

Rapports de Jury:

2010: la notion de point de fonctionnement nominal est importante.
D'autre part, les modèles utilisés pour décrire les convertisseurs sont souvent trop simplifiés. Il faut être capable d'interpréter l'écart entre le système idéal et le système réel.
2007: un effort pédagogique incluant une approche physique des phénomènes impliqués dans le fonctionnement des moteurs permet d'éviter un montage constitué d'une série de mesures sans logique apparente.

Plan:

I) Conversion mécanique $\rightarrow$ électrique: la génératrice

- 1) Force électromotrice
- 2) Résistance de l'induit
- 3) Couple des forces de Laplace.
- 4) Puissances et rendement.

II) Conversion électrique $\rightarrow$ mécanique: le moteur asynchrone.

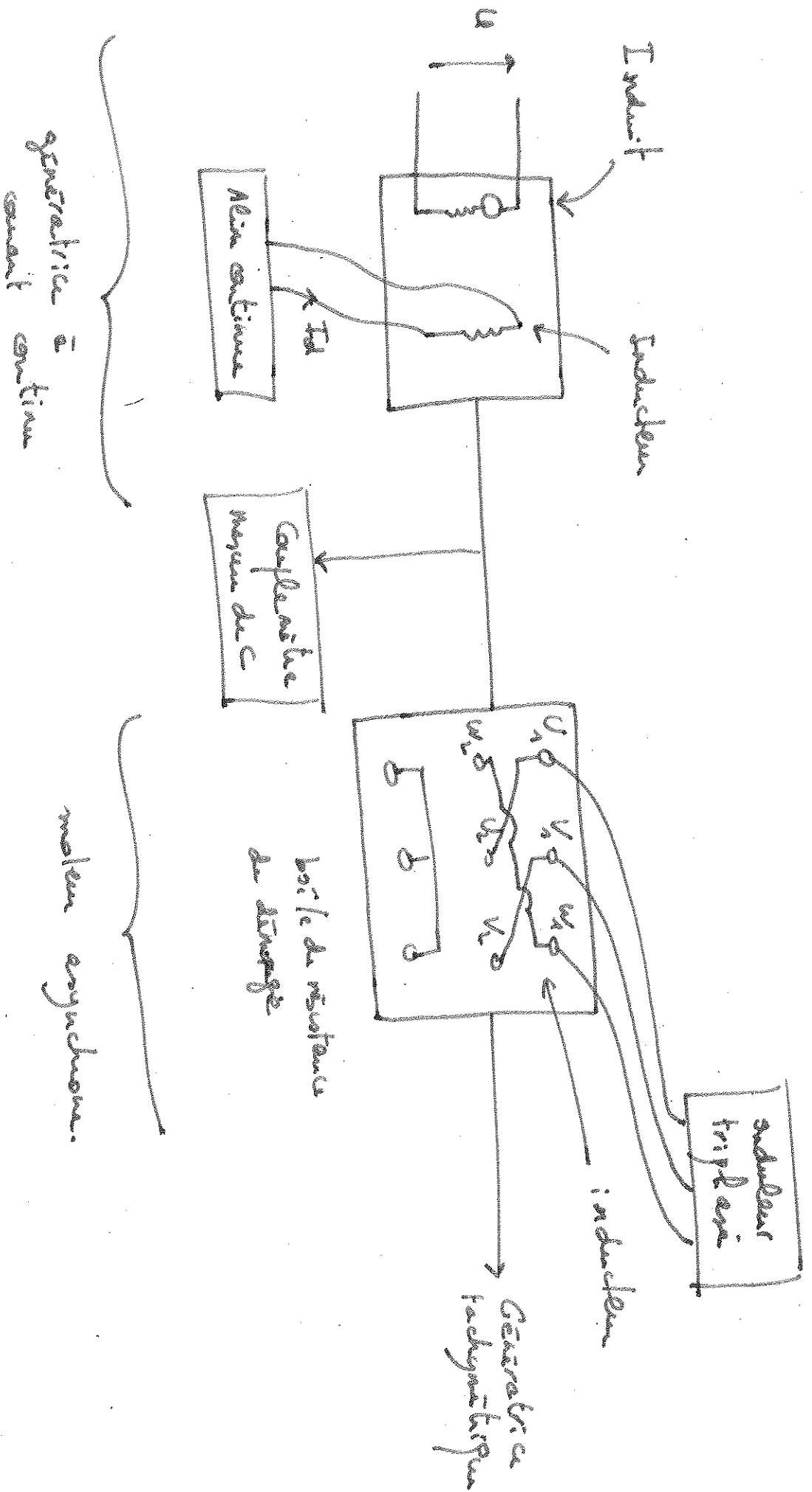
- 1) Couple des actions de Laplace
- 2) Puissances et rendement.

Bibliographie:

- [1] Génie Electrotechnique, Nathan.
- [2] Précis electrotechnique.
- [3] Cap PCEP PC/PC⁺ ou PSI/PSI⁺ (pour comprendre l'expression de C)
- [4] BUP 846 juillet/août (pour avoir des exemples et des chiffres concernant les moteurs asynchrones)

⑤

Banc génératrice à courant continu et moteur asynchrone



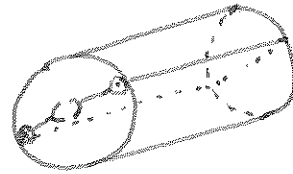
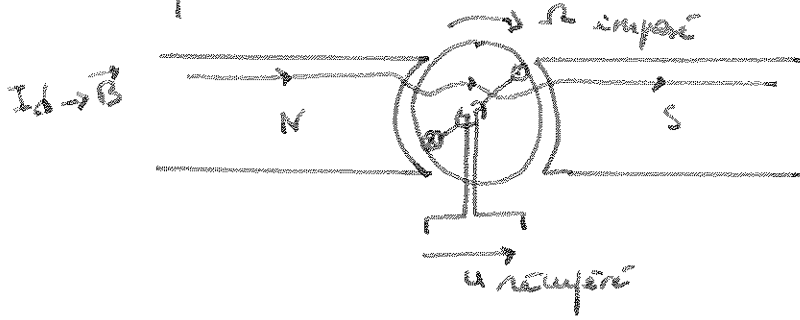
Lorsqu'un solide se met en mouvement, il acquiert de l'énergie. De même, à l'électricité est associée une certaine quantité d'énergie. L'objet de ce montage est l'étude des machines qui permettent la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique et vice versa. Cette conversion est possible grâce aux lois de l'induction et à la force de Laplace.

On distingue deux catégories de machines électromécaniques :

- les machines à courant continu
- les machines alternatives.

I) Conversion mécanique → électrique : la génératrice

Notre objectif ici est de transformer de l'énergie mécanique en énergie électrique. On utilise une génératrice.

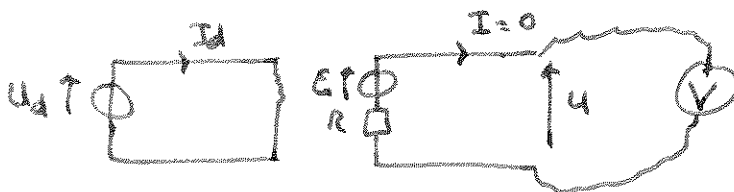


On impose une vitesse angulaire Ω au rotor avec un moteur asynchrone. Il apparaît une force électromotrice E_0 dans le circuit d'induit.



Schema équivalent de la génératrice. Tentons de la caractériser.

1) Force électromotrice E_0



On veut vérifier

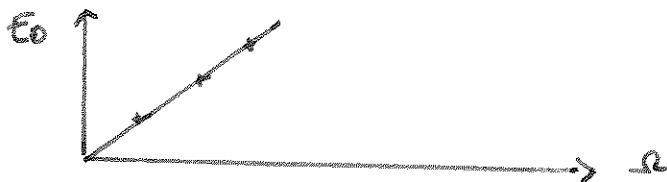
$$E_0 = k \Phi \Omega$$

où $k = \frac{pN}{2\pi a}$

- Φ : flux max à travers une spire.
- p : nombre de pôles de l'inducteur
- N : nb de conducteurs
- a : nb de paires d'enroulements

Remarque: comme l'impédance du voltmètre est très grande, $I=0$. Donc on mesure bien E_0 directement au voltmètre.

On choisit $U_d = 131V$ et $I_d = 9,18A$ fixes.



En tenant compte de $\Omega_{offset} = 3,5 \text{ rad.s}^{-1}$

Utilisation: $E_0 = a \Omega$

On trouve $k\Phi =$

Remarques

- on mesure des tensions assez élevées ($\sim 220V$)
- l'offset de la dynamo tachymétrique reste constant au cours des mesures.
- les incertitudes sont très faibles ($\sim 1\%$). La génératrice est assez précise.

- si Ω augmente, E_0 augmente : la variation du flux à travers les spires est plus grande.
- $k\Phi$ est un paramètre propre à la machine.

(2)

2) Caractéristique au charge : résistance de l'induit

Notre objectif ici est de déterminer la résistance R du circuit d'induit.

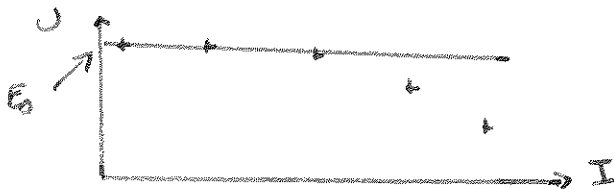


On a $U = E_0 - RI$ et $U = R_c I$. Pour chaque valeur de R_c on a deux valeurs de U et I . En traçant $U = f(I)$ à E_0 fixé (car Ω fixé) on peut en déduire R .

Remarque : pour la résistance de charge R_c , on prend 2 réostats de 330 Ω pouvant supporter 2,4 A, correspondant à une valeur de résistance minimum de 47 Ω .

En faisant varier R_c , Ω peut changer. Il faut alors le remettre à sa valeur initiale fixée.

$U_d = 131 V$ $I_d = 0,18 A$ $\Omega = 2\pi \times 21,3 = 134 \text{ rad.s}^{-1}$
On mesure U, I et C_m (C_m sera utile pour la suite)



On trouve

$R =$
$E_0 =$

Commentaires

- On mesure R à l'ohmètre : $R = 41 \pm 1 \Omega$. Compatible avec notre valeur et pas, moins précis.

- On s'attendait à $E_0 = 214,2 V$ d'après la dernière courbe. Surement dû au fait qu'on prend des points sur la partie non linéaire pour la régression.

- La partie non linéaire s'interprète comme la production d'un champ par le circuit d'induit lorsque le courant est assez élevé, et donc le flux à travers la spire est différent et donc E_0 est différent ($E_0 = k\Phi\Omega$)

3) Couple électromagnétique des forces de Laplace.

(3)

Notre objectif est de mettre en évidence le couple des forces de Laplace qui s'exerce sur le rotor en charge (présence d'un courant dans un champ magnétique des forces de Laplace) et par la même occasion déterminer une nouvelle valeur de $k\phi$. Le couple à fournir pour

faire tourner

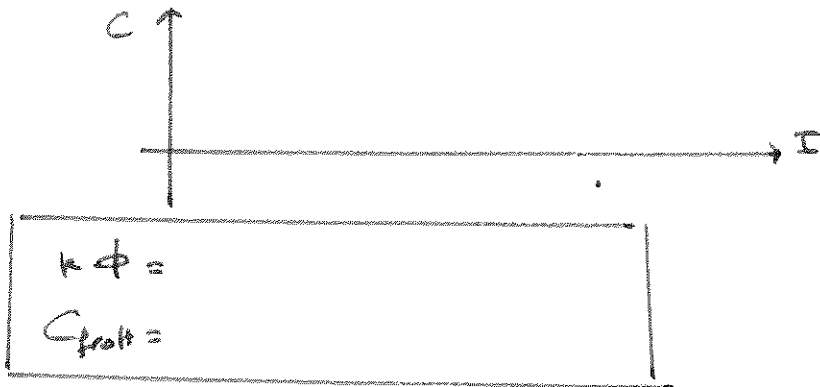
le rotor est C :

$$C = -k\phi I - C_{frott}$$

avec $\begin{cases} C_{frott} = -\beta \Omega \\ k\phi I: \text{couple des forces de Laplace.} \end{cases}$

Même schéma que précédemment.

Mesures: lors de la mesure précédente, on a mesuré $C_m = -C$ pour un Ω donné à U_d et I_d fixés.



Commentaires:

- on a pris en compte l'offset portant sur C_m donné par la couple mètre :

$$C_{offset} = 0,100 \pm 0,030 \text{ N.m.}$$

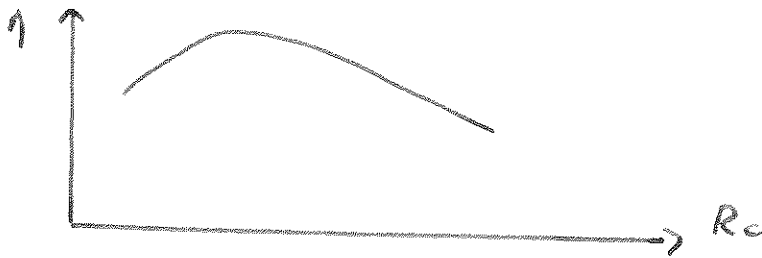
- On obtient une valeur de $k\phi$ différente de celle trouvée précédemment. Pourquoi? Pent-être parce que le I_d pris ici n'était pas exactement le même que celui pris pour vérifier $E_0 = k\phi \Omega$, nous nous sommes fié à ce qu'affiche l'alimentation

- ~~C~~ C correspond au couple fourni pour faire tourner le rotor. (Cap Prépa)

4) Rendement en fonctionnement en charge.

on reprend le circuit en charge et les mesures faites. On peut calculer le rendement associé à chaque valeur de la résistance de charge R_c .

$$\eta = \frac{U I}{|C_{rc}| + U_d I_d} = f(R_c) = f\left(\frac{U}{I}\right)$$



Commentaires

- il existe une charge telle que η est maximal.
- quelles sont les origines des pertes?

→ pour l'induit, on a vu que le couple fourni à l'induit pour le faire tourner s'écrit $C_m = -k\Phi I - C_{frott}$ donc on voit qu'il y a une perte par frottement lors de la conversion électromécanique. D'autre part le Φ qui apparaît dans cette formule ne prend pas en compte tout le champ magnétique fourni par l'inducteur, à cause des pertes par hystérésis (le rotor est en fer). Enfin, il y a aussi des pertes joules dans le circuit d'induit.

→ pour l'inducteur: toutes les pertes sont d'origine thermique.

évaluation des pertes:

Dans l'induit

$$P_{frott} = C_{frott} n =$$

$$P_{fa} = \omega_{vide} C_{vide} =$$

$$P_J = RI^2 =$$

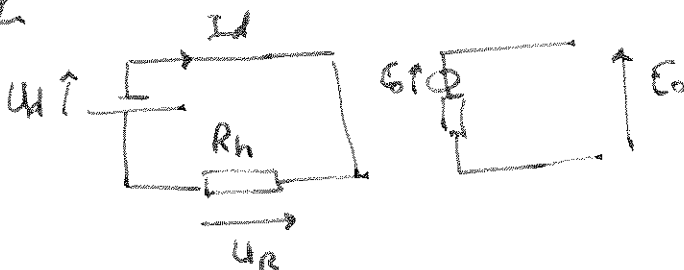
Dans l'inducteur:

$$P_J = R_d I_d^2 = U_d I_d =$$

4) Cycle d'hystérésis (si temps) (non fait)

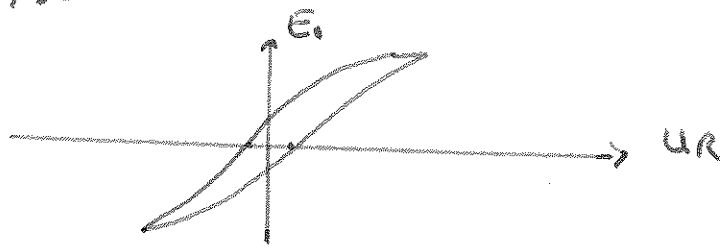
Lors de l'interprétation du rendement, nous avons parlé de pertes par hystérésis dans le rotor: en effet, soumis à un champ de l'inducteur, le matériau ferromagnétique du rotor réagit.

Montage:



U_R et E_0 sont mesurés à l'aide d'une table traçante.

On a pris $R_h = 33 \Omega$, un rhéostat. La fréquence de rotation du rotor est $f = 19,1 \text{ Hz}$. On fait varier I_d avec l'alimentation de $-0,30$ à $+0,30 \text{ A}$.



Commentaire : le cycle est fin pour minimiser les pertes. Le rotor est purement fait en fer doux.

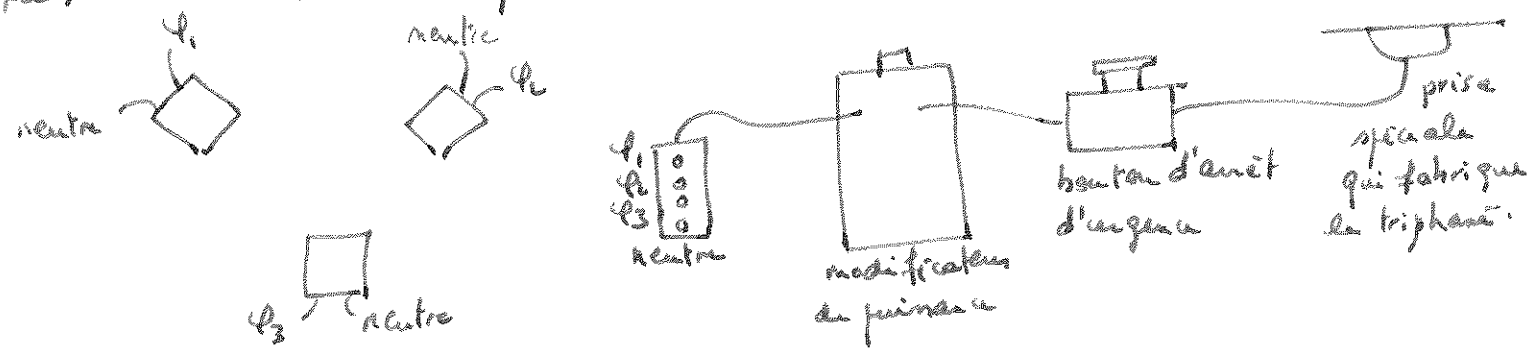
Intéressant nous à présent à la conversion électrique $\rightarrow$ mécanique.

II) Conversion électrique $\rightarrow$ mécanique : le moteur asynchrone.

1883 : Nikola Tesla fabrique le premier moteur asynchrone.

1) Principe (pas le temps $\rightarrow$ non fait)

On place 3 bobines décalées de 120° et alimentées par un courant triphasé, c'est-à-dire par trois courants sinusoïdaux de même pulsation ω mais déphasés de $2\pi/3$.

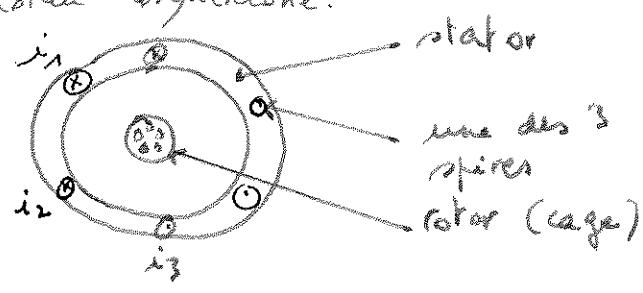


Plaçons une aiguille aimantée au centre des trois bobines. L'aiguille tourne avec une fréquence de 50 Hz , la même que celle du courant triphasé. On en déduit que les trois bobines créent un champ tournant à la même fréquence que celle du courant triphasé. Remarquons que nous sommes dans la configuration "moteur synchrone".

Remplaçons l'aiguille aimantée par une cage. (tiges en aluminium reliées entre elles par un matériau conducteur, donc un circuit fermé) la cage tourne mais avec une vitesse inférieure au champ. On parle de moteur asynchrone: $\Omega < \Omega_s$ avec Ω_s pulsation de rotation du champ.

Pourquoi ça tourne: circuit fermé dans un champ variable donc apparition d'une force électromotrice. Le circuit est résistif donc apparition de courant. Présence de courant dans un champ B donc action des forces de Laplace qui tentent de diminuer la vitesse du champ dans le référentiel du conducteur, donc mouvement.

Vrai moteur asynchrone:

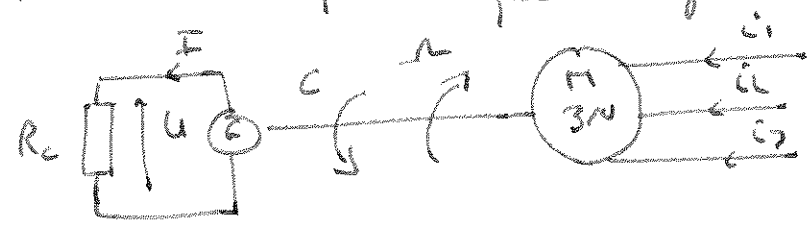


Les 3 spires, équivalentes aux 3 bobines, sont alimentées par un courant triphasé.

Proposition: étudions l'évolution du couple des actions de Laplace C (le même que tout à l'heure) en fonction de Ω (vitesse du rotor).

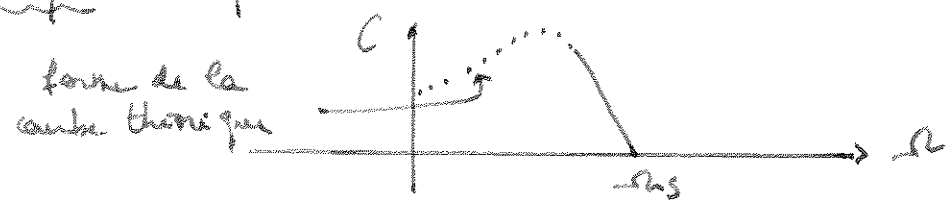
2) Couple des actions de Laplace en fonction de Ω

Pour réaliser cette étude, on réalise le montage suivant (en fait le même que lorsque la génératrice était en charge)



Pour R_c on prend deux résistors de 330 Ω . On fixe $U_d = 131V$
 $I_d = 9,18 A$. La fréquence du courant triphasé reste fixée à 43,5 Hz

Principe: on fait varier R_c et on mesure C et Ω puis on trace:



On a la relation $\Omega_s = \frac{\omega}{p}$ où p est le nombre de pôles du stator. ⑦

Connaissant ω , on en déduit $p = \frac{2\pi \times 43,5}{\dots} =$

Commentaires:

- L'expression théorique est (Cap. Prépa): $C = \frac{1}{L} \frac{\Phi^2 R_{\text{rotor}} R_c}{R_{\text{rotor}} + L_{\text{rotor}} R_c}$
- La partie trace correspond à la partie stable du moteur.
- En diminuant la résistance de charge d'un facteur 10, R_c augmente d'un facteur ...

3) Rendement

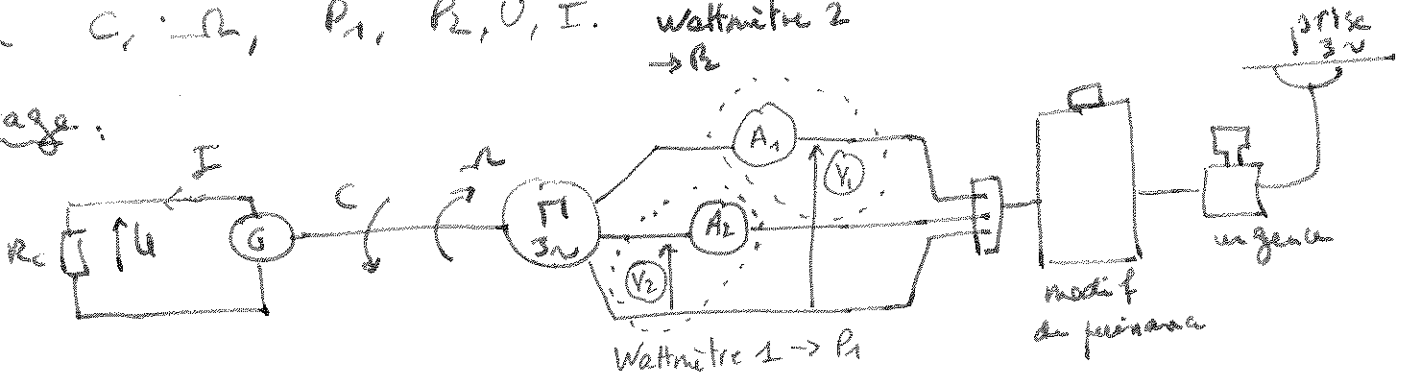
Pour déterminer le rendement du moteur asynchrone, il nous faut calculer:

$$\eta = \frac{|C R_c|}{P_1 + P_2}$$

où $P_1 + P_2$ est la puissance électrique absorbée par le stator.

Principe: là encore on fait varier R_c dans le même montage en charge que précédemment, et pour chaque valeur de R_c , on mesure C , R_c , P_1 , P_2 , U , I . wattmètre 2 $\rightarrow P_2$

Montage:



On prend $U_d = 100 \text{ V}$ $I_d = 0,14 \text{ A}$ pour pouvoir appliquer une tension nominale au stator (220 V) et à la fois avoir une force électromotrice de la génératrice inférieure à sa valeur nominale (ou plutôt pas trop supérieure).

On change d'alimentation du moteur asynchrone: on passe de l'onduleur à un signal triphasé fabriqué directement à partir

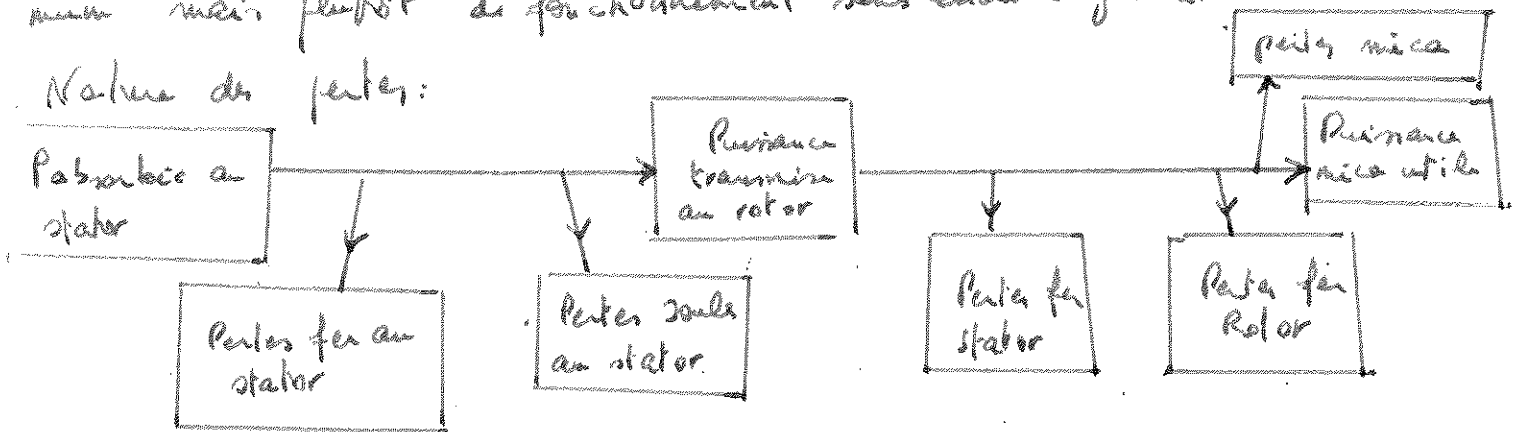
du secteur. Cela parce que les wattmètres ne supportent pas le courant triphasé issu de l'onduleur (somme de signaux crénaux).



Commentaires

- Il existe une résistance telle que le rendement est maximal. R_{co} :
- Les rendements de moteur asynchrones approchent les 80%. On a donc un bon ordre de grandeur.
- Si on avait alimenté le stator avec une tension de 115V, donc deux fois moins que sa valeur nominale, on aurait un rendement maximal de 94. Il est donc important de faire fonctionner le stator à son point nominal, bien qu'on nous ait dit (l'élève) que point de fonctionnement nominal n'était pas synonyme de rendement maximum mais plutôt de fonctionnement sans endommagement du moteur.

Nature des pertes:



Nous avons déterminé les principales caractéristiques de notre génératrice et de notre moteur asynchrone.

Notre génératrice pourrait débiter un courant de 1,68 A. Elle pourrait être utilisée comme source de courant pendant les phases de freinage des engins de charge. Mais notons que les génératrices sont peu utilisées comme générateur de courant.

En revanche, le moteur asynchrone est très utilisé depuis le développement de l'électronique de puissance qui permet de faire varier leur vitesse. Le nôtre développe une puissance de 100W.

- TGV: puissance totale: 13 MW avec 10 moteurs asynchrones de 1 MW. Masse d'une rame: 816 t.
- photocopieuse: une dizaine de Watts, par chaque élément.

Les moteurs asynchrones sont utilisés pour leur précision, par exemple dans les usines d'embouteillage (20 cannettes par seconde)