$$

$$I_R = \sqrt{11,08^2 + 32,87^2} = 34,7\ A$$

Donc I_R = 34,7A

A.2.3. Si on fait un bilan des puissances



En prenant le début du bilan de puissances il apparait : $P_{tr} = P_a - P_{a0} = 22,7\ kW$

ou si l'on prend la fin du bilan de puissances : $P_{tr} = P_u + gP_{tr}$ donc $P_{tr} = \frac{P_u}{1-g} = 22,7\ kW$ donc P_{tr} = 22,7 kW

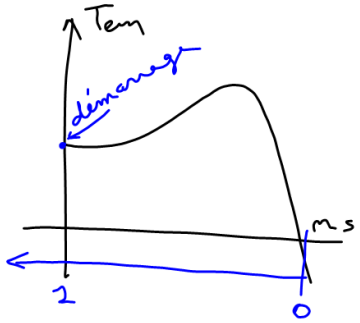
A.2.4. $P_{tr} = 3\frac{R}{g}I_R^2$ la puissance active est consommée par R/g

A.2.5. $\Rightarrow R = \frac{P_{tr}\times g}{3\times I_R^2} \Rightarrow R = \frac{22700\times 0,03}{3\times 34,7^2}$ donc R=0,189 Ω

A.2.6. $I_R = \frac{\underline{V}}{R/g + jX}$ donc $I_R = \frac{V}{\sqrt{X^2 + \left(R/g\right)^2}}$

A.2.7. $\left(\frac{V}{I_R}\right)^2 = X^2 + \left(R/g\right)^2$ donc $X = \sqrt{\left(\frac{V}{I_R}\right)^2 - \left(\frac{R}{g}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{230}{34,7}\right)^2 - \left(\frac{0,189}{0,03}\right)^2} = 2,07\ \Omega$ donc X=2,07Ω

A.2.8. $I_R = \frac{V}{\sqrt{X^2 + \left(R/g\right)^2}}$ avec g=1 $I_R = \frac{230}{\sqrt{2,16^2 + (0,189)^2}} = 106\ A$ donc I_R =106 A



A.3. Couple electromagnétique

A.3.1. $C_e = \frac{P_a}{\Omega} = \frac{P_{tr}}{\omega_s/p} = p\frac{P_{tr}}{\omega_s}$ donc $C_e = p\frac{P_{tr}}{\omega_s}$

A.3.2. $P_{tr} = 3\dfrac{R}{g}\dfrac{V^2}{X^2 + \left(R/g\right)^2}$ car $P_{tr} = 3\dfrac{R}{g} I_R^2$ avec $I_R = \dfrac{V}{\sqrt{X^2 + \left(R/g\right)^2}}$

A.3.3. $C_e = \dfrac{P_{tr}}{\Omega_s} = p\dfrac{P_{tr}}{\omega_s} = 3\dfrac{p}{\omega_s}\dfrac{R}{g}\dfrac{V^2}{X^2 + \left(R/g\right)^2}$ soit $C_e = 3\dfrac{p}{\omega_s}\dfrac{R}{g}\dfrac{V^2}{X^2 + \left(R/g\right)^2}$

A.3.4. $C_e = 3\dfrac{pR}{\omega_s}\cdot\dfrac{V^2}{gX^2 + \dfrac{R^2}{g}}$ avec $3\dfrac{pR}{\omega_s} = 3{,}59\cdot10^{-3}$

$R^2 = 35{,}3.10^{-3}$ et $X^2 = 4{,}67$

$$C_e = 3{,}59\cdot10^{-3}\cdot\frac{V^2}{g\times 4{,}67 + \dfrac{35{,}3\cdot10^{-3}}{g}}$$

D'où la valeur de

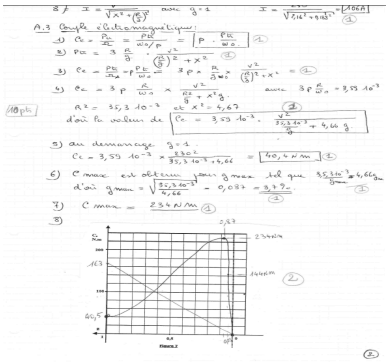
$$C_e = 3{,}59\cdot10^{-3}\cdot\frac{230^2}{4{,}67 + 35{,}3\cdot10^{-3}} = 40{,}4\ Nm$$

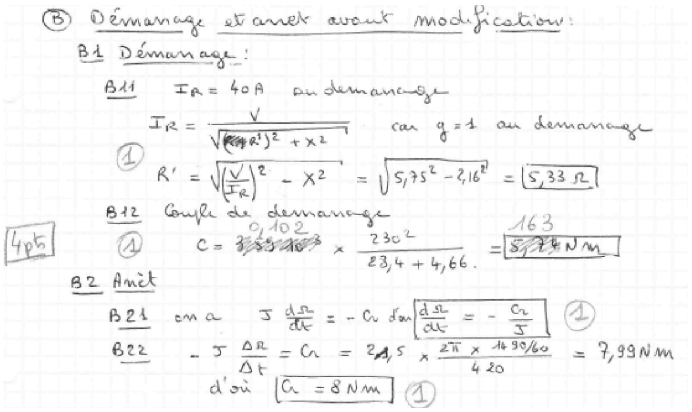
A.3.5 Au démarrage g=1

A.3.6. C_{max} obtenu pour g_{max} tel que $g\times 4{,}67 = \dfrac{35{,}3\cdot10^{-3}}{g}$ d'où $g_{\max} = \sqrt{\dfrac{35{,}3\cdot10^{-3}}{4{,}67}} = 0{,}087 = 8{,}7\%$

A.3.7. C_{max} = 234 Nm

A.3.8.





Solution 24: Exercice 24:BTS Etk 2004 Nouméa : générateur éolien

A.I. Génératrice reliée au réseau

A.1. Fonctionnement nominal

A.1.1. $g = \frac{1500 - 1580}{1500} = \boxed{-2\% = g}$

A.1.2. $I_n = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} = \frac{-660.10^3}{\sqrt{3} \times 690 \times \cos 152} = \boxed{625\ A = I_n}$

A.1.3. $P_{js} = \frac{3}{2} R_A I_n^2 = \frac{3}{2} \times 9,6.10^{-3} \times 625^2 = \boxed{5633\ W = P_{js}}$

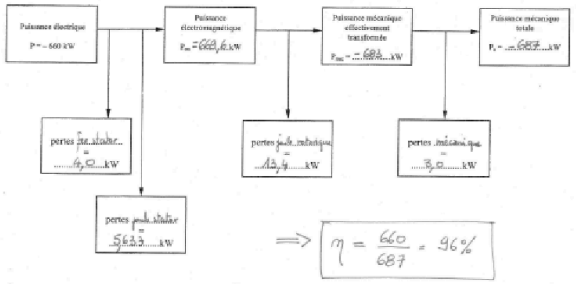
A.1.4. $P_{em} = P_{ab} - P_{js} - P_{fs} = -660 - 5,6 - 4 = \boxed{-669,6\ kW = P_{em}}$

$P_{jr} = g P_{em} = \boxed{13,4\ kW = P_{jr}}$

A.1.5. $P_{mec} = P_{em} - P_{jr} = -669,6 - 13,4 = \boxed{-683\ kW = P_{mec}}$

et $P_a = P_{mec} - P_m = \boxed{-687\ kW = P_a}$

A.1.6.



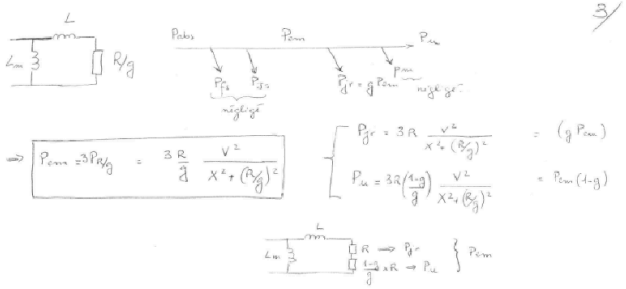
$\Rightarrow \eta = \frac{660}{687} = 96\%$

A.1.7 $f_r = g \times f = 0,02 \times 50\ Hz = \boxed{1\ Hz = f_r}$

$p_m = 2 \times \frac{1500}{60} = 25 \times 2 = 50\ Hz$

A.1.8. Les pertes fer sont proportionnelles à la fréquence du courant rotorique (1 Hz) faible ⇒ pertes fer rotorique négligeables.

3/



$\Rightarrow \boxed{P_{em} = 3 P_{R/g} = 3 \frac{R}{g} \frac{V^2}{X^2 + (R/g)^2}}$

$\begin{cases} P_{jr} = 3R \frac{V^2}{X^2 + (R/g)^2} = (g P_{em}) \\ P_u = 3R\left(\frac{1-g}{g}\right) \frac{V^2}{X^2 + (R/g)^2} = P_{em}(1-g) \end{cases}$

II.4. $C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega_s} = \frac{3R}{g\Omega_s} \frac{V^2}{X^2 + (R/g)^2}$

$\boxed{C_{em} = \frac{3RV^2/\Omega_s}{gX^2 + R^2/g}} \Rightarrow$

* $K = \frac{3V^2R}{\Omega_s} = \frac{3 \times \left(\frac{690}{\sqrt{3}}\right)^2}{1500 \times 2\pi/60} \times 0,014$

$\boxed{K = 42,4}$

* $b = X^2 = 0,106^2 \Rightarrow \boxed{b = 11,2.10^{-3}}$

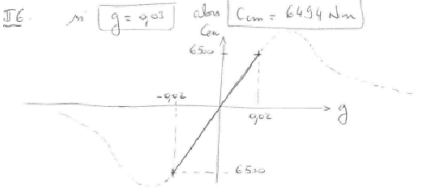
* $a = R^2 = 0,014^2 \Rightarrow \boxed{a = 2.10^{-4}}$

II.5. si g est faible

gX^2 est à comparer à $R^2/g \Rightarrow \frac{0,05 \times 11,2.10^{-3}}{56.10^{-4}} \ll \frac{2.10^{-4}/0,05}{4.10^{-3}}$

$\Rightarrow C_{em} = \frac{3V^2R/\Omega_s}{R^2/g} = \boxed{g \frac{3V^2}{R\Omega_s} = C_{em}} = g \times \frac{3 \times \left(\frac{690}{\sqrt{3}}\right)^2}{0,014 \times 1500 \times 2\pi/60} \Rightarrow \boxed{C_{em} = 216.10^3 \times g}$

II.6. si $\boxed{g = 0,03}$ alors $\boxed{C_{em} = 6494\ Nm}$



II.7. pour $g = -2\%$ $(n = 1530\ tr/min)$

alors $\boxed{C_{em} = -4330\ Nm}$

A.1.9. $P_{mec} = T_a \Omega$ 2/

$T_{em} = \frac{-683.10^3}{1530 \times 2\pi/60} = \boxed{-4262\ Nm = T_{em}}$

A.II Modélisation de la machine

A.II.1 si à vide $n_s \approx n \Rightarrow g = 0 \Rightarrow R/g \to \infty \Rightarrow$ le courant ne va que dans $L_m \Rightarrow$

$X_m = \frac{V}{I} = \frac{690/\sqrt{3}}{215} = \boxed{1,85\ \Omega = X_m}$

A.II.2. Rotor bloqué $\Rightarrow g = 1$

* la puissance n'est absorbée que par $R/g = R$

$\Rightarrow P = 13,2\ kW = 3RI^2 \Rightarrow R = \frac{13,2.10^3}{3 \times 590^2} = \boxed{12\ m\Omega = R}$

* On peut modéliser la machine par ce modèle



où $V_{cc} = Z I = \sqrt{(Lw)^2 + R^2} \times I$

$\Rightarrow Z = \frac{V_{cc}}{I}$

$\Rightarrow (Lw)^2 = \left(\frac{V_{cc}}{I}\right)^2 - R^2$

$L = \frac{1}{w}\sqrt{\left(\frac{V_{cc}}{I}\right)^2 - R^2}$

$L = \frac{1}{2\pi \times 50}\sqrt{\underbrace{\left(\frac{103/\sqrt{3}}{590}\right)^2}_{0,1^2} - 0,012^2} = 0,3.10^{-3}$

$\Rightarrow \boxed{L = 0,3\ mH}$

$X = \sqrt{\left(\frac{V_{cc}}{I}\right)^2 - R^2} = \boxed{0,10007\ \Omega = X}$

A.II.3 $P_{R/g} = \frac{R}{g} I^2$ or $I = \frac{V}{\sqrt{X^2 + R/g^2}}$

$\Rightarrow \boxed{P_{R/g} = \frac{R}{g} \frac{V^2}{X^2 + (R/g)^2}}$

=> Comme $P_{R/g}$ est la seule puissance active au rotor

la puissance électromagnétique est $P_{em} = 3P_{R/g} - 3P_{jr}$

donc la somme des trois puissance consommée par R/g auxquelles on soustrait la perte joule rotorique

Solution 25: Exercice 25:BTS Etk 2004 Métro (Production d'électricité avec une éolienne)

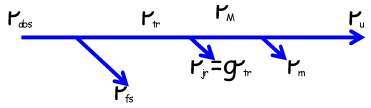
A.1.1. sous réseau 50 Hz avec p=2

donc n_S = 1500 tr /min

donc Ω_S =1 57 rad/s

$$g = \frac{n_S - n}{n_S} = 1\%$$

A.1.2.



A.2. Calcul des couples nominaux

A.2.1.
$$T_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{300 \cdot 10^3}{1485 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 1,93\ kNm$$

A.2.2.
$$T_m = \frac{p_m}{\Omega} = \frac{1 \cdot 10^3}{1485 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 6,43\ Nm$$

A.2.3. $T_e = \frac{P_{tr}}{\Omega_S}$ mais aussi $T_e = T_m + T_u = 1,94\,kNm$

A.3. Calcul des puissances nominales

A.3.1. $P_{tr} = T_e \cdot \Omega_S$ et $p_{jr} = gP_{tr}$ donc $P_{tr} = 304\ kW$ et $p_{jr} = 1\% \times 304 = 3,04\,kW$

A.3.2. $P_{abs} = \frac{P_u}{\eta}$ et $p_{fs} = P_{abs} - P_{tr}$ donc $P_{abs} = 313\ kW$ et $p_{fs} = 313 - 304 = 8,46\,kW$

A.4. Modèle électrique équivalent d'une phase de la machine asynchrone

A.4.1. $p_{fs} = 3\frac{V^2}{R_f}$ donc $R_f = 3\frac{V^2}{p_{fs}} = 18,8\Omega$

A.4.2.

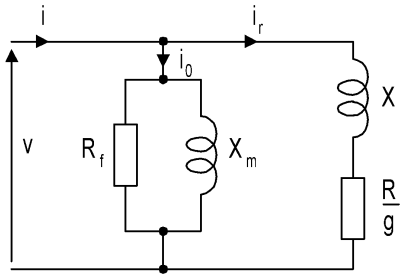


figure 2

$$I_r = \frac{V}{\sqrt{(X)^2 + \left(\frac{R}{g}\right)^2}}$$ donc $I_r = 445\ A$

A.4.3. $P_{tr} = 3\frac{R}{g}I_r^2$ donc $P_{tr} = 297\ kW$

L'écart est de 2,4 % ce qui correspond bien à la précision liée aux 2 chiffres significatifs utilisés

Partie B Fonctionnement en génératrice hypersynchrone

B.1. Vitesse et glissement en condition nominale

B.1.1. Si la vitesse de rotation des poles est n_r= 43,3 tr/min avec le multiplieur de vitesse de rapport m= 35 donc n = m.n_r = 1516 tr/min

$$g = \frac{n_S - n}{n_S} = \frac{1500 - 1516}{1500} = -1,03\%$$

B.1.2. la vitesse de rotation est supérieur au synchronisme la machine fonctionne donc en génératrice hypersynchrone

B.2. Caractéristique couple vitesse de la machine

B.2.1. $P_{em} = P_{tr} = T_e \times \Omega_S = 3\frac{R}{g} \times I_r^2$ et si $I_r \approx g\frac{V}{R} \Rightarrow T_e \approx \frac{3}{\Omega_S}\frac{R}{g}\frac{g^2V^2}{R^2}$

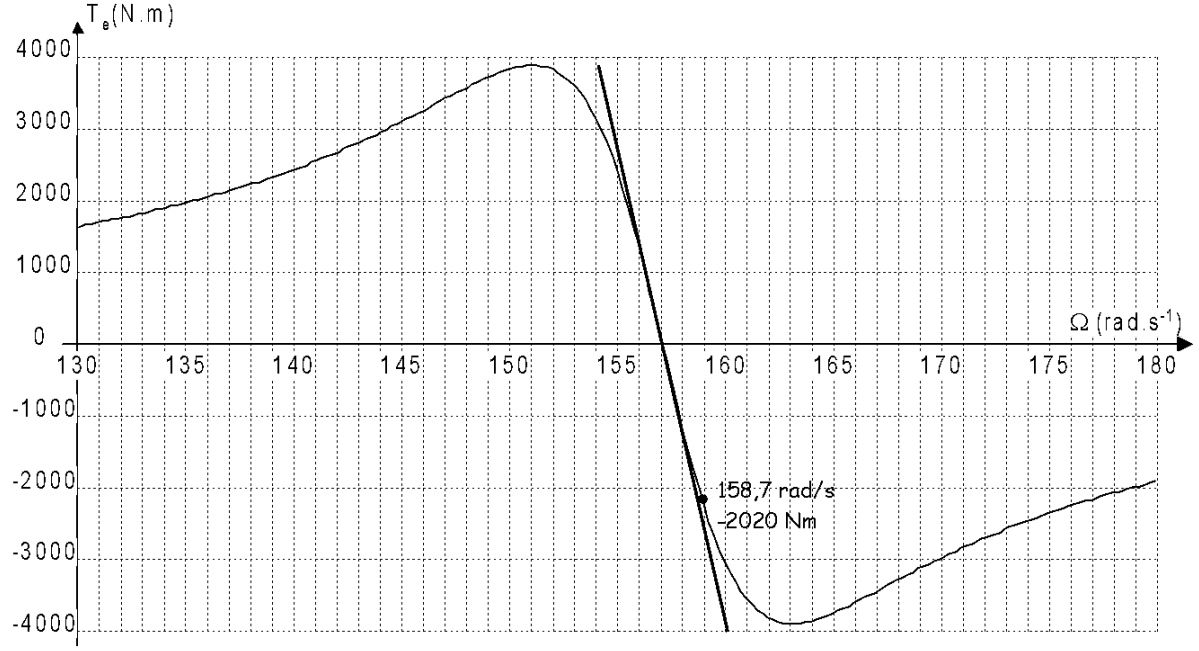
Avec $g = 1 - \frac{\Omega}{\Omega_S} \Rightarrow T_e = \frac{3V^2}{R\Omega_S}\left(1 - \frac{\Omega}{\Omega_S}\right)$

Alors

Ω	$0,99 \times \Omega_S$	Ω_S	$1,01 \times \Omega_S$
T_e	$T_e = \frac{3 \times 230^2}{5 \cdot 10^{-3} \times 157}\left(1 - \frac{155,4}{157}\right) = 2020$	0	$T_e = \frac{3 \times 230^2}{5 \cdot 10^{-3} \times 157}\left(1 - \frac{158,6}{157}\right) = -2020$

B.2.2. La caractéristique approchée est tangente à la caractéristique exacte pour $\Omega=\Omega_S$

B.2.3. Point de fonctionnement nominal de l'éolienne



B.3. Application :

B.3.1.

La puissance à l'entrée du multiplicateur $P_r = -306\,kW$

B.3.2. D'après B.2.1. $T_e \cdot \Omega_S \cdot R = 3gV^2 \Rightarrow g \approx \frac{T_e \cdot \Omega_S \cdot R}{3V^2} = \frac{-1882 \cdot 157 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{3 \times 230^2} = -0,93\%$

B.3.3. avec $I_r = \left|\frac{gV}{R}\right| \Rightarrow I_r = 428\,A$

B.3.4. Expression de la puissance réactive consommée par la machine asynchrone :

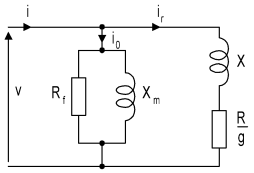


figure 2

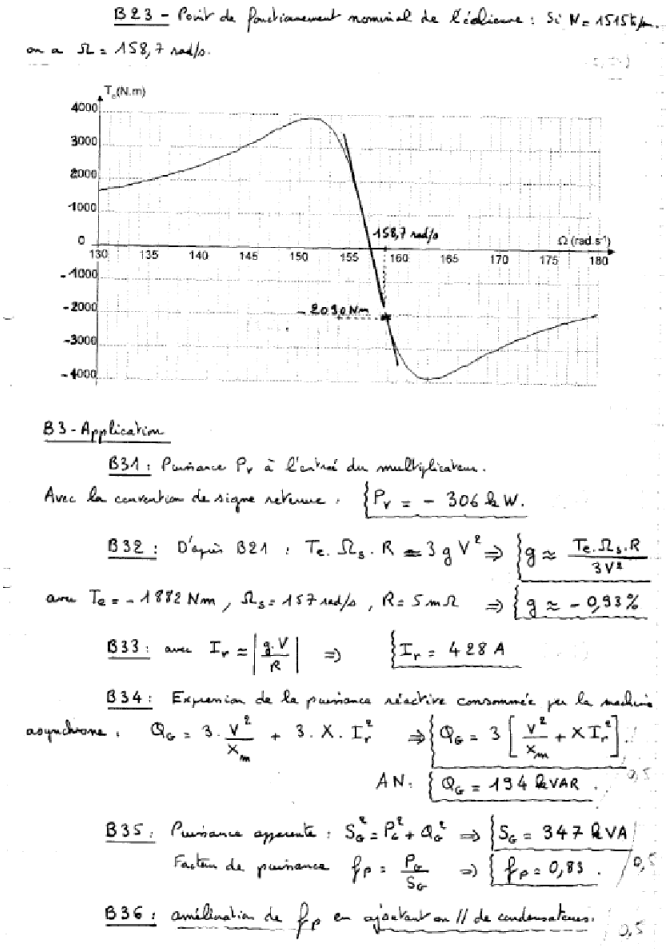
$$Q_G = 3\frac{V^2}{X_m} + 3 \cdot X \cdot I_r^2 = 3\left[\frac{V^2}{X_m} + X \cdot I_r^2\right] = 194\ kVAr$$

B.3.5. Puissance apparente $S_G^2 = P_G^2 + Q_G^2 \Rightarrow S_G = 347\ kVA$

$$f_P = \frac{P_G}{S_G} = \frac{287,6}{347} = 0,83$$

Et le facteur de puissance

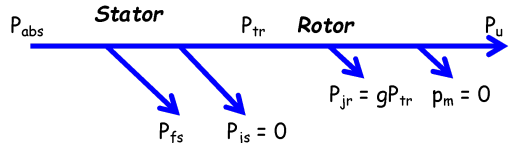
B.3.6. Amélioration du f_p en mettant des condensateurs en triangle



Solution 26: Exercice 26:BTS Etk 2002 Nouméa (Etude d'une station de pompage)

1.1. ***Analyse des essais***

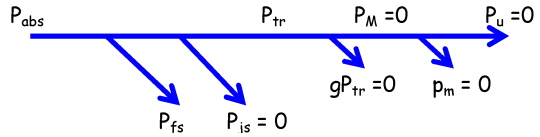
1.1.1. D'après la plaque signalétique 230 V sont attendus par enroulement. Le réseau présentant une tension de 400V entre phase, il faut appliquer une tension simple de ce réseau pour que chaque enroulement soit soumis à 230 V donc il faut un **couplage étoile**



1.1.2.

1.1.3. $P_{jr} = g\,P_{tr}$

1.1.4. *A vide*



$P_{absV} = P_{fs} = 570$ W

En prenant n_S=1500 tr/min donc p=2

Le glissement vaut $g = \dfrac{1500-1425}{1500} = 5\%$ soit g=5%

Puissance transmise :

$$P_{tr} = P_{jr} + P_u$$

$$\Rightarrow P_{tr} = gP_{tr} + P_u$$

$$\Rightarrow P_{tr} - gP_{tr} = P_u$$

$$\Rightarrow P_{tr}\left(1-g\right) = P_u$$

$$\Rightarrow P_{tr} = \frac{P_u}{1-g} = 9474\,W$$

soit P_{tr} = 9,47 kW

Couple Electromagnétique : $T_{em} = \dfrac{P_{tr}}{\Omega_S} = \dfrac{9474}{2\pi \times \dfrac{1500}{60}} = 60,3\,Nm$ soit T_{em}=60,3 Nm

Autre méthode : comme

$$T_u = T_{em} - T_{\frac{P}{0}}$$

$$T_u = T_{em} = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{9000}{2\pi \times \dfrac{1425}{60}} = 60,3\,Nm$$

$P_{jr} = g \cdot P_{tr} = 474\ W$ ou $P_{jr} = P_{tr} - P_u = 474\ W$ soit P_{jr} = 474 W

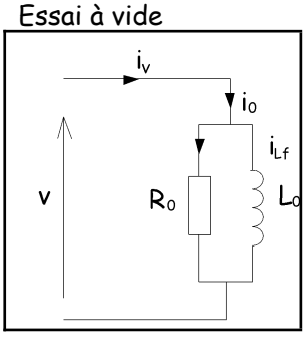
Puissance absorbée : $P_{abs} = P_{tr} + P_{fs} = 9474 + 570 = 10044\ W$ soit P_{abs} =10,044 kW

Facteur de puissance $f_P = \dfrac{P_a}{\sqrt{3}\cdot U \cdot I} = \dfrac{10044}{\sqrt{3}\cdot 400 \cdot 17} = 0,853$ donc f_P=0,853

Rendement $\eta = \dfrac{P_u}{P_{abs}} = \dfrac{9000}{10044} = 0,896$ donc η=0,896

1.2. ***Modélisation***

1.2.1. Essai à vide



V= 230 V

P_V= 570 W

I_V= 7A

Il apparait qu'un bilan des puissances à vide permet de dissocier la puissance active modélisée par R_0 de la puissance réactive associée à L_0

La puissance active à vide consommée par R_0 est telle que

$$P_v = \frac{3\times V^2}{R_0} \Rightarrow R_0 = \frac{3\times V^2}{P_v} = \frac{3\times 230^2}{570} = 278\,\Omega$$

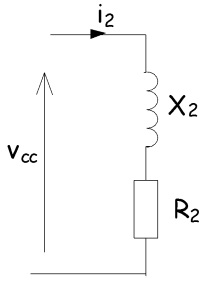
donc R_0 = 278 Ω

Puis comme on connait V et I_V on détermine $S_V = 3VI_V$ puis on calcule

$$Q_v = \sqrt{S^2 - P_v^2} = \sqrt{9 \times V^2 \times I_v^2 - P_v^2} = 4816\ VAr$$

Donc comme pour les 3 enroulements $Q_v = \dfrac{3 \times V^2}{X_0}$ alors $X_0 = \dfrac{3 \times V^2}{Q_v} = 33\,\Omega$ donc X_0 = 33 Ω

1.2.2. Essai rotor bloqué



$$r_2 = \frac{P_{CC}}{3 \cdot I_{CC}^2} = \frac{603}{3 \cdot 17^2} = 0,696\,\Omega$$ donc r_2 = 0,696 Ω

$$V_{CC} = \frac{71}{\sqrt{3}} = 41V$$

$$Z_2 = \frac{V_{CC}}{I_{CC}} = 2,41\ \Omega$$

$$L_2\omega = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2} = 2,2\,\Omega$$ donc X_2 = 2,2 Ω

Autre méthode : comme précédemment un bilan des puissances est possible.

$$Q_{CC} = 3X_2 I_{CC}^2$$

$$Q_{CC} = \sqrt{S_{CC}^2 - P_{CC}^2} = \sqrt{\left(\sqrt{3} \times 17 \times 71\right)^2 - 603^2} = 2002\ VAr$$

$$X_2 = \frac{Q_{CC}}{3 \times I_{CC}^2} = \frac{2002}{3 \times 17^2} = 2,3\ \Omega$$

1.3. ***Expression du moment du couple***

1.3.1. Pour démontrer la formule du couple trois équations sont nécessaires

$$T_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_S}$$

Le couple

La puissance transmise est celle qui est consommée dans r_2/g

$$P_{tr} = 3\frac{r_2}{g} \times I_2^2$$

$$I_2 = \frac{V}{Z_{r_2, l_2}} = \frac{V}{\sqrt{\left(L_2\omega\right)^2 + \left(\dfrac{r_2}{g}\right)^2}}$$

Et le courant

$$T_{em} = \frac{3}{\Omega_S}\frac{r_2}{g} \times \frac{V^2}{\left(L_2\omega\right)^2 + \left(\dfrac{r_2}{g}\right)^2} = \frac{3V^2\left(\dfrac{r_2}{g}\right)}{\Omega_S\left[\left(L_2\omega\right)^2 + \left(\dfrac{r_2}{g}\right)^2\right]}$$

.. D'où

1.3.2. Couple de démarrage :

Dans ce cas g=1

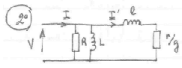
$$T_{em} = \frac{1}{157} \times \frac{3 \times 230^2 \times 0,8}{\left(0,8\right)^2 + \left(2,5\right)^2} = 117,4\ Nm$$

D'où d'où T_{em}=117,4 Nm

Solution 27: Exercice 27:BTS Etk 1998 Nouméa (Etude d'un monte charge)

(1°) $p = \frac{f}{n_s} = \frac{50}{1500 \times \frac{1}{60}} = 2$ (n_s en tr/s)

(2°)



a) Essai n°1 : $V = 220\,V$, $I_0 = 9{,}5\,A$, $P_0 = 630\,W$, n_s

$n = n_s \Rightarrow g = 0 \Rightarrow$ schéma équivalent pour 1 phase



La résistance mesure la puissance active $\Rightarrow P_0 = 3\frac{V^2}{R}$

$\Rightarrow R = \frac{V^2}{3P_0} = \frac{220^2}{3 \cdot 630} = 76{,}8\,\Omega = R \Rightarrow \boxed{R = 230\,\Omega}$

La bobine consomme de la puissance réactive que l'on va déterminer en calculant d'abord la puissance apparente de l'ensemble puis en calculant Q

$\Rightarrow S = 3VI = 3 \times 220 \times 9{,}5 = 6270\,VA$

$\Rightarrow Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{6270^2 - 630^2} = 6238\,VAr$

La puissance réactive consommée par la bobine est donnée par $Q = \frac{3V^2}{L\omega}$

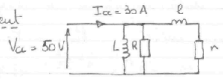
$\Rightarrow L = \frac{V^2}{Q\omega} = \frac{3 \cdot 220^2}{6238 \times 2\pi \times 50} = 74\,mH$

$\Rightarrow \boxed{L = 74\,mH}$

b) Essai n°2 : Rotor bloqué $\Rightarrow n = 0 \Rightarrow g = 1$

$V_{cc} = 50\,V$; $I_{cc} = 30\,A$; $P_{cc} = 830\,W$

Schéma équivalent



$P_R = 3\frac{V_{cc}^2}{R} = 3\frac{50^2}{230} = \boxed{32{,}6\,W = P_R}$

$Q_L = 3\frac{V_{cc}^2}{L\omega} = 3 \times \frac{50^2}{0{,}074 \times 2\pi \times 50} = \boxed{322\,VAr = Q_L}$

Par Boucherot on détermine P_r : $P_r = P_{cc} - P_R = 830 - 32{,}6 = \boxed{797\,W}$

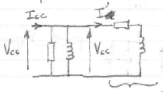
Q_ℓ : $Q_\ell = Q_{cc} - Q_L$ or $Q_{cc} = \sqrt{S_{cc}^2 - P_{cc}^2}$

$Q_{cc} = \sqrt{(3V_{cc}I_{cc})^2 - P_{cc}^2}$

$= \sqrt{(3 \times 50 \times 30)^2 - 830^2} = 4422\,VAr$

$\Rightarrow Q_\ell = Q_{cc} - Q_L = 4422 - 322 = \boxed{4100\,VAr = Q_\ell}$

Comme les dipôles l et r sont en série, connaissant les puissances qu'ils consomment, il faut déterminer au préalable les courant qui les traverse.



$\Rightarrow$ On détermine le courant $I' = \frac{S_{r\ell}}{3V_{cc}} = \frac{\sqrt{P_r^2 + Q_\ell^2}}{3V_{cc}}$

$I' = \frac{\sqrt{4100^2 + 797^2}}{3 \times 50} = 27{,}8\,A$

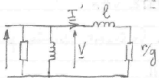
Q_ℓ et P_r $\Rightarrow$ Comme $P_r = 3rI'^2 \Rightarrow r = \frac{P_r}{3I'^2} = \frac{797}{3 \times 27{,}8^2} = 0{,}34\,\Omega$

$\Rightarrow \boxed{r = 0{,}34\,\Omega}$

Et comme $Q_\ell = 3L\omega I'^2 \Rightarrow L = \frac{Q_\ell}{3\omega I'^2} = \frac{4100}{3 \times 2\pi \times 50 \times 27{,}8^2}$

$\Rightarrow \boxed{L = 56\,mH}$

(3°) a)



$\Rightarrow \underline{I'} = \frac{\underline{V}}{\frac{r}{g} + jL\omega}$ La loi des mailles : $\underline{V} = jL\omega\underline{I'} + \frac{r}{g}\underline{I'}$

$\Rightarrow \boxed{I' = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{r}{g}\right)^2 + (L\omega)^2}}} = \frac{gV}{\sqrt{r^2 + (gL\omega)^2}}$

si $r^2 \gg gL\omega$ $\boxed{I' = g\frac{V}{r}}$

b) La puissance électromagnétique est située dans le rotor et correspond à sa puissance active. $P_{em} = P_r = 3\frac{r}{g}I'^2 = C_{em}\Omega_s$

$\Rightarrow C_{em} = 3\frac{r}{g} \times \frac{g^2\frac{V^2}{r^2}}{\Omega_s} = 3g\frac{V^2}{r} \times \frac{1}{\Omega_s} = 3g\frac{V^2}{r} \times \frac{1}{N_s \times \frac{2\pi}{60}}$ (N_s en tr/min)

c) $\boxed{g = \frac{N_s - N}{N_s}}$

d) $C_{em} = 3g\frac{V^2}{r} \times \frac{1}{\Omega_s} = 3\frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s^2} \times \frac{V^2}{r} = 3 \times \frac{(N_s - N) \times 2\pi/60}{(m_s \times 2\pi)^2} \times \frac{V^2}{r}$ (m_s en tr/s)

$C_{em} = 3 \times \frac{(N_s - N) \times 2\pi/60}{\left(\frac{p}{p} \times 2\pi\right)^2} \times \frac{V^2}{r} = 3 \times \frac{2\pi/60}{(2\pi/p)^2} \times \frac{1}{r} \times \frac{V^2}{f^2} \times (N_s - N)$ (f en Hz)

$C_{em} = A \times \frac{V^2}{f^2}(N_s - N)$ avec $A = \frac{3 \times p^2}{2\pi \times 60 \times r} = \frac{3 \times 4}{2\pi \times 60 \times 0{,}34} = 0{,}0838\,\frac{1}{\Omega}$

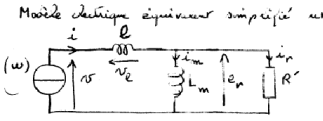
avec

Solution 28: Exercice 28: BTS Etk 1996 Métro

1- Commande du moment du couple du moteur asynchrone

L'étude se fait dans le cadre du régime d'alim. en sinusoïdal.

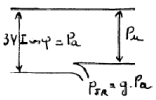
Modèle électrique équivalent simplifié utilisé dans cette étude :



l : ind. de fuites ramenées au stator
L_m : ind. magnétisante par phase
R' : résist. modélisant la puissance transmise au rotor.

Pour une phase

On peut ajouter à ce modèle le bilan de puissance compte tenu que l'on néglige les pertes fer et mécaniques ainsi que les pertes joules statoriques :



D'autre part, la caractéristique mécanique (moment du couple/vitesse) du ventilateur étant $\Gamma_r = 1{,}15\,10^{-3}\,n^2$ (avec n en tr/mn) on peut exprimer la puissance utile $P_u = \Gamma_r . \Omega$ avec $\Omega = \frac{\pi}{30} n$

donc $P_u = 1{,}15\,10^{-3} . \frac{\pi}{30} n^3$ (P_u en W, n en tr/mn).

11- Etude des caractéristiques du moteur :

111- puissance de rotation nominale :

Puisque $P_{uN} = 100$ kW, la relation ci-dessus entraîne : $n_N = 1099$ tr/mn

soit très proche de la valeur donnée $n_N = 1100$ tr/mn.

112- moment du couple nominal Γ_N

La relation $T = \Gamma_r$ pour n_N donne pour 1100 tr/mn : $T_N = 1390$ N.m.

113- Relations générales :

a)- Si ω est la pulsation des courants

si p est le nombre de paires de pôles

Alors $\Omega_s = \frac{\omega}{p}$

b)- Donc $I^2 = \left(\frac{R^2}{L_m^2 \omega_r^2} + 1\right) I_r^2 \Rightarrow I_r = \frac{L_m \omega_r}{\sqrt{R^2 + L_m^2 \omega_r^2}} I$ (3)

114- Puissance transmise au rotor.

C'est, par définition de R', la puissance ~~totale~~ consommée par R' sur le schéma équivalent (x 3 pour les 3 phases) $\Rightarrow P_a = 3 R' I_r^2$ (4)

115- Moment du couple moteur.

La puissance transmise au rotor est aussi $P_a = T_{em} . \Omega_s$

Comme les pertes mécaniques sont négligées on a aussi $\Gamma_{em} = \Gamma_m$.

Donc : $\Gamma_m . \Omega_s = 3 R' I_r^2$. On cherche une relation de la forme voulue sans le terme I_r. D'après 113 b) on peut écrire :

$$\Gamma_m = \frac{3R'}{\Omega_s} \cdot \frac{L_m^2 \omega_r^2}{R^2 + L_m^2 \omega_r^2} I^2 \quad \text{avec aussi } R' = R.\frac{\omega}{\omega_r} \text{ et } \Omega_s = \frac{\omega}{p}$$

Donc $\Gamma_m = \frac{3.R\omega}{\omega_r . \omega} . p \frac{L_m^2 \omega_r^2}{R^2 + L_m^2 \omega_r^2} I^2$

On peut écrire : $\Gamma_m = \frac{3 R . L_m^2}{\frac{R^2}{\omega_r} + L_m^2 \omega_r} I^2$ qui est bien de la forme proposée.

Le moment du couple moteur est imposé par I si ω_r = constante. (0,5)

116- $\Gamma_m = f(I^2)$ pour $\omega_r = 2{,}5$ rad/s $\Rightarrow \Gamma_m = 3{,}05\,10^{-2} . I^2$ (4)

Pour $\Gamma_{mN} = 1390$ N.m $\Rightarrow I_N = 214$ A très proche des 212 A estimés

1-2- Autopilotage

Il permet d'imposer $\omega_r = 2{,}5$ rad/s

131- On veut que n = 1000 tr/mn.

A cette vitesse le ventilateur nécessite un couple moteur $\Gamma_m = \Gamma_r = 1150$ N.m (0,5)

132- pulsation $\omega = \omega_r + p . \frac{\pi}{30} n \Rightarrow \omega = 317$ rad/s (0,5)

133- Valeur efficace I ?

De $\Gamma_m = \frac{3 R \omega}{\omega_r . \omega + \ldots} I^2$ avec les données on tire $\Rightarrow I = 194$ A (0,5)

b)- Également : c'est par définition $g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$ (0,5)

c)- pulsation des courants rotoriques ω_r. $\omega_r = g . \omega$ (0,5)

d)- relation entre ω, ω_r et n (en tr/mn)

D'après $\omega_r = g.\omega$ et avec $g = \frac{n_s - n}{n_s}$ ou $g = 1 - \frac{n}{n_s}$

on peut écrire : $\omega_r = \left(1 - \frac{n}{n_s}\right)\omega \Rightarrow \omega_r = \omega - n . \frac{\omega}{n_s}$

mais $n_s = \frac{30}{\pi} . \Omega_s$ donc $n_s = \frac{30}{\pi} . \frac{\omega}{p} \Rightarrow \frac{\omega}{n_s} = \frac{\pi}{30} p$

finalement $\omega_r = \omega - \frac{\pi}{30} . p . n \Rightarrow \omega = \omega_r + p \frac{\pi}{30} n$

qui est bien de la forme demandée $\omega = \omega_r + k n$ avec $k = 0{,}314$

e)- $\omega_r = 2{,}5$ rad/s avec $n_N = 1100$ tr/mn $\Rightarrow \omega_N = 348$ rad/s (0,5)

et $n_{Ns} = 1108$ tr/mn (0,5)

et $g_N\% = 0{,}78\%$ (0,5)

f)- rendement au point de fonctionnement nominal (estimation).

Dans les hypothèses faites $\eta = 1 - g \Rightarrow \eta_N \geq 99\%$ (≈ 100%)

La puissance électrique absorbée sera donc de l'ordre de 100 kW (0,5)

g) Puisque $V = 300$ V avec $\cos\varphi = 0{,}84 \Rightarrow I_N \approx 212$ A.

12- Etude du moment du couple moteur.

A partir du schéma équivalent / phase

121- de $R' = \frac{R}{g}$ avec $g = \frac{\omega_r}{\omega} \Rightarrow R' = R . \frac{\omega}{\omega_r}$ (0,5)

122- A l'évidence : $L_m \omega \underline{I_m} = R' \underline{I_r}$

avec $R' = R . \frac{\omega}{\omega_r} \Rightarrow L_m \omega \underline{i_m} = \frac{R}{\omega_r} \omega \underline{I_r}$ donc $\frac{\underline{I_m}}{\underline{I_r}} = \frac{R}{L_m . \omega_r}$ (0,5)

123- Les courants I_r et I_m peuvent être considérés comme les segments situés sur l'axe réel du courant I.

a) Alors : $I^2 = I_m^2 + I_r^2$

124- $l = 1{,}33$ mH ; $L_m = 14{,}5$ mH ; $R = 3{,}00$ mΩ

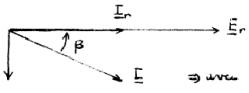
a) Traçons le Fresnel associé à i_r, i_m, i.

Calculons $R' = R . \frac{\omega}{\omega_r} \Rightarrow R' = 1{,}14\ \Omega$ } inutile en a) mais en b)

et $L_m \omega_r = 14{,}5\,10^{-3} . 314 \Rightarrow L_m \omega = 4{,}6\ \Omega$ }

Fresnel quelconque :

$$\text{tg}\,\beta = \frac{I_m}{I_r} = \frac{R}{L_m \omega_r}$$



soit $\text{tg}\,\beta = 0{,}248 \Rightarrow \beta = 13{,}9°$

$\Rightarrow$ avec $I = 194$ A $\Rightarrow I_r = 188$ A et $I_m = 46{,}8$ A

d'où la construction sur feuille réponse 1.

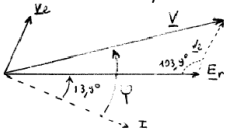
b) écrire la relation entre les tensions e_r, v_2 et v

La loi de la maille donne : $v = e_r + v_2$

$\vec{E}_r$ est en phase avec $\vec{I}_r$ et donne $R' I_r \Rightarrow E_r = 215$ V

$\vec{V}_2$, en quadrature avant sur $\vec{I}$, donne $2\omega L \Rightarrow V_2 = 81{,}8$ V

D'où Fresnel sur la feuille réponse 2 qui donne :



Par le calcul $V = 247$ V

Remarque : on vérifie bien $\varphi = 0{,}84$

c) On trouve $V = 247$ V comme val. efficace de v.

d) Puissance absorbée par le moteur en ce point.

$P = 3 V I \cos\varphi = 3 . 247 . 194 . 0{,}84 \Rightarrow P = 121$ kW. (0,5)

La puissance utile vaut $1150 . \frac{\pi}{30} 1000 \Rightarrow P_u = 120$ kW.

rendement = 1

125- On cherche une relation $V(n)$.

a) Nous savons que $R' = \frac{R}{\omega_r} . \omega$ est proportionnel à ω si ω_r = cte

Donc tous les éléments du schéma équivalent sont proportionnels à ω.

L'impédance résultante vue par le générateur est proportionnelle à ω

Comme cette impédance vaut $\frac{V}{I}$ on a donc bien $\boxed{V = K\omega I}$ (1) (5)

Avec $V = 247\,V$, $I = 194\,A$ et $\omega = 317$ rad/s $\Rightarrow$ $\boxed{K = 4{,}02\,10^{-3}\ \Omega s}$ (0,5)

b) en régime permanent le couple moteur $\Gamma_m = \alpha(\omega_R).I^2$ est égal au couple résistant au ventilateur $T_r = 1{,}15\,10^{-3}\,n^2$

On voit bien que $I = \sqrt{\frac{1{,}15\,10^{-3}}{\alpha(\omega_R)}}\ n$ soit $\boxed{I = k'.n}$ (0,5)

si ω_R = cte

c) Puisque $V = K\omega I$ et $I = k'n$ $\Rightarrow$ $V = Kk'\omega\ n$.

mais $\omega = kn + \omega_0$ $\Rightarrow$ $V = Kk'n(kn + \omega_0)$

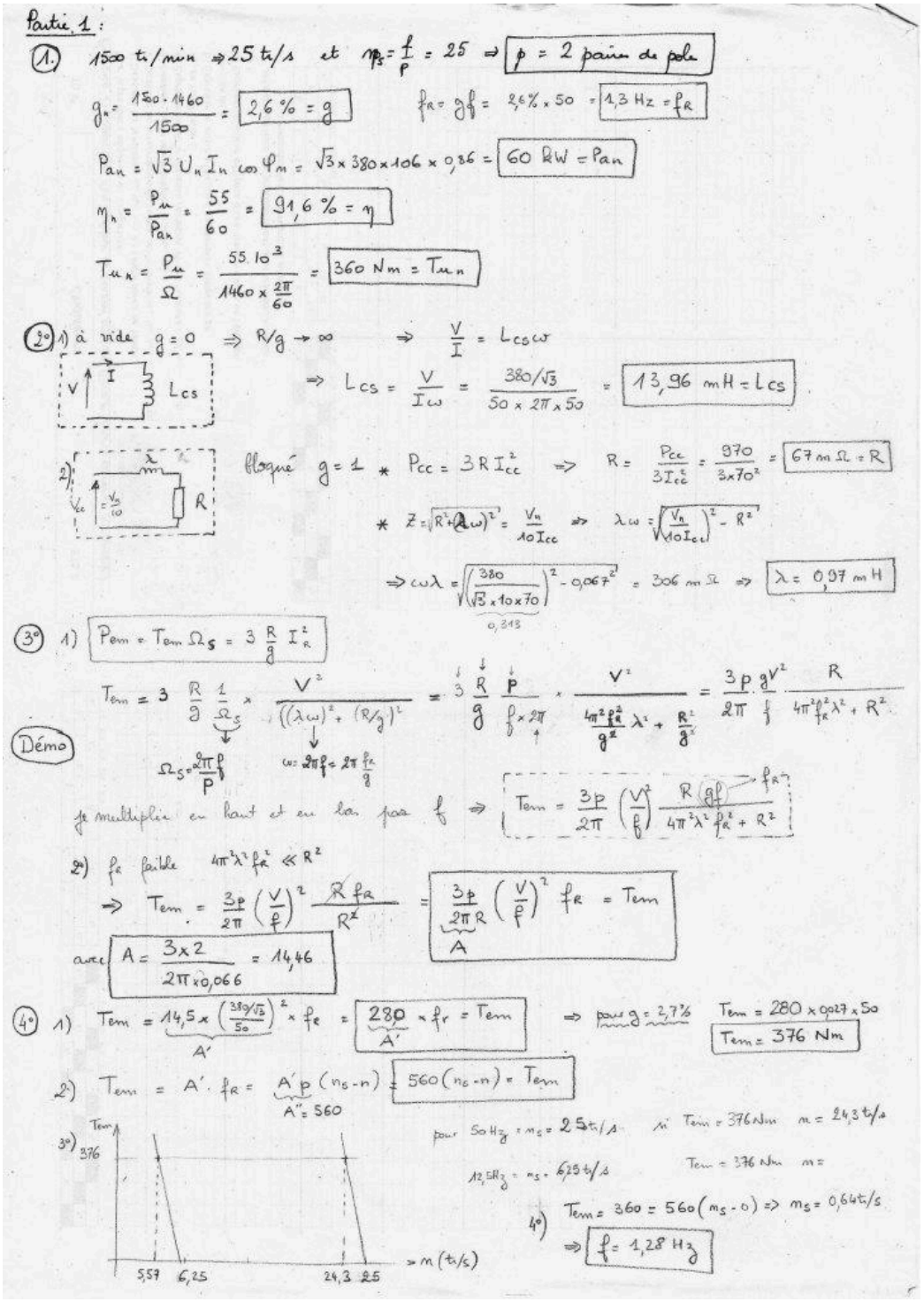
qu'on peut écrire $\boxed{V = Kkk'n^2 + Kk'\omega_0.n}$ (1) V en Volts, n en tr/mn.

soit en valeur numérique $\boxed{V = 2{,}45\,10^{-4}\,n^2 + 1{,}95\,10^{-3}\,n}$

d) négliger ω_r revient à exprimer $V \approx 2{,}45\,10^{-4}\,n^2$

pour $V = 300\,V$ $\Rightarrow$ $\boxed{n \approx 1110\ \text{tr/mn} \approx n_N}$ (0,5)

Solution 29: Exercice 29:BTS Etk 1996 Nouméa Association machine asynchrone / convertisseur de fréquence Autopilotage (Solution 29:)



Solution 30: Exercice 30:BTS Etk 1987 (Solution 30:)

1.

1.1. $X_0 = 14,6\ \Omega$; $P_{R'2} = 600$ W ; $Q_{X'2} = 1790$ Vars ; $R'_2 = 0,506\ \Omega$; $X'_2 = 1,51\ \Omega$

1.2. $$P_{tr} = 3\frac{R'_2}{g}\frac{V^2}{X'^2_2 + \left(\frac{R'_2}{g}\right)^2}$$; avec $P_{tr} = C_e \cdot \Omega \rightarrow C_e$ donné.

2.

2.1. $\Phi_M = \frac{V}{2{,}22Nf}$; φ_M = 6,61 mWb.

2.2. P = 3VIcos ϕ ; $P = C_e \frac{\omega}{p}$; $C_e = 636.I_a.\varphi_M$

2.3. I_a = 35,7 A ; g = 0,0675.

2.4. On doit avoir φ_M = cte ; Alors : $\frac{V}{f} = 4{,}4$.

Solution 31: Exercice 31:BTS Etk 1983 (Solution 31:)

1.

1.1. g = 3 %

1.2. cos ϕ = 0,797

1.3. I = 47,3 A

1.4. P_{jr} = 747 W

1.5. T = 159 Nm

2.

2.1. A partir du diagramme de Fresnel on voit que la composante active de J_{1a} = 21,8 A et que sa composante réactive est J_{1r} = 6,97 A → J_1 = 22,9 A.

2.2. De l'essai rotor ouvert → m = V_2/U → $m = \frac{395}{380\sqrt{3}}$ → m = 0,6 ; r_2 = 0,171 Ω

2.3. $\ell_2\omega$ = 1,82 Ω

2.4. A partir de l'expression de T avec les valeurs connues on calcule KU^2 = 992,5 uSI

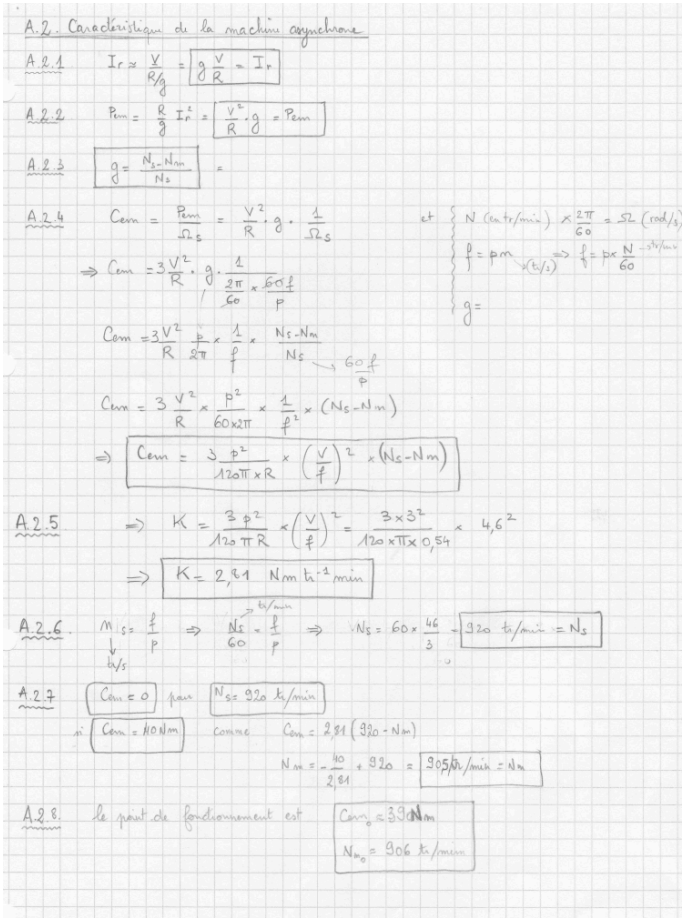
2.5. T_M = 273 Nm ; g_M% = 9,4 %

3.

3.1. Rh = 1,92 Ω à partir de R_2/g = cte si T = cte

3.2. P_{Rh} = 14,4 kW

Solution 32: Exercice 32: BTS Etk Nouméa 2010 ()



Solution 33: Exercice 33:BTS Etk Métro 2011 ()

A.1. Puissance hydraulique (6 points)

A.1.1. $P_A=P_B=P_{atm}=P_o=10^5$ Pa

A.1.2. Les vitesses et pressions sont les mêmes donc s'annulent

$$P_T = Q\left[\rho g\left(z_A - z_B\right)+\frac{1}{2}\rho\left(v_A^2 - v_B^2\right)+\left(p_A - p_B\right)\right] = Q\rho g\left(z_A - z_B\right) \quad \text{donc} \quad P_T = Q\rho g\left(z_A - z_B\right)$$

A.1.3. $P_T = Q\rho g\left(z_A - z_B\right)$

- Pour $Q=Q_1=50$ m³/s $P_T = 50\times 9{,}81\times 10^3\left(252-242{,}75\right)$ soit $P_T = 4{,}53\,MW$
- Pour $Q=Q_2=70$ m³/s $P_T = 70\times 9{,}81\times 10^3\left(252-242{,}75\right)$ soit $P_T = 6{,}35\,MW$

A.2. Puissance mécanique fournie à chaque alternateur (6 points)

A.2.1. La puissance mécanique se partage entre les deux alternateurs

- $P_{méca} = \frac{P_T}{2}\times\eta_T\times\eta_M = \frac{4{,}53}{2}\times 0{,}95\times 0{,}98 = 2{,}11\ MW$ donc chaque alternateur reçoit 2,11 MW pour Q_1
- $P_{méca} = \frac{P_T}{2}\times\eta_T\times\eta_M = \frac{6{,}35}{2}\times 0{,}95\times 0{,}98 = 2{,}95\ MW$ donc chaque alternateur reçoit 2,95 MW pour Q_2

A.2.2. $n_{alt} = n_T\times r = 214{,}3\times 3{,}5 = 750$ tr/min

La vitesse de l'alternateur est de 750 tr/min soit 12,5 tr/s.

Quelquesoit la puissance de turbinage la vitesse de rotation est la même. Seule la puissance électrique fournie change.