

Convertisseurs - Laboratoire 2

Groupe 24

Thibault Fievez - Alexandre Fiset
Maxime de Streel - Loïc Van der Wielen

17 mars 2021

1 Introduction

Ce laboratoire avait pour but de caractériser notre machine asynchrone connection Y et de caractériser son comportement. Tout d'abord, nous avons effectué une mesure DC au primaire pour obtenir la résistance DC, R_S . Ensuite, afin de pouvoir déterminer les éléments du circuit simplifié, nous avons réalisé un essai à faible charge et un essai calé (avec frein). Une fois notre machine asynchrone caractérisée nous avons observé son comportement en charge variable.

2 Set up expérimental

2.1 Matériel

- Alimentation variable portative COMPAK40.
- Moteur triphasé à cage Siemens connecté en Y, de numéro de série MA250.
- Frein à poudre FP2.
- 3 TIs de rapport de réduction $\{0.5, 2, 5, 20\}$.
- Ampèremètres alternatif de précision $[0, 5]$, $[0, 10]$, $[0, 20]$ et $[0, 25]$ A.
- Voltmètre alternatif de précision $[0, 250]$ et $[0, 500]$ V.
- Wattmètre de précision $[0, 3]$ watt avec un constant $\{25, 50, 500, 1000\}$ pour des entrées de $\{9.5, 19, 190, 380\}$ V.
- Mesure des grandeurs mécanique GRANMECA-V2.
- Capteur de couple rotatif sans balais CR2-V2.
- Wattmètre numérique trms DIGIWATT.
- Ohmmètre analogique.

	V	A	$\cos \varphi$	Hz	tours/min	kW
Y	400	3.4	0.85	50	1423	1.5
Δ	230	5.9	0.85	50	1426	1.5

TABLE 1: Fiche signalétique de la machine

2.2 Utilisations des appareils

TIs Les TIs s'utilisent comme un ampèremètre et donc se placent en série sur une ligne. Le rapport de réduction est calculé en utilisant un courant de référence égal à 5 A. Donc si les TIs sont réglés sur un rapport de réduction de 5, alors l'intensité du courant observer sur l'ampèremètre est égale à l'intensité du courant dans la ligne.

Wattmètre Le wattmètre permet de calculer une puissance à l'aide de 2 courants de ligne et des 3 tension de phases. Pour que la puissance apparente soit cohérente, il faut que les 3 tensions soient branchées sur le même calibre de précision.

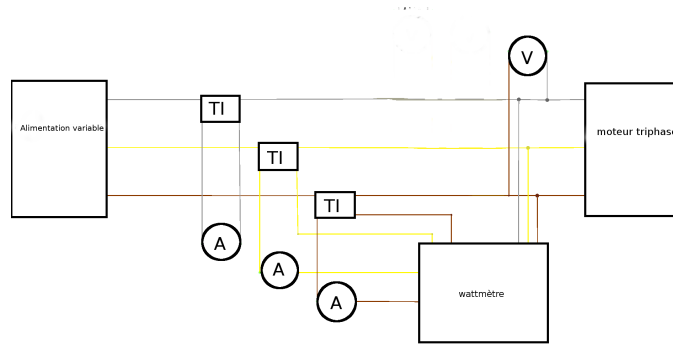


FIGURE 1: Schéma du circuit pour les prises de mesures

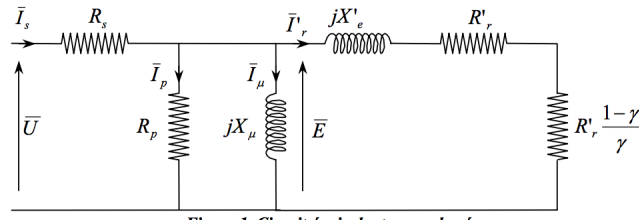


FIGURE 2: Circuit équivalent.

2.3 Schéma du circuit et circuit équivalent

2.4 Tension nominal et courant nominal

La tension nominale acceptée par la machine en circuit étoile est 400 V ainsi qu'un courant nominal de $I_n = 3.4A$. La machine absorbe une puissance active de 1.5 W . On peut donc calculer le facteur de puissance en utilisant la formule suivante :

$$\cos\varphi_e = \frac{PU_l}{\sqrt{3}I_l} \quad (1)$$

2.5 Prise de mesure de la résistance en DC

Cette prise de mesure s'effectue avec un courant continu. Comme en courant continu une inductance est un fil, la résistance calculé est alors directement dépendantes de R_s vue que le reste du circuit est coupé.

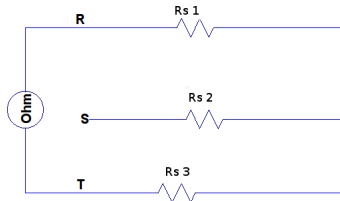


FIGURE 3: Circuit de calcul de $R_{s,1}$.

2.6 Prise de mesure à rotor bloqué , glissement $\gamma=1$

Cette mesure à été réalisé à courant nominal et tension faible, on avait une puissance utile de 0 W. Cet essai a pour but de mesurer les pertes électriques ainsi que les composantes Z'_e , donc X'_e et R'_e . Ceci est possible car N est nul, donc $\gamma=1$. On peut donc négliger R_p et X_μ en se référant à la figure 2, on peut écrire les relations particulières :

$$Z'_e = \frac{U_l}{\sqrt{3}I_l} \quad (2)$$

$$X'_e = Z'_e \cdot \sin \varphi_e \quad (3)$$

$$R'_e = Z'_e \cdot \cos \varphi_e = R_s + R'_r \quad (4)$$

Les appareils de mesure se placent comme indiqué sur la figure 1.

Réglage des appareils :

- rapport TIs : 5/5.
- Constante du wattmètre : 500
- précision de voltmètre : 250 V.

2.7 Prise de mesure en essai à faible charge et en charge

¹ Pour rappel on a γ , le coefficient de glissement :

$$\gamma = \frac{N_{Synchronne} - N}{N_{Synchronne}} \quad (5)$$

On a aussi

$$P_{utile} = \frac{2\pi}{60} N C_{ut} \quad (6)$$

et le rendement est défini comme :

$$\eta = \frac{P_{utile}}{P} \quad (7)$$

Cette mesure à été réalisée à tension nominale, on avait toujours une puissance utile faible, ici de 18 W. Dans cet essai N est proche de N_{synchr} , donc $\gamma \approx 0$ et $\frac{R'_r}{\gamma} \gg X'_e$. On peut donc négliger X'_e et calculer :

$$X_\mu = \frac{E}{\sqrt{3}I_1 \sin \varphi_{corr}} \approx \frac{U_1}{\sqrt{3}I_s \sin \varphi} \quad (8)$$

Un bilan d'énergie permet d'évaluer les pertes mécaniques et magnétiques. En effet, la somme des pertes magnétiques P_{mag} , des pertes électriques au rotor P_{jr} et des pertes mécaniques $P_{mec} = C_p \omega_m$ doit valoir par conservation de l'énergie :

$$P_{mag} + P_{jr} + P_{mec} = P - 3R_s I_2^2 - C_{ut} \omega_m \quad (9)$$

Le rapport entre les pertes électriques au rotor P_{jr} et la puissance convertie ($C_{em} \omega_m = C_{ut} \omega_m + P_{mc} = (C_{ut} + C_p) \omega_m$) est connu. On a en effet, compte tenu du fait que les deux résistances de droite de la figure 2 sont parcourues par le même courant I'_r et qu'elles représentent respectivement les pertes électriques du rotor et la puissance convertie :

$$P_{jr} = \frac{\gamma}{1-\gamma} C_{em} \omega_m = \frac{\gamma}{1-\gamma} (C_{em} + C_p) \omega_m \quad (10)$$

on peut donc déterminer la somme :

$$P_{magn} + \frac{1}{1-\gamma} P_{mec} = P - 3R_s I_s^2 - C_{ut} \frac{\omega_s}{p} \quad (11)$$

ou encore

$$P_{magn} + \frac{C_p \omega_s}{p} = P - 3R_s I_s^2 - C_{ut} \frac{\omega_s}{p} \quad (12)$$

Le membre de droite de l'équation 12 peut être déterminé expérimentalement. Il ne reste donc qu'à partager la valeur obtenue entre les deux termes du membre de gauche. Pour effectuer ce partage de façon rationnelle, il faudrait disposer de plusieurs essais avec des valeurs différentes de U_l .

Réglage des appareils :

- rapport TIs : [0.5, 1, 2, 5].
- constante wattmètre : 1000
- précision du voltmètre : 500 V

1. Cette partie est largement inspirée du rappel théorique fourni

3 Mesure de la résistance DC

A courant continu, toutes les résistances et inductances décrivant des effets dus aux champ, ou à la fluctuation de champ, sont négligeable. Ce qui nous permet de déterminer la résistance R_s du circuit équivalent du moteur. En se rappelant que nous sommes connectés en étoile, le circuit de mesure peut être représenté comme sur la figure 3.

Nous pouvons voir que la résistance calculée sera alors deux fois plus grande que R_s . Nous pouvons imaginer un ordre de grandeur pour cette résistance, car en effet, elle représente la résistance du fil bobiné et des connections. Nous obtenons une valeur pour R_s :

$$R_s = \frac{9.1}{2} = 4.55 \Omega. \quad (13)$$

4 Essai à rotor bloqué

L'essai est effectué en mettant la vitesse du rotor à zéro ($N = 0$). Ce qui nous donne donc un glissement $\gamma = 1$. Nous augmentons ensuite la tension jusqu'à arriver à une valeur du courant de ligne proche de sa valeur nominale. Nous obtenons donc les mesures affichées dans la table 2.

	U_{RS}	I_r	P	C_{ut}	P_{ut}
Lecture	80	3.4	0.65	0.87	0
Constante	-	5/5	500	-	-
Valeur	80	3.4	325	0.87	0

TABLE 2: Essai à rotor bloqué

Nous déduisons de ces valeurs expérimentales :

$$\cos \varphi_e = \frac{P - 3R_s I_s^2}{\sqrt{3} E_l I_l} = 0.466 \quad (14)$$

La vitesse N valant zéro, car nous nous trouvons à rotor bloqué, la puissance utile P_{ut} est nulle également. De plus nous déduisons de ceci que le rendement $\eta = 0$.

Puisque le rotor est bloqué, nous avons $\gamma = 1$. Cela implique que la résistance à l'extrême droite est nulle car sa valeur vaut $R'_r \frac{1-\gamma}{\gamma} = 0$.

On peut donc négliger R_p et X_μ car celles-ci ont un ordre de grandeur supérieur à Z_e et montées en parallèle, elles auront une influence négligeable.

On trouve grâce à l'équation 2 un Z'_e qui vaut $13,58 \Omega$.

Ensuite nous pouvons trouver X'_e avec la formule 3 $X'_e = 13.58 * 0.88 = 12.01 \Omega$.

Nous pouvons également grâce à l'équation 4 trouver $R'_e = 13.58 * 0.466 = 6.33 \Omega \approx R_s + R'_r$.

Connaissant la valeur de R_s par la mesure DC :

$$R'_r = 6,33 - 4,55 = 1,78 \quad (15)$$

5 Essai à faible charge

Le but premier de l'essai à faible charge est de déterminer $X_m u$. Pour se faire, il faut d'abord calculer la phase qui est donnée par

$$\cos \varphi = \frac{P}{U_L I_L \sqrt{3}} = 0.14$$

et donc $\varphi = 82.02^\circ$. Ce résultat permet ainsi d'utiliser l'approximation établie à l'équation 8 pour établir une valeur approximée de X_{mu}

$$X_\mu \approx \frac{U_1}{I_1 \sqrt{3} \sin \varphi} = 89.69 \Omega$$

Il est ensuite possible de déterminer le nombre de pôles à l'aide de la vitesse de synchronisme, 1500 tours par minute. Le système fonctionnant à 50Hz, on peut donc établir le nombre de paire de pôles $p = \frac{\omega_\infty}{\omega_{synchr}} = 2$.

De même, P_{ut} , γ et η sont calculés

$$\gamma = \frac{1500 - 1473}{1500} = 0.018$$

$$P_{ut} = -1473 \cdot 0.05 \frac{2\pi}{60} = -7.71 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{7.71}{250} = 0.03$$

	Données expérimentales						Données calculées			
	U_{rs}	I_r	P	C_{ut}	P_{ut}	N	$\cos \varphi$	γ	P_{ut}	η
Mesures	400	2.6	0.25	0.05	-6	-1473				
Constantes		5 : 5	1000 : 1							
Valeurs	400	2.6	250	0.05	-6	-1473	0.14	0.018	-7.71	0.02
Unités	V	A	W	Nm	W	tours/min			W	

TABLE 3: Résultat de l'essai à faible charge standard comportant les données expérimentales et les données calculées à partir de celles-ci. Les données affichées tiennent compte de l'offset des instruments

Finalement, les essais non-standards permettent de calculer R_p et C_p . En se servant de l'équation 12, on peut établir que

$$\frac{E^2}{R_p} + \frac{C_p \omega_m}{p} = P - 3R_s I_s - C_{ut}$$

En se servant de deux essais différents et en utilisant la simplification $E \approx U_{rs}$, un système d'équations à deux inconnues est créé donnant

$$R_p = 746.436 \Omega$$

$$C_p = 0.289 \text{ Nm}$$

Essais	U_{rs}	I_r	P	C_{ut}	P_{ut}	N
1	360	2	275	0.04	-6	-1473
2	320	1.6	150	0.03	-5	-147
3	280	1.35	100	0.02	-5	-1473
4	240	1.11	100	0.02	-6	-1472
5	200	0.9	80	0.03	-6	-1472
6	160	0.7	60	0.02	-6	-1469

TABLE 4: Données expérimentales des essais non-standards

6 Essai en charge

L'essai en charge permet de définir les caractéristiques externes. Elle s'effectue à tension nominal au primaire, soit 230 [V] de phase (400[V] de ligne) et sans dépasser le courant primaire nominal. Cet essai s'effectue en appliquant une tension au borne de notre frein à poudre.

En se basant sur la figure 2, et en utilisant les équations 1,5,6 et 7 et l'approximation $E \approx U_{rs}$. Il est possible de calculer $\cos(\varphi)$, le glissement, la puissance utile et le rendement à l'aide du courant au primaire, de la puissance active, du couple utile, de la puissance utile et le nombre de tours par minutes mesuré par les appareils.

	I_r	P	C_{ut}	$P_{ut, mesure}$	N	$\cos \varphi$	γ	$P_{ut, calcule}$	$\mu_{calcule}$	μ_{mesure}
	A	W	Nm	W	rmp	/	/	W	%	%
Lecture	3.4	1.6	9.2	1390	1415					
Constante	5 :5	1000 :1								
Valeur	3.4	1600	9.2	1390	1415	0.6792	0.057	1363.24	0.8687	0.8520
Lecture	3.3	1.5	7.97	1208	1420					
Constante	5 :5	1000 :1								
Valeur	3.3	1500	7.97	1208	1420	0.6560	0.053	1185.15	0.853	0.7901
Lecture	3.15	1.325	7	1066	1430					
Constante	5 :5	1000 :1								
Valeur	3.15	1325	7	1066	1430	0.6071	0.0466	1048.24	0.8045	0.7911
Lecture	2.9125	1.15	5.95	912	1437					
Constante	5 :5	1000 :1								
Valeur	3.9125	1150	5.95	912	1437	0.5674	0.042	895.37	0.7930	0.7786
Lecture	2.8	1	4.9	756	1443					
Constante	5 :5	1000 :1								
Valeur	2.8	1000	4.9	756	1443	0.5155	0.038	740.44	0.756	0.7404
Lecture	2.7	0.8	3.87	600	1450					
Constante	5 :5	1000 :1								
Valeur	2.7	800	3.87	600	1450	0.4277	0.033	787.63	0.75	0.7345
Lecture	2.65	0.65	3	456	1457					
Constante	5 :5	1000 :1								
Valeur	2.65	650	3	456	1457	0.3540	0.0287	477.53	0.715	0.7042
Lecture	2.565	0.5	1.91	302	1464					
Constante	5 :5	1000 :1								
Valeur	2.565	500	1.91	302	1464	0.2813	0.024	292.82	0.604	0.5856

TABLE 5: Résultats des essais en charge

De la, les courbes couple/vitesse (figure 4), I_r /vitesse (figure 5) et $\cos \varphi$ /vitesse (figure 6) peuvent être obtenue. En utilisant les équations :

$$\gamma = \frac{\omega_\infty - 2\omega_m}{\omega_m} \quad (16)$$

$$C_{em} = \frac{6}{\omega_m} \gamma R'_r \frac{U_{rs}}{(\gamma R_s + R'_r)^2 + (\gamma \omega_\infty X'_e)^2} \quad (17)$$

7 Conclusion

Durant ce laboratoire nous avons appliqué les différents types d'essais vu aux cours qui permettent, sous certaines hypothèses, de déterminer les éléments du circuit équivalent. Nous avons pu observer que malgré les approximations faites pour nos calculs théoriques nous nous trouvons toujours assez proche de la réalité. Ceci montre bien que même avec ces approximations nous gardons une bonne précision sur le fonctionnement de la machine asynchrone.

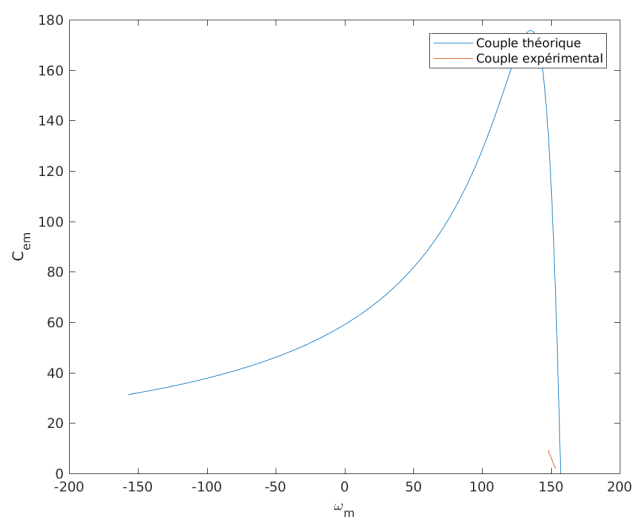


FIGURE 4: Couple électromagnétique en fonction de la vitesse angulaire

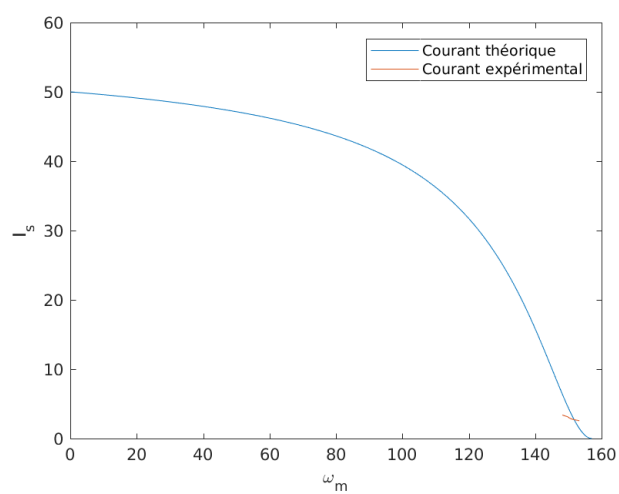


FIGURE 5: Courant statorique en fonction de la vitesse angulaire

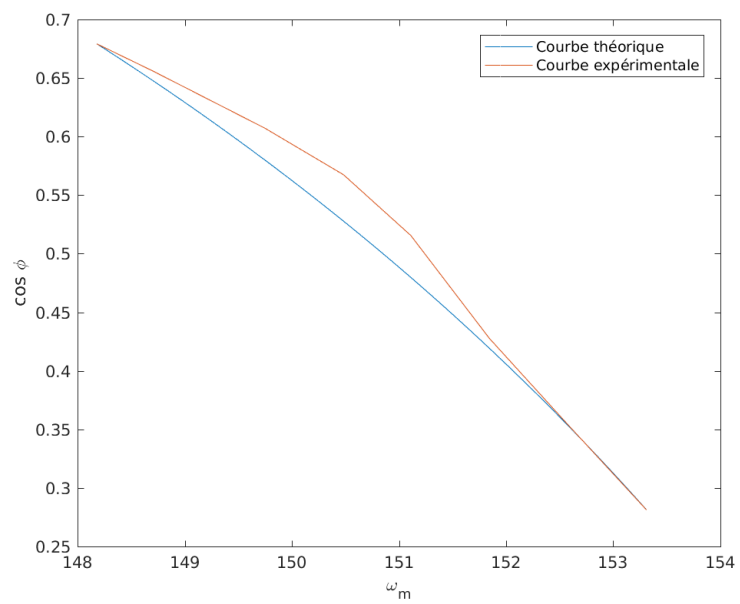


FIGURE 6: $\cos(\varphi)$ en fonction de la vitesse angulaire