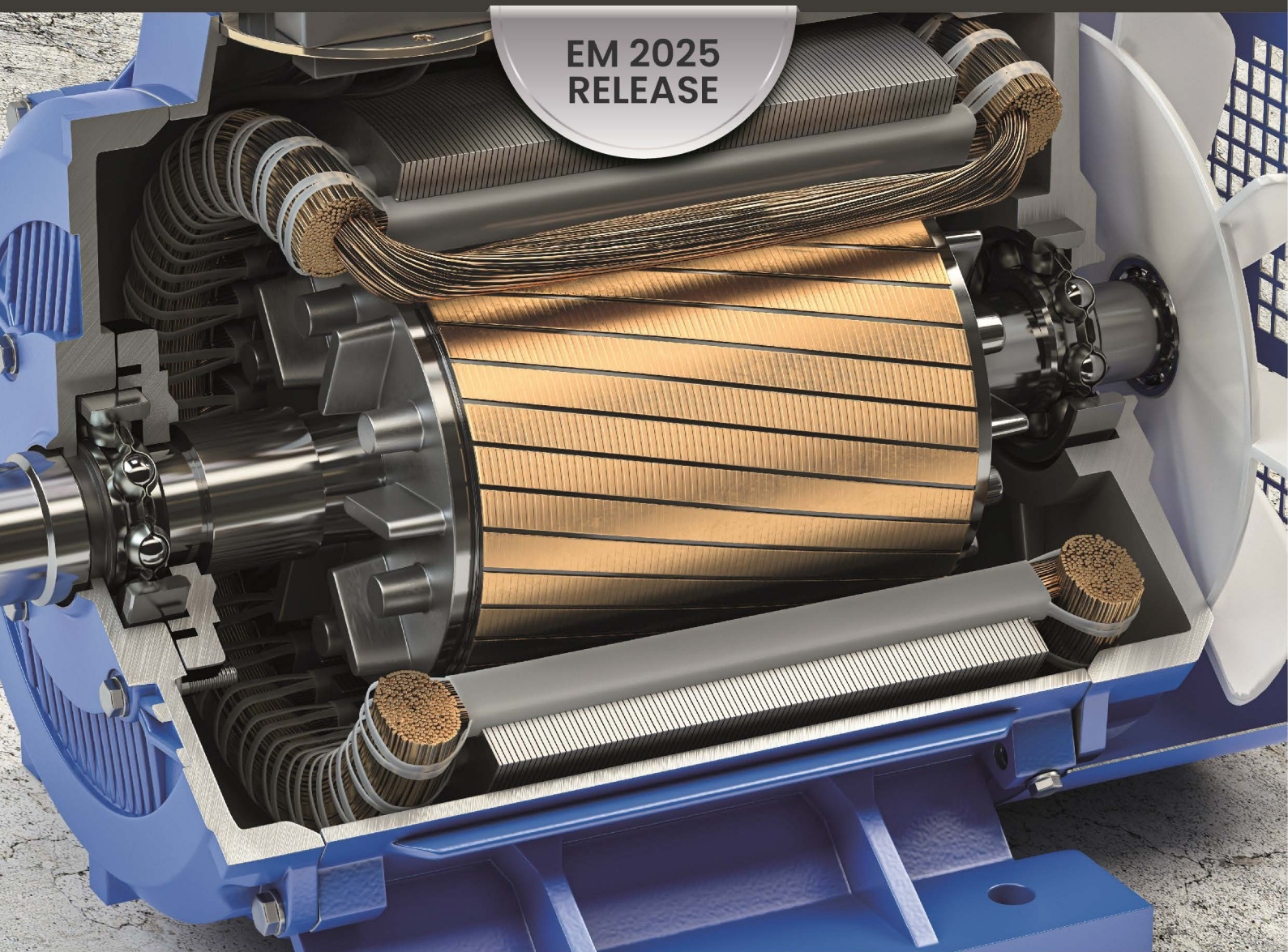




# **MATRIX** | ELECTRICAL MACHINES

## Advanced Electrical Machines & Mechanical Drives v2.0



**MATRIX**

CP6152

[www.matrixtsl.com](http://www.matrixtsl.com)

Copyright © 2023 Matrix Technology Solutions Limited

Santé et sécurité	3
Relations clés	5
Circuit équivalent d'un transformateur	7
Circuit équivalent d'une machine à induction	9
Systèmes d'entraînement des moteurs à induction	12
Feuilles de travail 1 - test du transformateur en circuit ouvert	16
Feuilles de travail 2 - test de court-circuit du transformateur	18
Fiches de travail 3 - test de fonctionnement libre de la machine à induction	20
Feuilles de travail 4- Test de la machine à induction à rotor bloqué	22
Feuille de travail 5 - Caractéristiques des moteurs à induction	25
Feuille de travail 6 - effets de la friction et des pertes	27
Feuille de travail 7 - Simulation du modèle de moteur	29
Feuille de travail 8 - rotor bloqué sur les moteurs	32
Feuille de travail 9 - Rapports de boîte de vitesses	35
Feuille de travail 10 - Volant d'inertie et système dynamique d'embrayage	38
Fiche de travail 11 - Le contrecoup	42

## Sécurité

Lors de la conception de ce produit, nous avons accordé une attention considérable aux risques potentiels liés à l'étude des moteurs électriques. Nous pensons être parvenus à la conception la plus sûre possible. Cependant, il existe encore certains risques vous devez être conscient. Cette page montre comment nous avons pris en compte chaque danger. Vous devez la lire et vous assurer que vos élèves sont protégés lorsqu'ils utilisent l'équipement.

### Choc électrique

C'est un minimum : la sortie du boîtier de commande est limitée à 24 V CA ou CC.

Le dynamomètre est capable de générer des tensions continues. À la vitesse maximale, soit environ 3 000 tours/minute, la tension générée est inférieure à 30VDC.

L'unité de contrôle ne génère pas de puissance tant qu'un moteur n'est pas branché sur le dynamomètre. Cela permet d'éviter l'utilisation de moteurs de tiers avec le système.

Les transformateurs peuvent augmenter la tension alternative à des niveaux qui présentent un risque d'électrocution. Lors de l'utilisation de transformateurs, veillez à n'utiliser que les connecteurs blindés de 4 mm à 4 mm fournis avec le kit.

### Choc physique

L'équipement est lourd. Comme pour tout autre équipement lourd de laboratoire, si un élève fait tomber un appareil sur son pied, cela peut causer des dommages considérables. Vous devez décider du niveau de responsabilité des élèves dans ce domaine.

Vous pouvez réduire les risques en demandant à un technicien de disposer l'équipement sur des bancs et en veillant à ce que les étudiants soient assis à des bureaux lorsqu'ils utilisent l'équipement.

Les pièces rotatives exposées présentent des risques car les cheveux et les vêtements peuvent s'y accrocher.

L'utilisation de moteurs à puissance relativement faible réduit le risque. Les

une protection en plastique entre le dynamomètre et le moteur testé signifie qu'aucune pièce rotative n'est exposée.

#### S'il vous plaît :

Si un accident survient pendant l'utilisation de l'équipement, veuillez nous le signaler, à l'adresse ci-dessous, afin que nous puissions réfléchir à la manière de rendre l'équipement encore plus sûr.

Équipe de  
conception Matrix  
TSL  
33, rue Gibbet HX1  
5BA

#### Attention :

**Lors de l'utilisation de transformateurs, veillez à n'utiliser que les câbles de sécurité de 4 mm à 4 mm fournis avec le kit.**

**N'utilisez pas d'oscilloscope basé sur un PC avec l'équipement.**

**Des courants de boucle de terre peuvent circuler entre sa connexion à la terre et la connexion à la terre du boîtier de commande.**

# Moteur à induction construction



Le moteur à induction triphasé est la machine électrique la plus répandue dans l'industrie, où il est utilisé pour entraîner des pompes, des ventilateurs, des compresseurs et des machines-outils. Environ 50 % de l'énergie industrielle totale consommée en Europe est dépensée dans des entraînements de moteurs, dont environ 70 à 80 % sont des moteurs à induction.

Un moteur à induction possède même stator qu'une machine synchrone, mais la structure de son rotor est différente. Il existe deux types de rotor, le *rotor à cage d'écureuil* (également appelé rotor à cage) et le *rotor bobiné*. Un rotor à cage d'écureuil est constitué d'une série de barres conductrices disposées dans des fentes et court-circuitées à chaque extrémité par des anneaux conducteurs appelés anneaux d'extrémité. Dans les petites machines, les barres sont généralement construites en aluminium extrudé le long des fentes du rotor et des anneaux d'extrémité solides sont formés, qui sont souvent façonnés pour agir comme des ventilateurs internes, comme le montre la figure 8. Dans les machines de plus grande taille (généralement de l'ordre de 100 kW), la cage est fabriquée à l'aide de barres de cuivre brasées à chaque extrémité à des anneaux d'extrémité en cuivre.

Le rotor bobiné est constitué d'enroulements distribués qui sont reliés extérieurement à des bagues collectrices montées sur l'arbre. Les enroulements du rotor sont ensuite court-circuités soit directement à travers les bagues collectrices, soit par l'intermédiaire d'une impédance externe.

## Calcul du couple

Le **couple** est l'effet de rotation d'une **force**.

La balance mesure toujours la force. Celle-ci peut être mise en relation avec la masse. La force et la masse sont liées par la formule suivante : Force = masse x accélération ou  $F = m \times a$ ,

où **a** est généralement l'accélération due à la gravité,  $9,81 \text{ m/s}^2$

Cela nous permet de calculer la force qui s'exerce sur la balance, générée par le dynamomètre. Couple = force x distance de l'axe de rotation. Il est mesuré en newton-mètre (Nm).

En combinant ces équations :

$$\text{Couple, } T = m \times a \times r$$

où **r** est la distance entre le point de pression et centre de la machine.

Introduire la valeur de **r** pour le dynamomètre utilisé dans ce kit :

$$\text{couple (en Nm)} = \text{lecture de la balance (en kg)} \times 9,81 \text{ (m/s}^2) \times 0,03812 \text{ (m)}.$$

## Calcul de la puissance

La **puissance** est le taux auquel l'énergie est fournie et est mesurée en watts (W).

**Pour un corps en rotation :**

$$\text{Puissance mécanique} = (2 \times n \times \pi \times T) / 60 \text{ où } n \text{ est la vitesse du moteur en tr/min.}$$

**Pour un moteur à courant continu :**

$$\text{Puissance électrique fournie au moteur} = V_{IN} \times I_{IN}$$

où  $V_{IN}$  = tension d'entrée et  $I_{IN}$  = courant d'entrée.

**Pour un moteur à courant alternatif monophasé :**

Puissance électrique fournie au moteur =  $V_{IN} \times I_{IN} \times \cos(\Theta)$  où  $V_{IN}$  est la tension d'entrée efficace en courant alternatif,  $I_{IN}$  est le courant d'entrée efficace.

et  $\cos(\Theta)$  est le facteur de puissance où  $\Theta$  est l'angle de phase entre  $V_{IN}$  et  $I_{IN}$ . **Pour un**

**moteur à induction triphasé à courant alternatif :**

$$\text{Puissance électrique fournie au moteur} = 3 \times \text{puissance électrique fournie à une phase}$$

## Calcul de l'efficacité

$$\text{Rendement } (\eta) = (\text{Puissance mécanique délivrée} / \text{Puissance électrique fournie}) \times 100\%$$

## Calcul de la vitesse synchrone et du glissement

$$\text{Vitesse synchrone en tr/min} = (f \times 60) / (\text{nombre de paires de pôles})$$

(Le nombre de paires de pôles est lié à la configuration des enroulements du moteur : un moteur à 2 pôles a une paire de pôles, un moteur à 4 pôles a deux paires de pôles, etc.)

$$\text{Glissement} = ((\text{vitesse synchrone} - \text{vitesse de glissement}) / \text{vitesse synchrone}) \times 100\%$$

Une alimentation triphasée connectée au stator d'une machine à induction produit un champ magnétique donné par la formule :

$$N_s = (f_s/p) \times 60$$

Où **f<sub>s</sub>**= la fréquence d'alimentation et **p** le nombre de paires de pôles - dans notre cas 1.

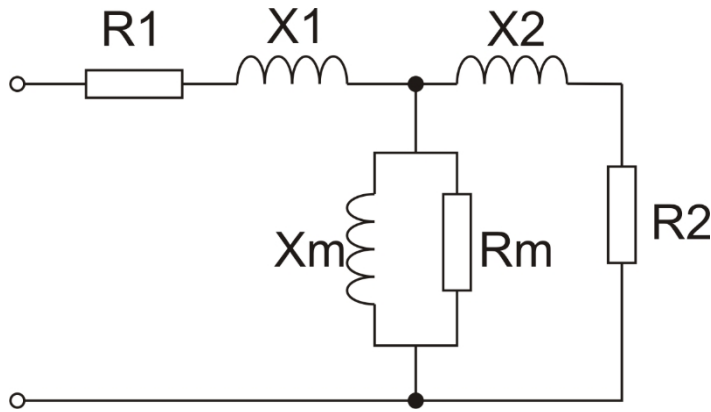
## Relations entre les systèmes triphasés en étoile et en triangle

Les systèmes triphasés se composent de machines connectées en étoile et en triangle. Avec des connexions U, V et W, la tension de ligne est la tension entre n'importe lequel des éléments U, V, W et la terre. La tension de phase est la tension entre deux U, V, W quelconques. La tension de ligne et la tension de phase sont liées par l'équation :

$$V_{\text{phase}} = \text{SQRT}(3) \times V_{\text{line}}$$

# Circuit équivalent d'un transformateur

Le transformateur peut être représenté de manière pratique par le circuit équivalent illustré ci-dessous.



Où ?

$R1$  est la résistance de l'enroulement primaire

$X1$  est la réactance de fuite du primaire (tout le flux produit par le primaire n'est pas transmis au secondaire).

$Rm$  est appelée résistance de perte de fer et représente pertes dans le noyau dues aux courants de Foucault.

$Xm$  est la réactance magnétisante

$R2$  est la résistance de l'enroulement secondaire (pas la vraie résistance de l'enroulement secondaire).

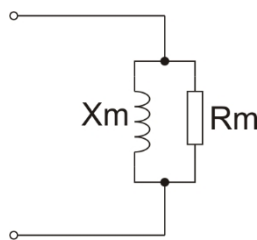
mais la résistance effective vue primaire en tenant compte du rapport des spires )

$X2$  est la réactance secondaire référencée

Avec quelques hypothèses et quelques essais pratiques, il est possible de mesurer les valeurs de ces paramètres et de construire un modèle électrique d'un transformateur - à condition de connaître le déphasage entre la tension et le courant.

## Étape 1 : effectuer le test en circuit ouvert

Le test en circuit ouvert est effectué en faisant fonctionner le transformateur à pleine tension sans charge secondaire. En même temps, on peut supposer que  $Rm$  et  $Xm$  sont beaucoup plus grands que  $R1$  et  $X1$ , de sorte que le circuit équivalent peut être approximé par le diagramme ci-dessous.



Circuit équivalent d'un transformateur sans charge secondaire

Comme nous pouvons mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant à l'aide de l'oscilloscope embarqué, nous pouvons en déduire les valeurs relatives de  $Rm$  et  $Xm$ .

À ce stade,  $Rm$  et  $Xm$  peuvent être calculés comme suit :

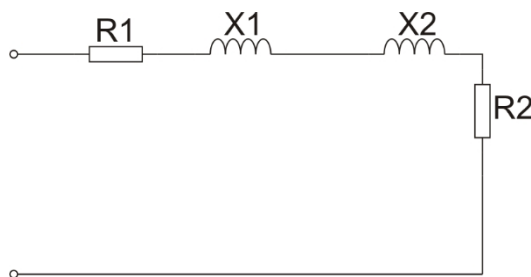
# Circuit équivalent d'un transformateur

$$\begin{aligned}Z_m &= V_p / I_p \\I_{xm} &= I_p \sin(\varnothing) \\X_m &= V_p / I_{xm} \\I_{rm} &= I_p \cos(\varnothing) \\R_m &= V_p / I_{rm}\end{aligned}$$

Comme nous pouvons mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant à l'aide de l'oscilloscope embarqué, nous pouvons déduire les valeurs relatives de  $R_m$  et de  $X_m$ . Comme  $R_m$  peut être mesuré à l'aide d'un multimètre, nous pouvons en déduire  $R_m$  et  $X_m$ . Cette première étape nous aide donc à déterminer  $R_m$  et  $X_m$ .

## Étape 2 : effectuer le test de court-circuit

Le test de court-circuit est effectué en court-circuitant l'enroulement secondaire. Dans ce cas,  $X_m$  et  $R_m$  sont beaucoup plus grands que la branche secondaire, de sorte que le circuit équivalent peut être donné par le diagramme ci-dessous :



Circuit équivalent d'un transformateur avec secondaire en circuit fermé

Nous pouvons calculer les valeurs comme suit :

$$\begin{aligned}Z_T &= V_p / I_p \cos(\varnothing) \\&= Z_T \cos(\varnothing) \\X_1 &= X_2 = Z_T / 2\end{aligned}$$

(en supposant que les enroulements sont identiques)  $R_T = Z_T \sin(\varnothing)$

$$\begin{aligned}R_1 &= R_T - a^2 R_2 \\R_1 &= R_T - a^2 R_2\end{aligned}$$

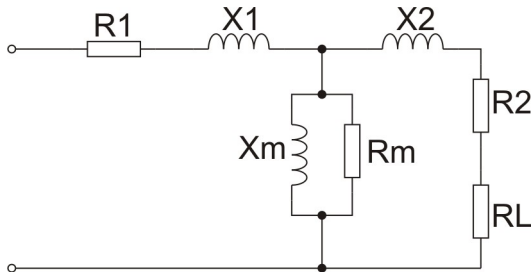
Dans les deux dernières lignes,  $a$  fait référence au rapport du nombre de tours dans les enroulements primaire et secondaire :  $a = N_p / N_s$

Cela nous permet de construire des circuits équivalents pour les transformateurs dont le rapport n'est pas de 1:1.



# Circuit équivalent de une machine à induction

Le moteur à induction peut être représenté de manière pratique par le circuit équivalent illustré ci-dessous. Ce circuit équivalent représente une phase unique de la machine.



Circuit équivalent d'une machine à induction

Où ?

**R1** est la résistance de l'enroulement du stator

**X1** est la réactance de fuite du stator (tout le flux produit par le stator ne relie pas les enroulements du rotor. Cette fuite est représentée par  $X_1$ )

**Rm** est appelée résistance de perte de fer et représente les pertes en les noyaux du stator et du rotor en raison des courants de Foucault

**Xm** est la réactance magnétisante

**R2** est la résistance référencée du bobinage du rotor (il ne s'agit pas de la résistance réelle, mais de la résistance effective vue du stator, compte tenu du rapport des tours entre le rotor et le stator).

**X2** est la réactance référencée du rotor

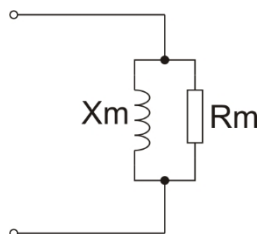
**RL** est le terme utilisé pour modéliser la puissance de sortie de l'arbre (en fonction du glissement). Il peut être défini comme suit :  $R_L = R_2(1-s)/s$  (s défini comme une fraction)

Avec quelques hypothèses et quelques tests pratiques, il est possible de mesurer les valeurs de ces paramètres et de construire un modèle électrique d'un moteur à induction. Cette série de feuilles de travail vous montre comment procéder. Il y a un certain nombre d'étapes à suivre :

## Étape 1 : effectuer l'essai en circuit ouvert ou en marche libre

L'essai en circuit ouvert est effectué en faisant tourner le moteur à pleine tension sans charge mécanique. En supposant que les pertes par enroulement et par frottement du moteur sont négligeables, la machine fonctionnera très près du régime synchrone.

à vitesse. A ce moment, la valeur de  $R_L$  donnée par  $R_L = R_2(1-s)/s$  s'approche de l'infini. En même temps, on peut supposer que  $R_m$  et  $X_m$  sont sensiblement plus grands que  $R_1$  et  $X_1$ , de sorte que le circuit équivalent en vitesse synchrone peut être approximé par le diagramme ci-dessous.



Circuit équivalent d'une machine à induction à vitesse synchrone

# Circuit équivalent de une machine à induction

Comme nous pouvons mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant à l'aide de l'oscilloscope embarqué, nous pouvons en déduire les valeurs relatives de  $R_m$  et  $X_m$ .

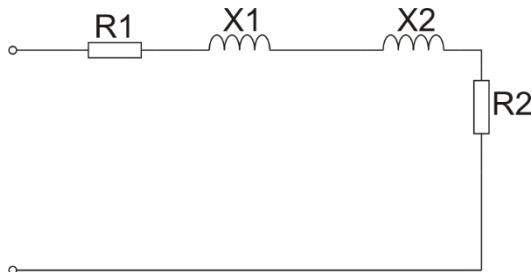
À ce stade,  $R_m$  et  $X_m$  peuvent être calculés comme suit :

$$\begin{aligned} Z_m &= V_p / I_p \\ I_{xm} &= I_p \sin(\phi) \\ X_m &= V_p / I_{xm} \\ I_{rm} &= I_p \cos(\phi) \\ R_m &= V_p / I_{rm} \end{aligned}$$

Comme  $R_m$  peut être mesuré à l'aide d'un multimètre, nous pouvons en déduire  $R_m$  et  $X_m$ .

## Étape 2 : effectuer le test du rotor bloqué

Le test du rotor bloqué est réalisé en bloquant le rotor et en appliquant une tension stator. Dans ce , la valeur de  $R_L$  donnée par  $R_L = R_2(1-s)/s$  est égale à zéro et la branche magnétisante donnée par  $X_m$  et  $R_m$  est beaucoup plus grande que la branche rotorique, de sorte que le circuit équivalent peut être donné par le diagramme ci-dessous :



Circuit équivalent d'une machine à induction à rotor bloqué

Nous connaissons maintenant  $R_m$ . Le moteur étant à l'arrêt et non alimenté,  $R_L$  va à l'infini. Par expérience, nous savons que  $X_1$  et  $X_2$  sont similaires.

$$\begin{aligned} Z_T &= V_p / I_p \\ X_T &= Z_T \cos(\phi) \\ X_1 &= X_2 = X_T / 2 \\ R_2 &= R_T - R_1 \end{aligned}$$

# Circuit équivalent de une machine à induction

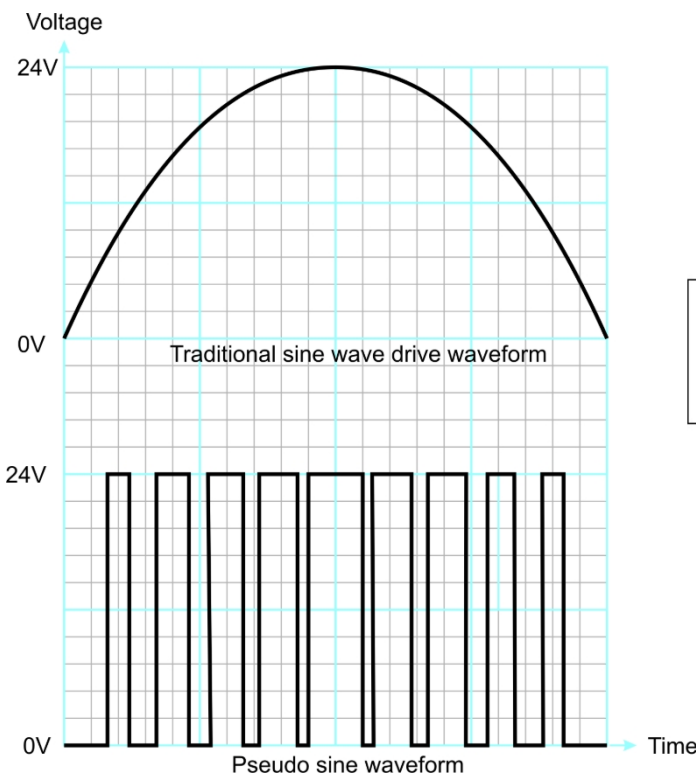
Enfin, nous pouvons simplement utiliser un multimètre pour mesurer la résistance de  $R_1$  en mesurant la résistance à travers un seul enroulement, car  $L_1$  constitue un court-circuit efficace pour un ohmmètre à courant continu.

## Conclusion

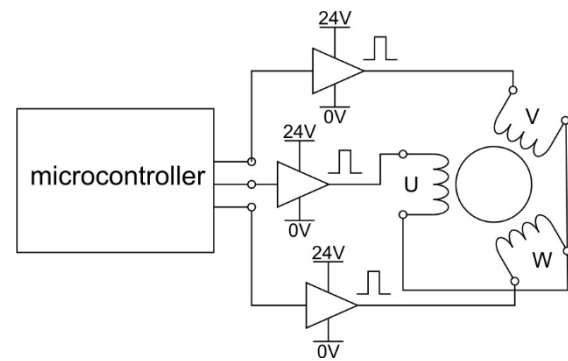
En effectuant le test du circuit ouvert et le test du rotor bloqué, nous pouvons rassembler les termes du circuit équivalent de la machine à induction.

Dans les feuilles de travail suivantes, vous suivrez ce processus étape par étape afin de construire un modèle pour la machine. Vous utiliserez ensuite un logiciel de mathématiques tel que Matlab ou GNU Octave pour vérifier votre modèle.

L'unité de commande utilise cinq puissants dispositifs de pilotage à base de FET. Trois d'entre eux sont utilisés pour piloter le moteur à induction à l'aide d'un signal modulé en largeur d'impulsion. Vous avez probablement déjà rencontré des systèmes de commande simples basés sur la modulation de largeur d'impulsion pour commander des moteurs à courant continu. Le rapport d'espacement de la tension de commande varie entre 0 et 100 % pour obtenir un contrôle de la puissance similaire à la simple variation de l'amplitude de la tension de commande CC. Ce système doit être quelque peu affiné pour l'alimentation du moteur triphasé.



Forme d'onde pseudo-sinusoidale



Circuit de commande du microcontrôleur

L'algorithme de pilotage de la tension PWM peut être modifié pour produire une forme d'onde de puissance qui ressemble beaucoup à une sinusoïde, comme le montre le diagramme ci-dessus. Ce diagramme est très grossier : dans la pratique, une résolution de 5 degrés est utilisée avec une fréquence PWM proche de 8kHz. Cela nous permet de produire des courants sinusoïdaux dans les enroulements, car l'inductance des enroulements agit comme un filtre passe-bas très efficace.

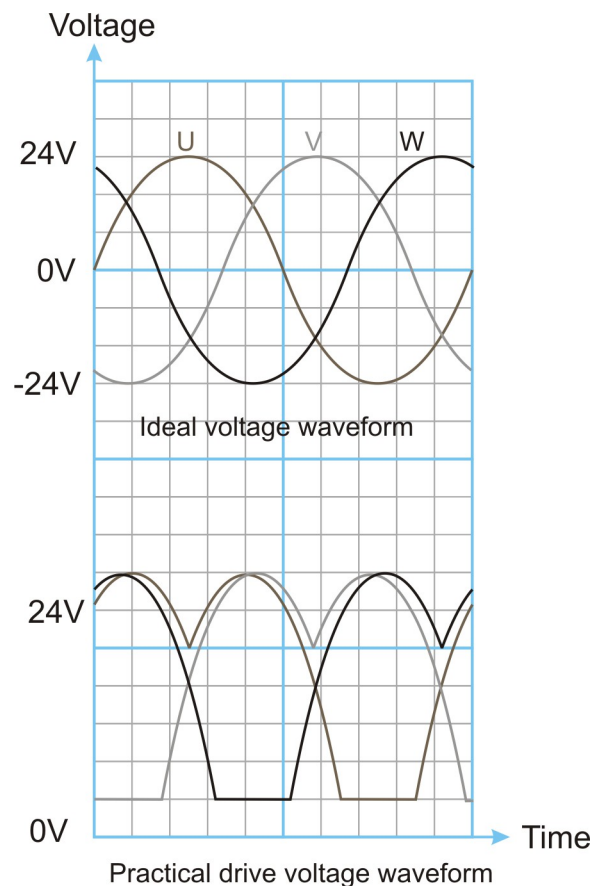
Les enroulements testés ici sont connectés "étoile" : une extrémité des enroulements U, V, W est connectée au circuit d'entraînement et les autres extrémités des trois enroulements sont simplement connectées ensemble pour former une terre virtuelle.

La forme d'onde ci-dessus montre que la moitié de la forme d'onde de commande peut facilement être produite par un amplificateur utilisant la modulation de largeur d'impulsion avec un rapport d'espace de marque variant de manière sinusoïdale. Dans un circuit d'entraînement de moteur MLI en courant continu, un circuit à pont en H est utilisé avec quatre FET pour permettre l'entraînement d'un moteur à des vitesses variables en continuation de l'alimentation en courant.

A partir d'une alimentation 24V DC, le circuit du pont en H permet de commuter 24V vers le moteur dans l'une ou l'autre direction. Cela donne effectivement +24V ou -24V aux bornes du moteur.

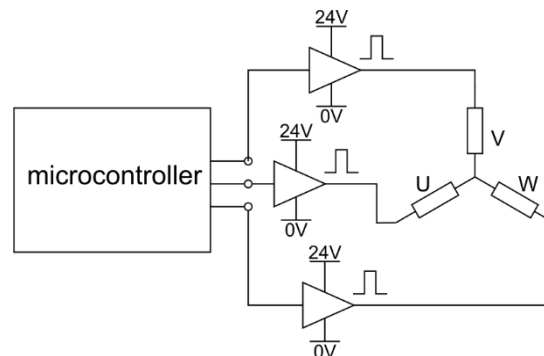
Le circuit de commande du moteur triphasé dans l'unité de contrôle est similaire : les pilotes de sortie peuvent être pour faire descendre le courant et le monter. Cela permet de produire un courant sinusoïdal efficace dans les enroulements à l'aide d'un microcontrôleur rapide, d'un PWM à espace de marque variable et de trois amplificateurs.

La connexion du moteur triphasé se fait en étoile. Étant donné que les pilotes doivent être réglés pour absorber du courant pendant une partie de la forme d'onde, le signal de commande doit être soigneusement étudié. Nous ne pouvons pas simplement générer des tensions sinusoïdales sur les sorties U, V, W et connecter le moteur. Cela ne générerait pas de courants sinusoïdaux. La question est donc la suivante : quelle forme d'onde devons-nous émettre sur U, V, W pour introduire des courants sinusoïdaux dans le moteur ?



La réponse se trouve dans ce diagramme. Nous utilisons un profil de phase de troisième harmonique par rapport à la forme d'onde de commande pour entraîner le moteur. Lorsque les courants en U, V et W sont résolus pour un système d'entraînement connecté en étoile, des courants sinusoïdaux circulent dans le moteur.

Vous pouvez vous en assurer en contrôlant indépendamment le courant à travers 3 résistances lorsqu'elles sont connectées en étoile comme le montre le diagramme suivant :



Dans l'équipement, vous trouverez une carte Locktronics avec trois résistances, que vous pouvez facilement utiliser avec un oscilloscope externe (assurez-vous qu'il dispose d'une alimentation isolée - pas d'un PC). portée) pour vérifier que les courants sont sinusoïdaux : placez la borne de terre sur la connexion centrale et mesurez la tension aux bornes d'une résistance de phase. Bien que cette méthode soit un peu déroutante en termes de sous-exploitation, elle n'est pas toujours facile à mettre en œuvre. Pour savoir comment la tension réelle produit une tension effective, il faut garder à l'esprit qu'une seule chose compte : les courants doivent être sinusoïdaux. Vous pouvez facilement le vérifier à l'aide de l'oscilloscope de l'unité de contrôle.

Le problème suivant est que, pour effectuer les calculs, nous devons comprendre la tension effective avec laquelle nous entraînons le moteur. Nous utilisons une alimentation 24V DC, un circuit de pont en H et une forme d'onde de commande sinusoïdale à espace de marque variable. Ce n'est donc pas simple. Le logiciel SCADA effectue les calculs appropriés et vous donne une lecture de la tension effective pour sorties U, V et W.

Vous pouvez confirmer la lecture de la tension à l'aide d'un multimètre RMS (de préférence un multimètre Fluke qui est true RMS). Si vous placez un multimètre RMS entre deux des bornes U, V, W, vous pouvez obtenir une lecture efficace de la tension équivalente Delta. Vous pouvez convertir cette tension en tension équivalente de phase en utilisant un peu de mathématiques Delta-étoile :

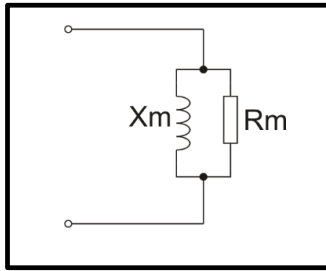
$$V_{\text{phase}} = V_{\text{ligne}} / \text{SQRT}(3)$$

L'oscilloscope embarqué dispose d'un sélecteur qui vous permet de voir la tension réelle de la ligne d'alimentation par rapport à la terre pour chacun des éléments U, V, W, ou de voir la tension de phase équivalente ajustée.

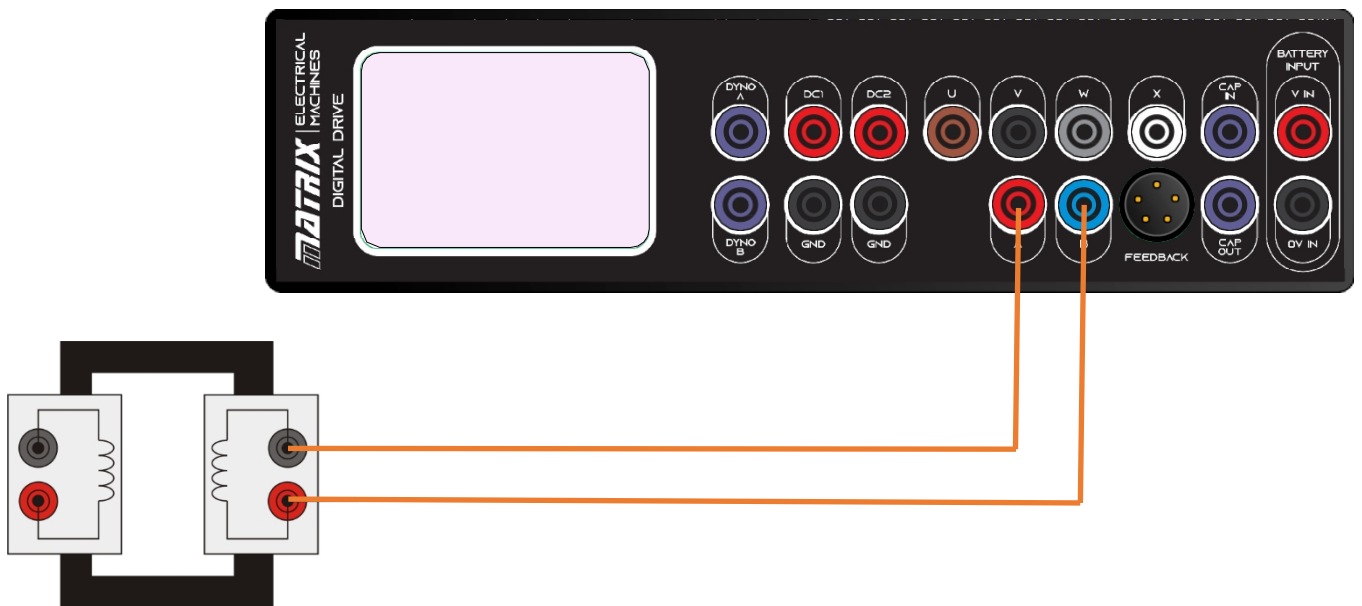
# Feuilles de travail

# Fiche de travail 1

## Test de circuit ouvert du transformateur



Dans cette expérience, vous déterminerez la valeur de  $X_m$  et en regardant l'angle de phase entre les deux. Et en calculant la puissance, puis en appliquant une séquence mathématique de calculs pour trouver  $X_m$  et  $R_m$ .



- 1) Montez un transformateur avec 400 tours dans le primaire et 600 tours dans le secondaire.
- 2) À l'aide d'un multimètre, mesurez la résistance aux bornes de l'enroulement secondaire. Il s'agit de  $R_2$ .
- 3) Câbler le système ci-dessus. Notez que vous devez utiliser le voltmètre interne pour obtenir une lecture précise de la tension : les cadrans du logiciel donnent une sortie calculée plutôt qu'une sortie réelle.
- 4) Connecter l'alimentation en courant alternatif au transformateur.
- 5) Chargez l'application 'Open Control\_1Phase.bat' sur votre ordinateur.
- 6) Appuyez sur le bouton PLAY pour démarrer le programme. Lancer l'application.
- 7) se peut que vous souhaitez effectuer le test à une tension légèrement inférieure pour réduire la distorsion.
- 8) Utilisez le logiciel de l'oscilloscope interne pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant.
- 9) Complétez la séquence calculs pour déduire  $R_m$  et  $X_m$ .



# Fiche de travail 1

## Test de circuit ouvert du transformateur

Vitesse (tr/min)	Courant $I_p$ (A)	Tension (Vp)

Crête de tension $V\phi_{pk}$ (degrés)

Courant de crête $I\phi_{pk}$ (degrés)

$$\phi = ((V\phi_{pk} - I\phi_{pk}) / 360) \times 2 \times \pi$$

Déphasage $\phi$ rads

$$Z_m = V_p / I_p$$

$Z_m$ Ohms

$$I_{xm} = I_p \sin(\phi)$$

$I_{xm}$ A

$$X_m = V_p / I_{xm}$$

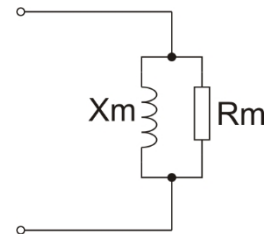
$X_m$ Ohms

$$I_{rm} = I_p \cos(\phi)$$

$I_{rm}$ A

$$R_m = V_p / I_{rm}$$

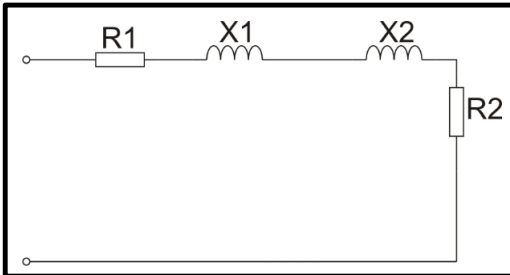
$R_m$ Ohms



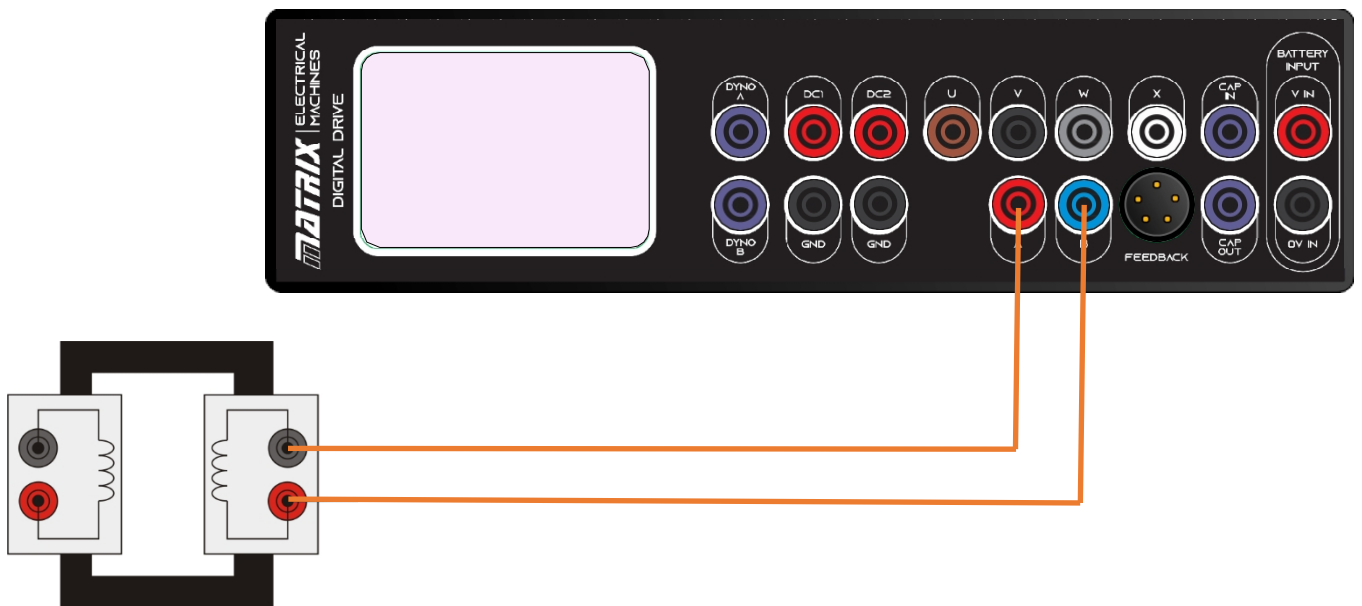
Vous obtenez ainsi les deux premiers paramètres de votre modèle : La résistance aux pertes de fer  $R_m$  et la réactance de magnétisation  $X_m$ .

## Feuille de travail 2

### Test de court-circuit du transformateur



Dans cette expérience, vous déterminerez la valeur de  $X_m$  et de  $R_m$  en observant l'angle de phase entre les deux. Et en calculant la puissance, puis en appliquant une séquence mathématique de calculs pour trouver  $X_m$  et  $R_m$ .



- 1) Connecter l'alimentation en courant alternatif au transformateur.
- 2) Chargez l'application 'Open Control\_1Phase.bat' sur votre ordinateur.
- 3) Pour une fréquence de 50 Hz, notez le courant et la tension d'entrée.
- 4) Utilisez le logiciel de l'oscilloscope interne pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant.
- 5) Complétez la séquence de calculs pour déduire  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $R_2$ .

# Feuille de travail 2

## Test de court-circuit du transformateur

Calculer des valeurs à partir de la puissance, de la tension et du courant

R2s (ohms)	Courant Ip (A)	Tension Vp (V)

Crête de tension VØpk (degrés)

Courant de crête IØpk (degrés)

$\phi = ((V\phi_{pk} - I\phi_{pk}) / 360) \times 2 \times \text{Pi}$

Déphasage Ø rads

$a = N_p / N_s$

Taux de rotation a

$Z_t = V_p / I_p$

Impédance Zt (Ohms)

$X_t = Z_t \sin(\phi)$

Réactance Xt (ohms)

$X_1 = X_2 = X_t / 2$

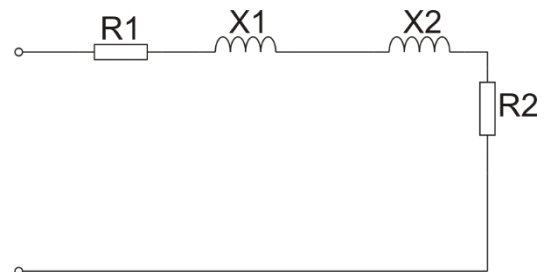
Reactance X1, X2 (Ohms)

$R_t = Z_t \cos(\phi)$

Rt (ohms)

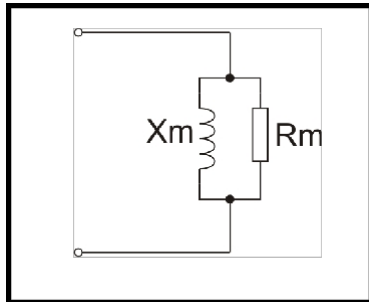
$R_1 = R_t - a^2 R_{2s}$

Résistance R1 (Ohms)

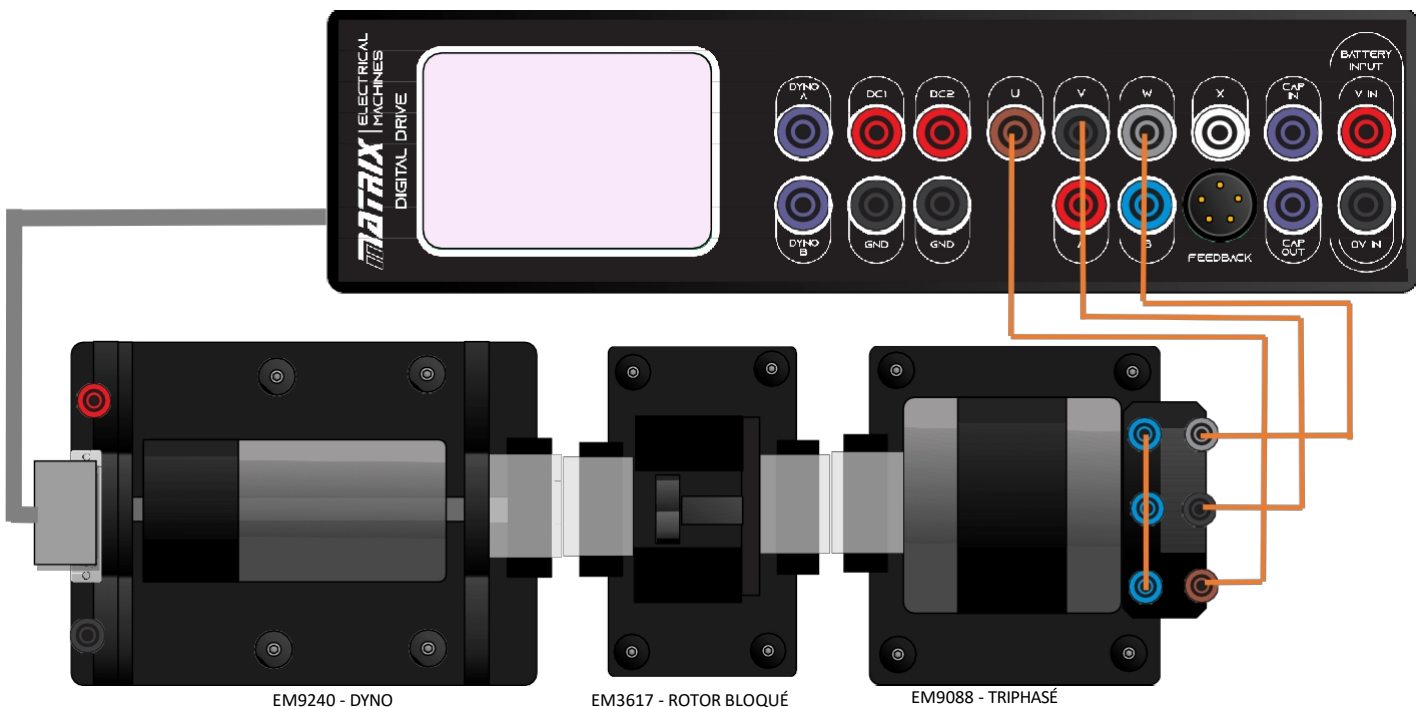


# Feuille de travail 3

## Essai de fonctionnement libre du moteur à induction



Dans cette expérience, vous déterminerez la valeur de  $X_m$  et en mesurant l'angle de phase entre la tension et l'angle de phase entre la tension et l'angle de phase.  
et de calculer la puissance, puis d'appliquer une séquence mathématique de calculs pour trouver  $X_m$  et  $R_m$ .



- 1) Installez le mécanisme de rotor bloqué et la machine à induction triphasée comme indiqué dans diagramme ci-dessus.
- 2) Branchez l'alimentation à la machine à induction triphasée et connectez le type D 25way sur le mécanisme du rotor bloqué à l'arrière de l'alimentation.
- 3) Réglez le verrouillage du rotor sur off : de sorte que la machine à induction ne soit pas soumise à une charge et qu'elle fonctionne librement.
- 4) Chargez l'application 'Open Control\_3Phase.bat' sur votre ordinateur.
- 5) Pour une fréquence de 50 Hz, mesurez la puissance, le courant et la tension d'entrée.
- 6) Utilisez le logiciel de l'oscilloscope pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant.
- 7) Complétez la séquence calculs pour déduire  $X_m$  et  $R_m$ .
- 8) N'oubliez pas que vous mesurez le courant et la tension de ligne. Vous devez convertir la tension de ligne en tension de phase pour vos calculs.
- 9) Vous pouvez utiliser l'entrée V pour obtenir mesure plus précise de la tension de phase. Les cadrans de l'unité de contrôle donnent une tension calculée. Cela conviendra pour mesurer l'angle de phase.

# Fiche de travail 3

## Essai de fonctionnement libre du moteur à induction

Informations provenant du logiciel :

Vitesse (tr/min)	Fréquence f (Hz)	Courant de phase I <sub>p</sub> (A)	Tension de ligne v <sub>L</sub> (V)	Crête de tension V∅ <sub>pk</sub> (degrés)	Courant de crête I∅ <sub>pk</sub> (degrés)

$V_p = V_L \times \text{SQRT}(3)$

**Tension de phase (V<sub>p</sub>)**

$\phi = ((V\phi_{pk} - I\phi_{pk}) / 360) \times 2 \times \text{Pi}$

**Déphasage ∅ (rads)**

$Z_m = V_p / I_p$

**Z<sub>m</sub> (Ohms)**

$I_{xm} = I_p \sin(\phi)$

**I<sub>rm</sub> (A)**

$X_m = V_p / I_{xm}$

**R<sub>m</sub> (Ohms)**

$I_{rm} = I_p \cos(\phi)$

**I<sub>rm</sub> (A)**

$R_m = V_p / I_{rm}$

**R<sub>m</sub> (Ohms)**

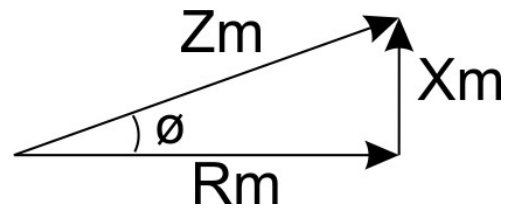
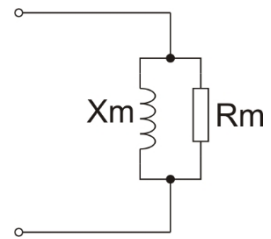
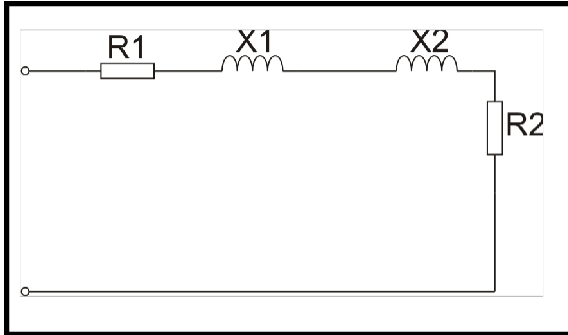


Diagramme vectoriel montrant R<sub>m</sub>, X<sub>m</sub>, Z<sub>m</sub>

Vous obtenez ainsi les deux premiers paramètres de votre modèle : La résistance aux pertes de fer R<sub>m</sub> et la réactance de magnétisation X<sub>m</sub>.

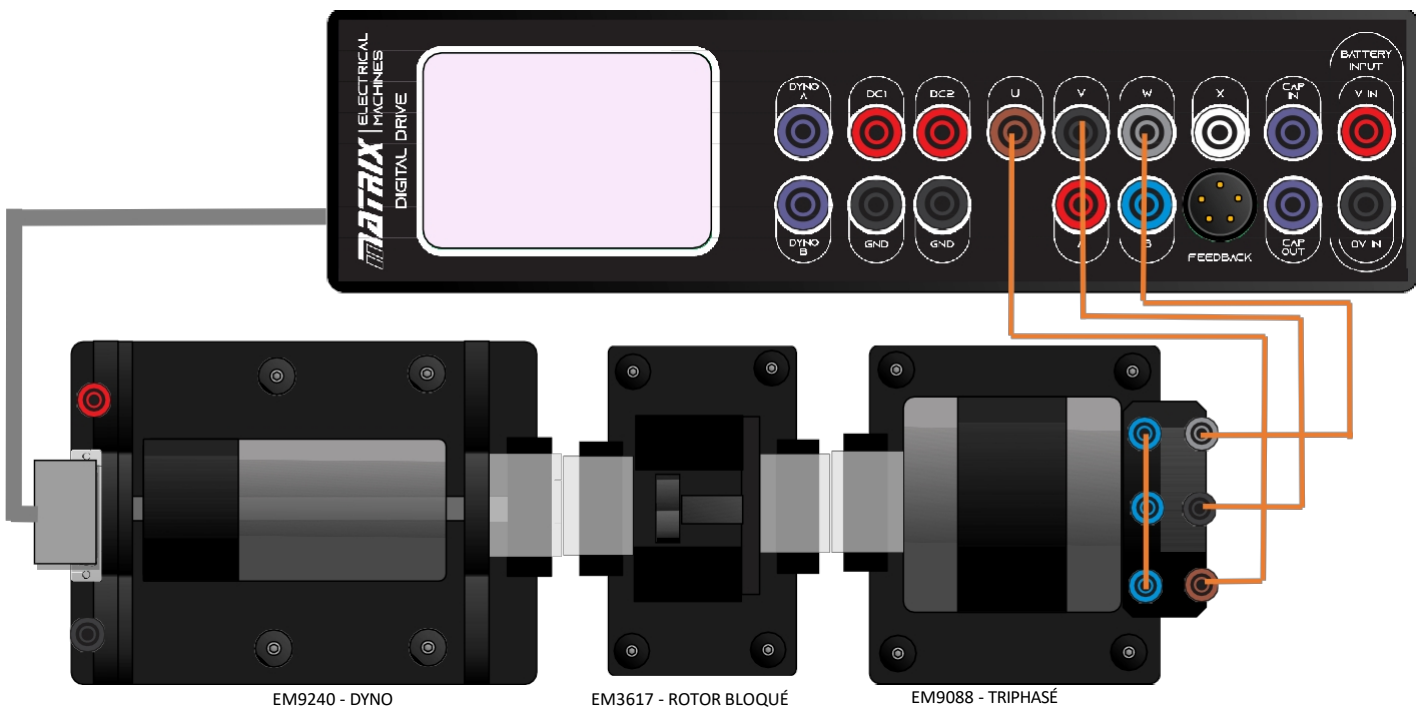
# Fiche de travail 4

## Essai du rotor bloqué d'un moteur à induction



Comme pour l'expérience précédente, vous mesurerez l'angle de phase entre la tension et le courant et en déduirez les valeurs des réactances équivalentes et de l'angle de phase.

Les résistances sont déterminées à l'aide d'une séquence de calculs.



- 1) moteur étant câblé mais non connecté à l'unité de contrôle, mesurez la résistance entre U et V. Il s'agit de la résistance effective de deux enroulements. Divisez-la par deux pour obtenir la valeur de R1.
- 2) Installez le mécanisme de verrouillage du rotor et la machine à induction triphasée comme indiqué dans le diagramme ci-dessus.
- 3) Branchez l'alimentation électrique à la machine à induction triphasée et connectez le type D à 25 voies à l'alimentation électrique à l'arrière du bloc d'alimentation.
- 4) Réglez le verrouillage du rotor sur marche : de manière à ce qu'il n'y ait aucun mouvement dans la machine à induction et que le rotor soit verrouillé.
- 5) Chargez l'application 'Open Control\_3Phase.bat' sur votre ordinateur.
- 6) Pour une fréquence de 50 Hz, mesurez la puissance, le courant et la tension d'entrée.
- 7) Utilisez le logiciel oscilloscope pour mesurer l'angle de phase entre la tension et le courant.
- 8) Complétez la séquence de calculs pour déduire X1, R2, X2.
- 9) N'oubliez pas que vous mesurez le courant et la tension de ligne. Vous devez convertir la tension de ligne en tension de phase pour vos calculs.

# Fiche de travail 4

## Essai du rotor bloqué d'un moteur à induction

Calculer des valeurs à partir de la puissance, de la tension et du courant

Vitesse (tr/min)	Fréquence f (Hz)	Courant de phase I <sub>p</sub> (A)	Tension de ligne v <sub>L</sub> (V)	Crête de tension V <sub>Øpk</sub> (degrés)	Courant de crête I <sub>Øpk</sub> (degrés)	Résistance du stator R1 (Ohms)

**Tension de phase V<sub>p</sub>**

---

V<sub>p</sub> = V<sub>L</sub> / SQRT(3)

**Déphasage Ø (rads)**

---

Ø = ((V<sub>Øpk</sub> - I<sub>Øpk</sub>) / 360) x 2 x Pi

**Impédance Z<sub>T</sub> (ohms)**

---

Z<sub>T</sub> = V<sub>p</sub> / I<sub>p</sub>

**Réactance X<sub>T</sub> (ohms)**

---

X<sub>T</sub> = Z<sub>T</sub> SIN (Ø)

**Réactance X<sub>T</sub> (ohms)**

---

X<sub>1</sub> = X<sub>2</sub> = X<sub>T</sub> / 2

**Résistance R<sub>T</sub> (ohms)**

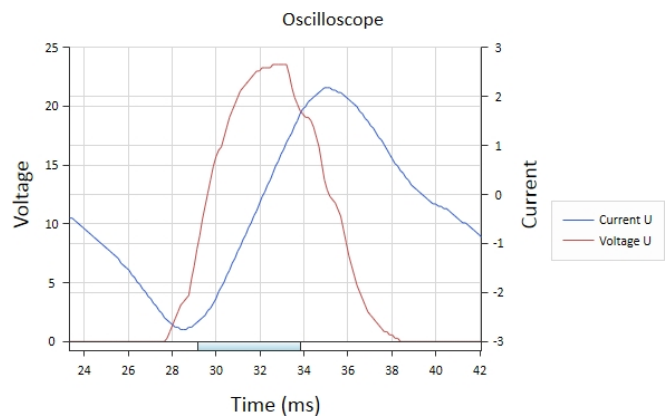
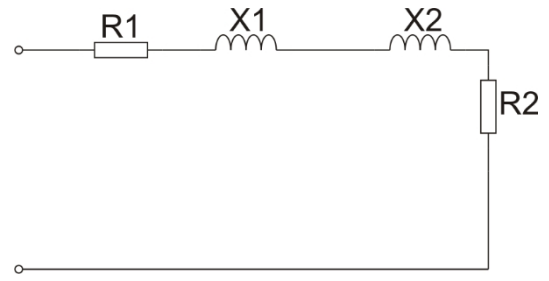
---

R<sub>T</sub> = Z<sub>T</sub> COS (Ø)

**Résistance R<sub>m</sub> (ohms)**

---

R<sub>2</sub> = R<sub>T</sub> - R<sub>1</sub>



Vous pouvez utiliser l'oscilloscope dans l'application Open Control\_3Phase.bat' pour mesurer l'angle de phase entre V<sub>p</sub> et I<sub>p</sub>.

# Fiche de travail 4

## Essai du rotor bloqué d'un moteur à induction

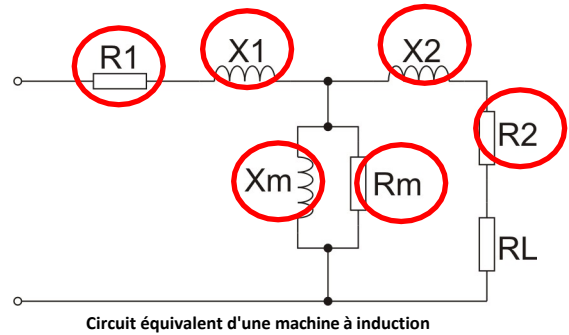
### Conclusions

Vous avez maintenant des valeurs pour  $R_1$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $R_2$ ,  $X_m$  et  $R_m$ .

$R_L$  peut être calculé à partir de la formule :

$$R_L = R_2(1-s)/s$$

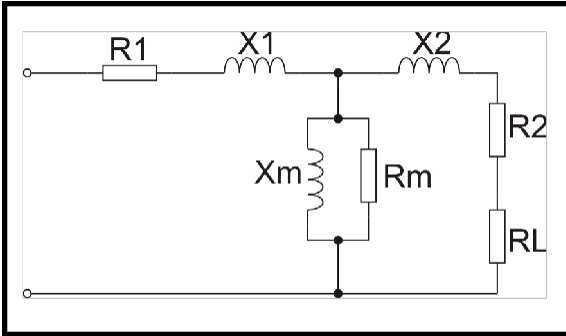
où  $s$  est le glissement.



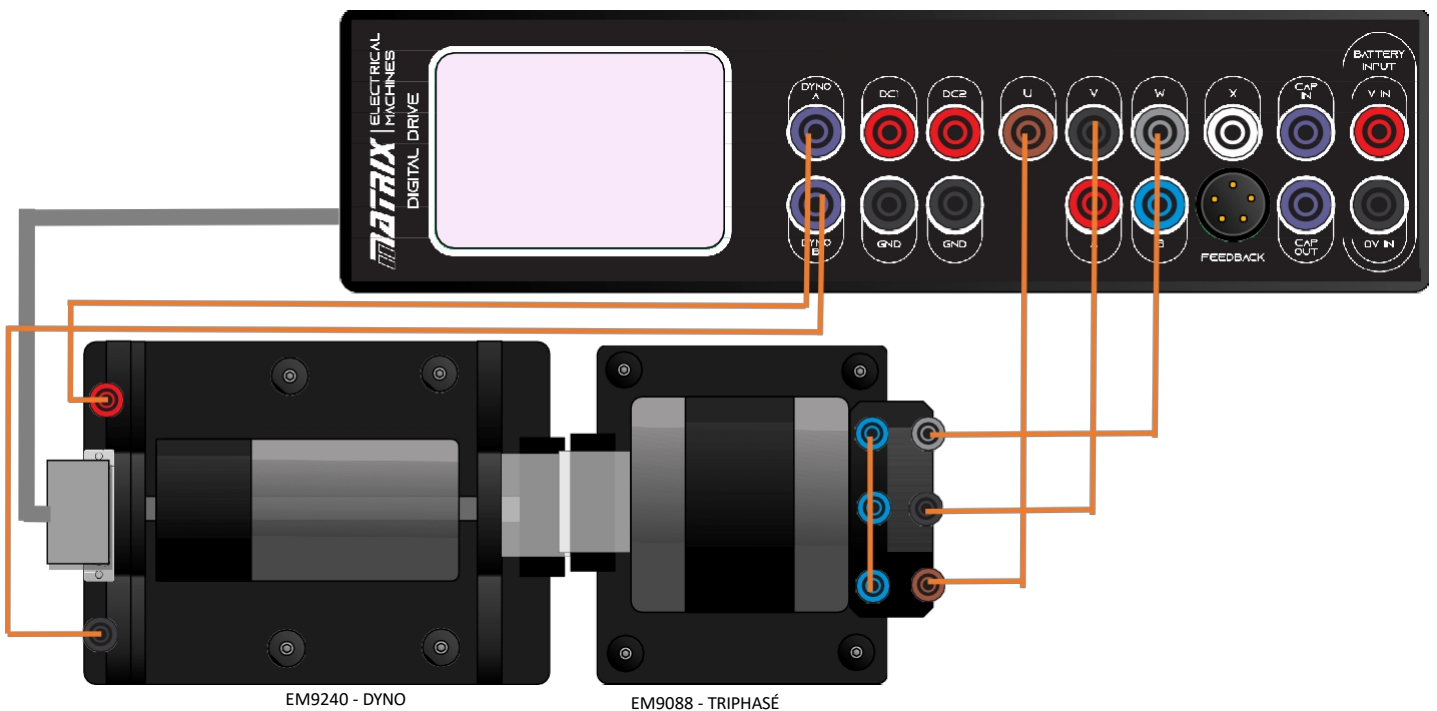


# Feuille de travail 5

## Caractéristiques des moteurs à induction



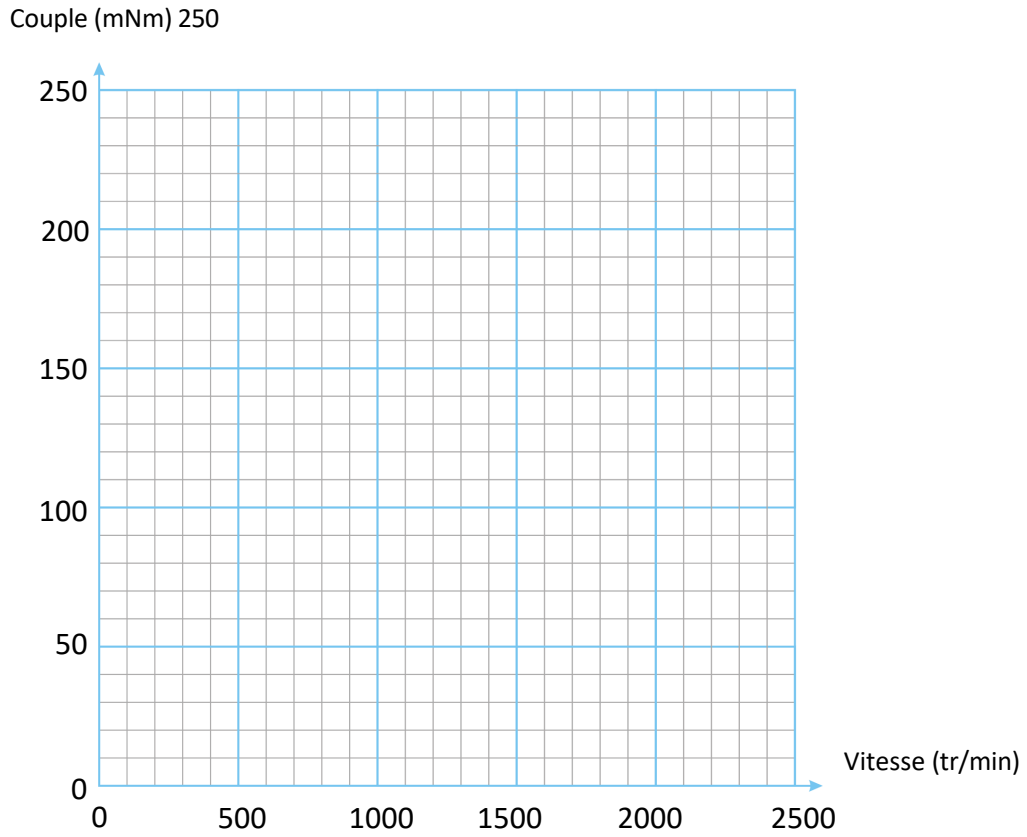
Au cours de cette expérience, vous recueillerez des informations sur les performances de la machine à induction triphasée. Dans la feuille de travail suivante, vous simulerez votre modèle de machine à induction et vous pourrez alors comparer les deux résultats.



- 1) Installez le moteur à induction triphasé et le dynamomètre comme indiqué dans le diagramme ci-dessus.
- 2) Charger l'application Open\_log\_3phase.bat.
- 3) Avec une fréquence de sortie 50 Hz, exécutez le programme et effectuez un ensemble automatique de relevés sur une gamme de charges de dynamomètre.
- 4) Répétez cette opération pour des fréquences de sortie de 60, 70, 80, 90 et 100 Hz.
- 5) Si vous pouvez tracer toutes les lignes de sortie sur le même graphique.
- 6) Sur la page suivante, dessinez les résultats.

# Feuille de travail 5

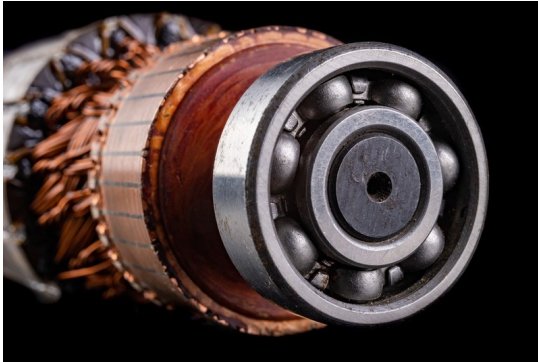
Caractéristiques des moteurs à induction



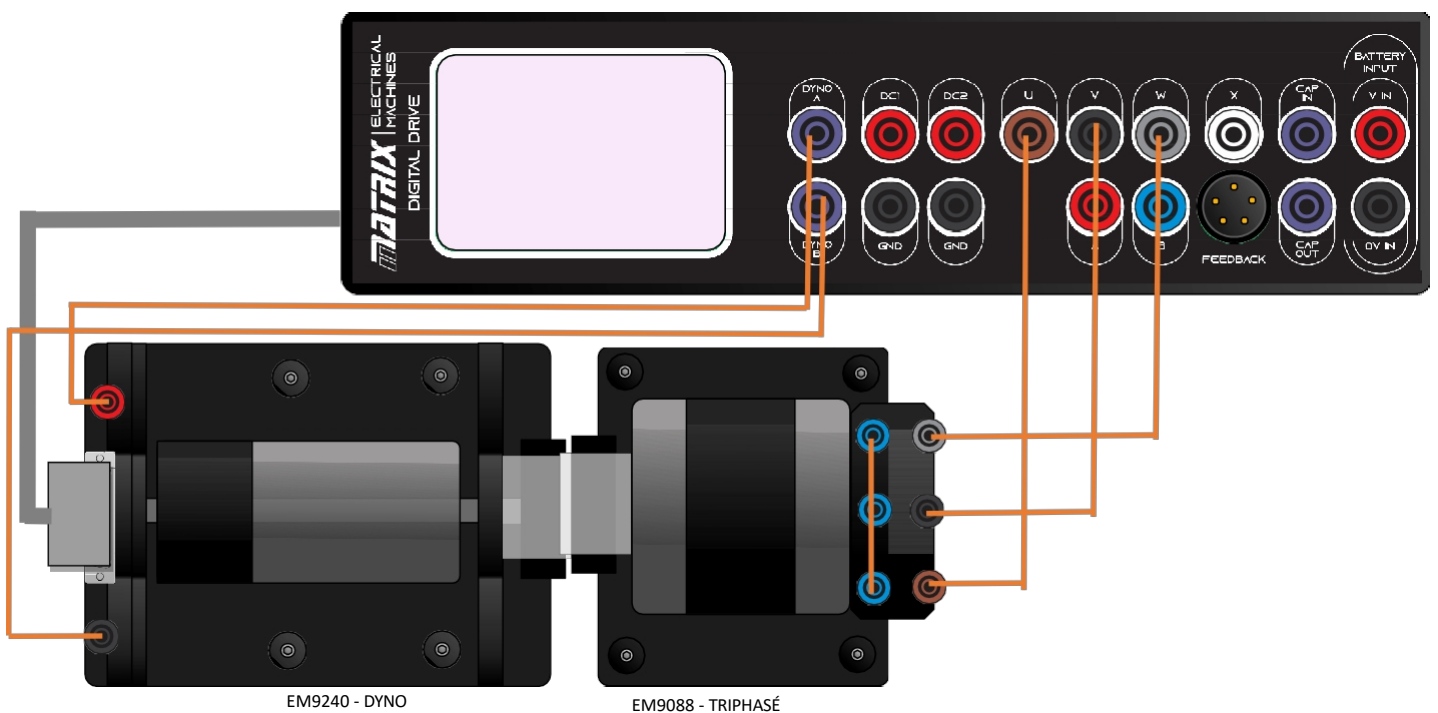
L'effet de la vitesse sur le couple pour différentes valeurs de la fréquence de sortie.

# Feuille de travail 6

## Effets de la friction et des pertes



Tout système mécanique présente des frottements et d'autres facteurs qui modifient les résultats réels par rapport à un modèle idéal. Notre modèle pour un moteur triphasé est purement électrique : il ne tient pas compte des roulements, des joints, des accouplements et des autres sources de frottement - y compris la résistance de l'air. Nous devons en tenir compte dans notre modèle avant de faire des prévisions sur les performances du moteur.



Nous pouvons raisonnablement essayer d'évaluer les pertes par frottement et les pertes mécaniques dans le moteur triphasé et le dynamomètre en mesurant les pertes tout en entraînant le moteur avec le dynamomètre qui est lui-même un moteur à courant continu. Nous n'utiliserons pas le moteur triphasé pour générer du courant, nous le conduirons électriquement déconnecté. Cela signifie que toute résistance mesurée sera purement due au frottement des roulements et à d'autres pertes mécaniques dans le système.

# Feuille de travail 6

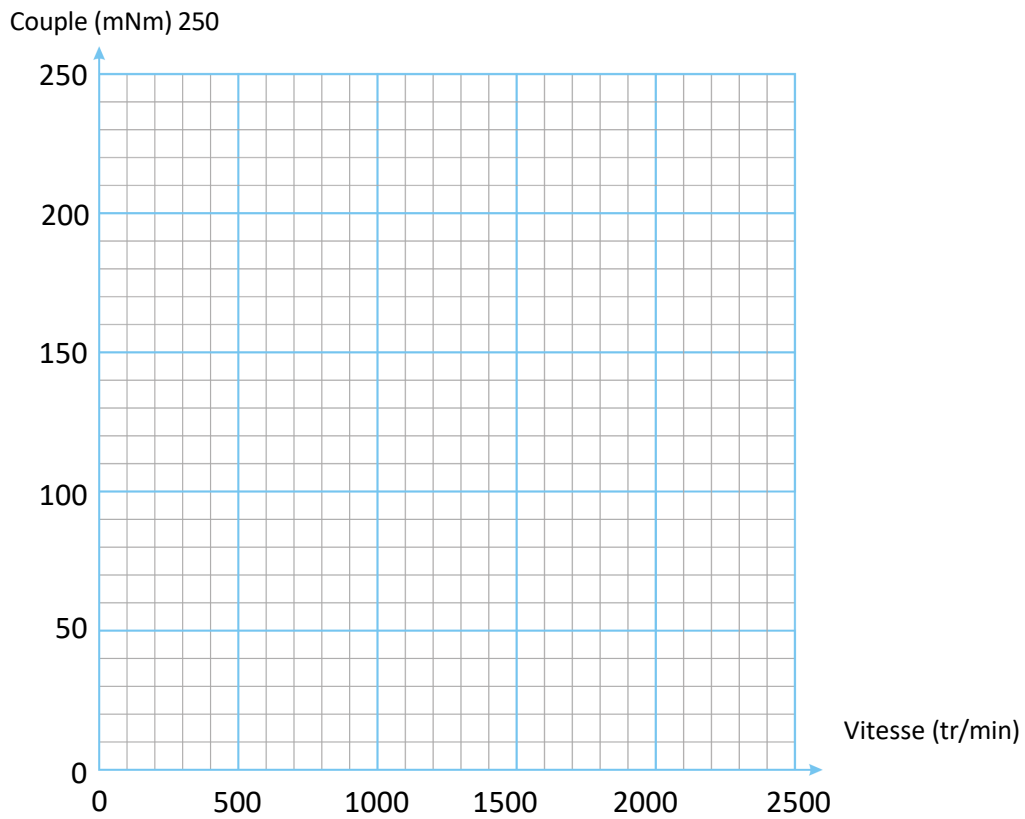
## Effets de la friction et des pertes

### À vous de jouer :

- 1) Installez le dynamomètre et le moteur triphasé comme indiqué ci-dessus.
- 2) Sur votre PC, exécutez le programme 'Open Control\_DC.bat'.
- 3) Ouvrez programme. Réglez la sortie DC1 sur 10% .
- 4) Effectuez plusieurs relevés de la courbe de vitesse et de couple obtenue en augmentant l'entraînement de 10 % jusqu'à 100 %.
- 5) Créez un graphique en ligne droite simple à partir de ces points sur la page suivante.
- 6) Trouver l'équation de la droite sous la forme  $y=mx + c$ . L'ordonnée à l'origine sur l'axe du couple représente le couple "perdu" indépendamment de la vitesse, tandis que la pente représente l'augmentation du couple "perdu" en fonction de la vitesse.
- 7) Vous disposez maintenant d'une équation qui indique les pertes approximatives dans le dynamomètre et le moteur triphasé dues au frottement et à d'autres pertes mécaniques. Vous pouvez ajouter cette équation au circuit électrique équivalent pour calculer les performances du moteur à induction triphasé afin d'obtenir une simulation plus précise des performances du moteur à induction.

# Feuille de travail 6

## Effets de la friction et des pertes



L'effet de la vitesse sur le couple pour différentes valeurs de la fréquence de sortie.

Pente

Pente, m

--

Interception

Interception sur l'axe des y, c

--

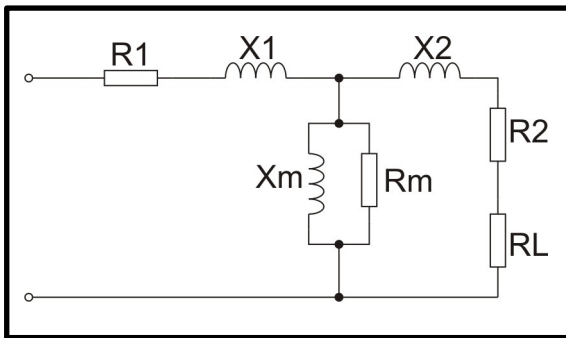
Formule pour la perte de couple

Perte mécanique équivalente  $y = mx + c$

--

# Fiche de travail 7

## Simulation du modèle de moteur



Dans cette expérience, vous utiliserez un paquet mathématique pour simuler le modèle que vous avez construit et le comparerez ensuite aux résultats pratiques que vous avez obtenus dans la feuille de travail précédente.

1) Construisez un modèle mathématique dans un logiciel tel que GNU Octave ou Matlab. Le programme pour GNU Octave est donné à la page suivante, mais vous devriez utiliser les valeurs que vous avez trouvées de manière expérimentale. Dans ce programme, nos valeurs étaient les suivantes

$f = 50\text{Hz}$

Mesures à rotor ouvert :

$R_{\text{coils}} = 1.6$  (à travers U,V - 2 coils)

$V_{\text{ol}} = 14.6$

$I_{\text{o}} = 1.3$

Différence de phase = 77 degrés

Mesures du rotor bloqué VII =

14,4

$I_{\text{l}} = 3,1$

Différence de phase = 47 degrés

- Performances mesurées
- Performance simulée
- Performance simulée ajustée en fonction frottements et des pertes

Sur la page suivante, vous trouverez un script pour GNU Octave qui vous permet de tracer la courbe de la valeur prédite.

les résultats prévus avec les pertes et les résultats réels saisis par le logiciel SCADA et sauvegardés dans un fichier CSV.

Si vous utilisez Matlab, vous devriez pouvoir créer un script similaire en vous basant sur le code GNU Octave.

- 2) Construire un modèle mathématique dans un logiciel tel que GNU Octave ou Matlab et tracer les courbes de vitesse et de couple simulées sur une gamme de fréquences d'entraînement.
- 3) En utilisant les résultats de votre travail sur les pertes de couple dues aux effets de la friction : ajoutez un facteur de compensation à votre programme pour tenir compte de ces pertes.
- 4) Faites une place dans votre programme :

```

# Section d'entrée
# -----

# RPM maximum pour l'essai
RPMmax= 1500 ;

# Mesure de la résistance du bobinage (U-V)
Rcoils = 1.85 ;

# Mesures à rotor ouvert (tension de ligne, courant de phase, puissance totale) Vol =
14.1 ;
Io= 1.3 ;
Po= 11.893 ;

# Mesures du rotor bloqué (tension de ligne, courant de phase, puissance totale) VII
= 13,9 ;
II= 3.0 ;
PI= 56.915 ;

# Fichier journal CSV du couple et de la
vitesse mesurés Les deux premières lignes
seront ignorées
# Colonne 2= RPM : Commence à B3
# Colonne 3 = Couple (mNm) : Commence à C3

# Exemple de chemin absolu :
# logData= csvread("C:\Users\User\Desktop\TorqueData.csv") ;

# fichier .csv dans le même dossier que le script :
logData= csvread("TorqueData.csv") ; #

Rreg= 0.24 ; #compensation des pertes dans l'unité de
contrôle R1 = Rcoils / 2 + Rreg ;
-----

Vop= Vol / sqrt(3) ; Vlp =
VII / sqrt(3) ;

# Calculer les valeurs des composants du circuit équivalent du moteur
à partir des résultats des tests du rotor ouvert et bloqué
function EqComps= CalcComps (TestVals) #
Calculer les valeurs des composants
EqComps.R1 = TestVals.R1 ;
EqComps.RM= TestVals.Vo^ 2 / (TestVals.Po / 3) ;
EqComps.XM= 1 / sqrt((TestVals.Io / TestVals.Vo)^ 2 - (1 / EqComps.RM)^ 2) ;

RT= TestVals.PI / 3 / TestVals.II^ 2 ; EqComps.R2
= RT - TestVals.R1 ;
XT= sqrt((TestVals.VI / TestVals.II)^ 2 - RT^ 2) ;

# X1 et X2 supposés égaux
EqComps.X1 = XT * 0,5 ; EqComps.X2 =
XT * 0,5 ; endfunction

# Calculer le couple prédit en utilisant le circuit équivalent du moteur.
function t = torqueCalc(Results, rpm_vals, EqComps)
# Représentations complexes des composants équivalents du circuit r1c
= complex(EqComps.R1, 0) ;
x1c = complex(0, EqComps.X1) ; rmc=
complex(EqComps.RM, 0) ; xmc=
complex(0, EqComps.XM) ; x2c =
complex(0, EqComps.X2) ;

# Valeurs de l'impédance d'entrée et de
l'impédance magnétique z1c = r1c + x1c ;
zmc= rmc * xmc / (rmc+ xmc) ;

# Glissement aux valeurs calculées de la vitesse de rotation
s= (Results.RPMmax - rpm_vals) / Results.RPMmax ;

# Résistance à la charge en fonction du
glissement rl = EqComps.R2 * (1 - s) ./ s ;

# Impédance équivalente du rotor
z2c= complex(EqComps.R2+ rl, 0)+ x2c ;

# ZE = Z2 || ZM
zec= z2c * zmc ./ (z2c+ zmc) ;

# V2 diviseur de potentiel
v2c= Résultats.Vo * zec ./ (z1c+ zec) ;

# Courant équivalent du rotor
i2c = v2c ./ z2c ;

# Puissance en RL (par phase)
p2 = abs(i2c .* i2c) .* rl ;

# Couple développé par RL (P / W) t =
3 * p2 ./ (rpm_vals / 30 * pi) ;
endfunction

# Calculer les pertes du système sur la plage de vitesse d'essai
function l = lossCalc(rpm_vals)
dyno_bearings= 0,3 * ((0,0203 * rpm_vals)+ 5,0523) ; motor_losses
= 45,9 + (0,0116 * rpm_vals) ;
l= (dyno_bearings .+ motor_losses) / 1000 ; endfunction

TestResults.Vo= Vop ;
TestResults.Io = Io ;
TestResults.Po = Po ;
TestResults.VI = Vlp ;
TestResults.II = II ; .PI = PI
; TestResults.R1 = R1 ;
TestResults.RPMmax= RPMmax ;

# Circuit équivalent du moteur
EqComps= CalcComps(TestResults) ;

# Plage de vitesse (à partir de 100 tr/min, par incréments de 25
tr/min) RPMrng = 100 : 25 : RPMmax ;

# Couple prévu
T_Calc= torqueCalc(TestResults, RPMrng, EqComps) ;

# Enregistrer les données du fichier .csv
RPMlog_01 = logData(3 : end, 2) ; Torque_log_01=
logData(3 : end, 3) / 1000 ;

# Pertes du système
Pertes= lossCalc(RPMrng) ;

# Soustraire les pertes du système calculées du couple calculé
Torque_res = T_Calc .- Losses ;
Torque_res_sz= size(Torque_res) ;
idx_max = Torque_res_sz(2) ;

# Zéro tout résultat de couple négatif - le moteur aura calé. for idx =
1:idx_max
if (Torque_res(1,idx)<0)
Torque_res(1,idx) = 0 ; endif
endfor

# Tracer les courbes
plot(RPMrng, T_Calc, RPMrng, Torque_res, RPMlog_01, Torque_log_01) ; xlabel
("RPM") ;
ylabel ("Couple (Nm)") ;
titre ("Couple - Pertes/Vitesse @ 50Hz, 20V") ;

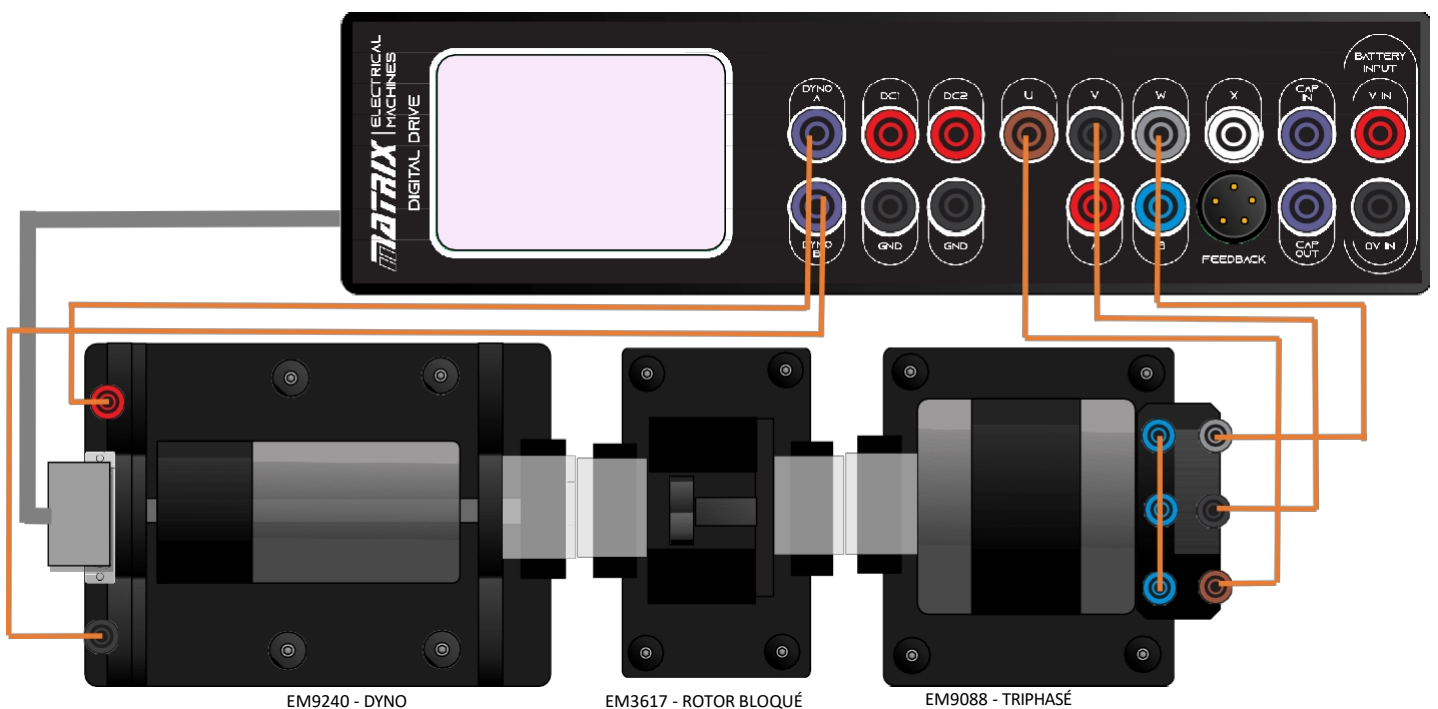
```

# Feuille de travail 8

## Poursuite des essais sur le rotor bloqué



Les caractéristiques complètes du moteur sont relevées sur une gamme complète de tours/minute pour tous les types de moteurs. Notre module de rotor bloqué maintient les moteurs de Matrix Electrical Machines à 0RPM tout en effectuant une lecture du couple pour générer une condition de non charge.



Dans le programme précédent "CP7479-Modern electrical Machines", vous avez établi des courbes de vitesse et de couple pour tous les moteurs fournis dans le produit Matrix pour les machines électriques. Dans cet exercice, vous aurez établi une courbe de balayage des caractéristiques des moteurs sur une plage de régimes et de charges. Vous aurez ainsi obtenu un ensemble de graphiques correspondant aux caractéristiques théoriques des moteurs donnés.

Cependant, en raison du fonctionnement du banc d'essai de Matrix, une charge de 100 % n'est pas pour arrêter complètement la rotation du moteur. Par conséquent, la comparaison entre les résultats théoriques et expérimentaux est entièrement démontrée.

Le rotor bloqué fournit la valeur du couple à 0RPM sur le graphique vitesse-couple qui, dans Excel ou Matlab, peut être ajouté à l'ensemble des données.

Pour cet exercice, vous aurez besoin d'accéder aux données des tests expérimentaux précédents et d'un logiciel modifiable tel qu'Excel.

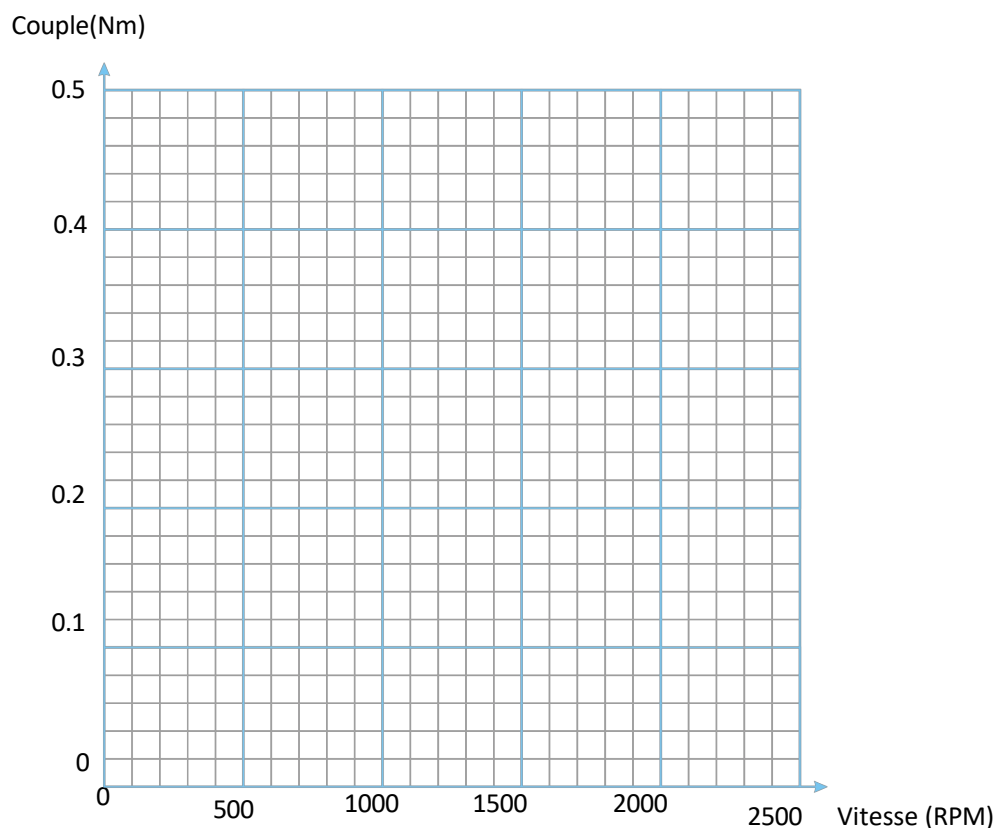


# Feuille de travail 8

## Poursuite des essais sur le rotor bloqué

### À vous de jouer :

- 1) Installez le dynamomètre, le rotor bloqué et chacun des moteurs à tour de rôle comme indiqué ci-dessus.
- 2) Sur votre PC, lancez le programme "electrical machine.exe".
- 3) Ouvrez le programme et appuyez sur le bouton "play". Reportez-vous aux feuilles de travail CP7479 pour les tests de vitesse et de couple effectués, il est probable que vous ayez généré des graphiques de balayage pour 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 % et 90 % de la sortie en courant continu.
- 4) Pour obtenir les données expérimentales pour 40%. Faites fonctionner la sortie CC à 40 %. Et réglez la charge sur 0%. Faites tourner le moteur.
- 5) Lire la valeur du couple à 0 tr/min.
- 6) Ajoutez ce résultat à vos données expérimentales précédentes pour générer un simple graphique en ligne droite en utilisant ces points sur la page suivante ou dans Excel, etc.
- 7) Répétez ce test pour toutes les autres sorties DC que vous avez effectuées précédemment. Le graphique des résultats doit présenter une série de lignes droites allant vers l'axe des y.
- 8) L'étape suivante consiste à prendre d'autres moteurs dans la gamme des machines électriques et à étudier le comportement du moteur à vide, à 0 tr/min. Répéter l'opération pour les moteurs triphasés, monophasés, sans balais, shunt et série. Prendre l'unité à rotor bloqué et répéter les tests effectués précédemment en ajoutant le nouveau point de données.

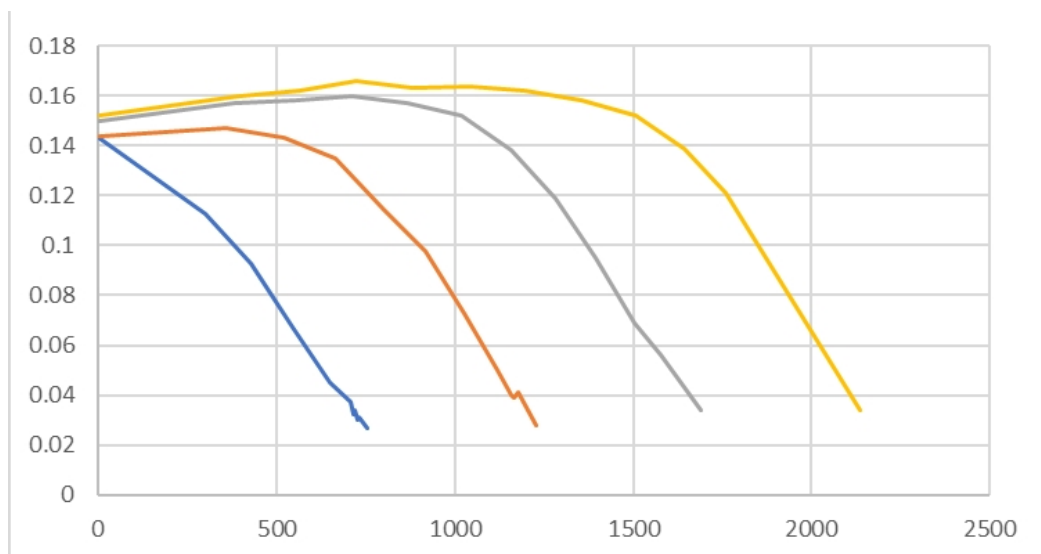
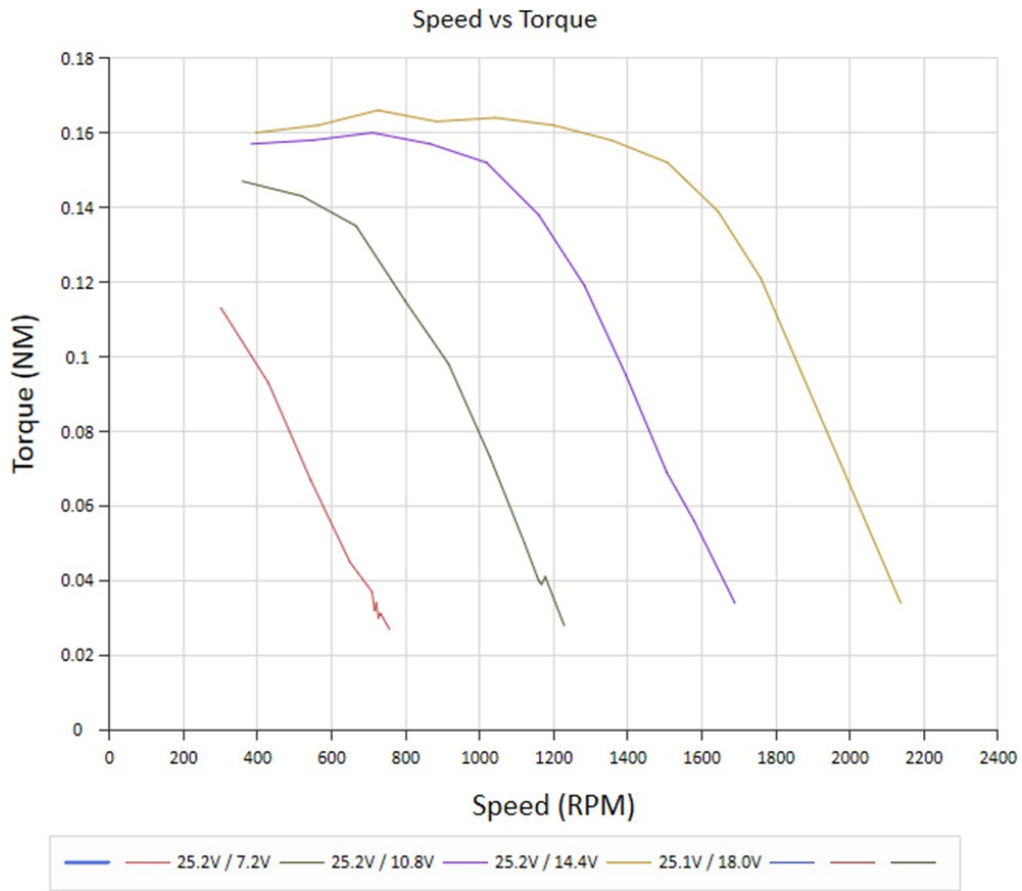


Effet de la vitesse du moteur sur le couple pour différentes valeurs tension d'alimentation en courant continu

# Feuille de travail 8

## Poursuite des essais sur le rotor bloqué

Quelques exemples de résultats pour le rotor bloqué

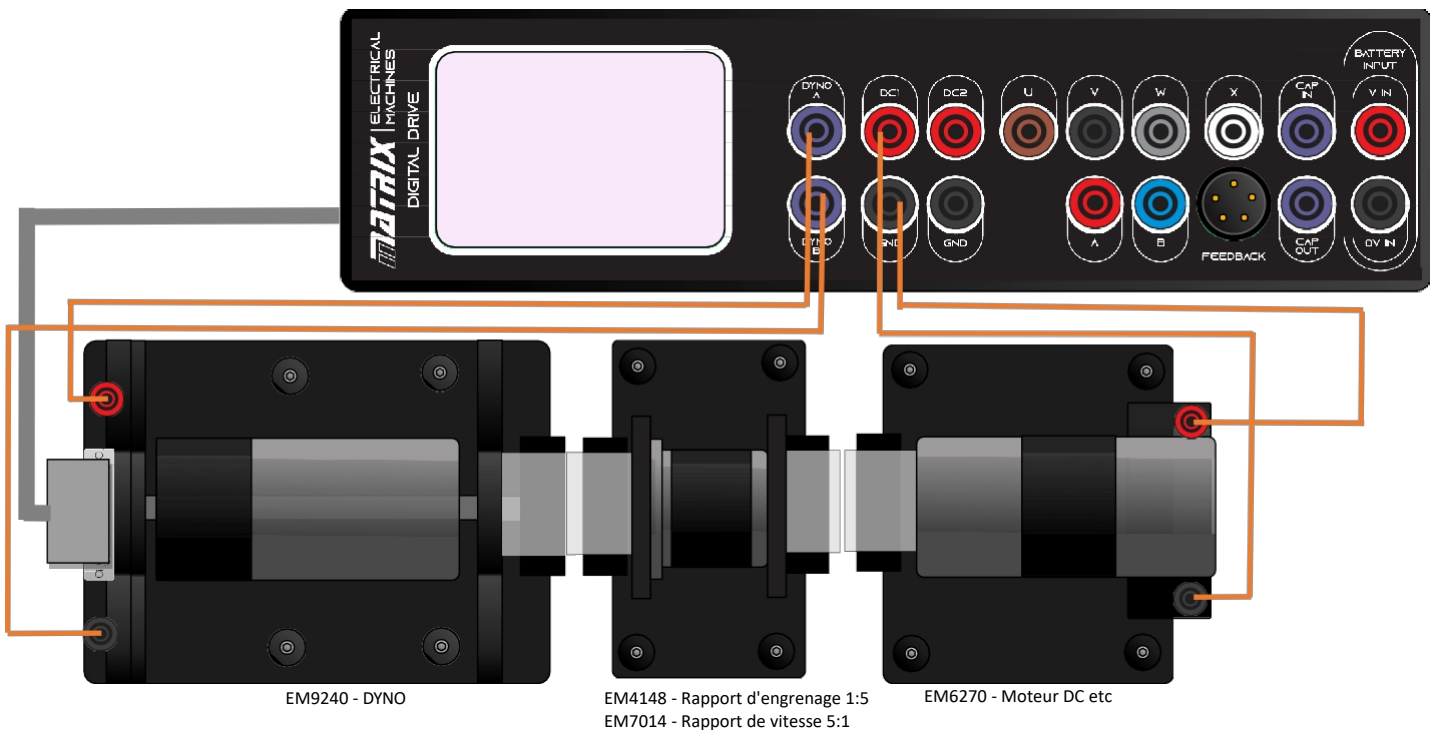


# Feuille de travail 9

## Rapports de boîte de vitesses



De nombreux systèmes d'entraînement de machines électriques ne sont pas spécifiés de manière appropriée pour une application sans modification du système dynamique. L'un des moyens pour les ingénieurs Pour rendre un moteur plus approprié, il suffit souvent d'en démultiplier la puissance. Les rapports de démultiplication permettent de faire un compromis entre la vitesse et le couple. Si un moteur s'adapte à une conception sur le plan dimensionnel, mais qu'il ne fonctionne qu'à un régime élevé, un rapport de démultiplication peut permettre d'augmenter le couple et de réduire le régime.



Dans le programme précédent "CP7479-Modern electrical Machines", vous avez établi les courbes de vitesse et de couple pour tous les moteurs fournis dans le produit Matrix pour les machines électriques. Dans cet exercice, vous devrez ajouter les modules de rapport de boîte de vitesses.

Les modules du réducteur sont des réducteurs planétaires en ligne. Lorsque le moteur à courant continu tourne, l'arbre de sortie est couplé à une entrée du réducteur. Cette rotation est transmise par un système d'engrenages imbriqués qui modifient la vitesse de rotation de l'arbre. Dans le module EM4148 1:5, la vitesse est multipliée par 5. Comme pour tous les systèmes mécaniques, l'énergie ne peut pas être créée mais seulement convertie, dans ce scénario l'augmentation de la vitesse est obtenue en réduisant le couple du moteur par un facteur de 5. Le module EM7014 est à l'opposé de cela et diminue la vitesse par 5 et augmente la vitesse par 5.

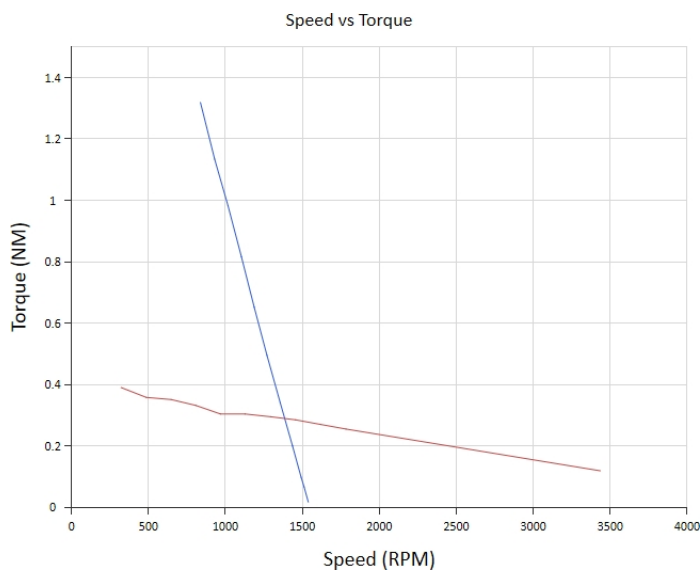
L'expérience comporte maintenant un nouvel ensemble de pièces dans le système, de sorte que le moteur devra travailler plus fort pour entraîner les arbres. Les résultats obtenus sur le banc d'essai refléteront ces changements.

# Feuille de travail 9

## Rapports de boîte de vitesses

### À vous de jouer :

- 1) Installez le dynamomètre et le moteur à courant continu à tour de rôle comme indiqué ci-dessus. Sans le réducteur
- 2) Sur votre PC, lancez le programme "electrical machine.exe".
- 3) Ouvrez programme. Appuyez sur le bouton de lecture du logiciel.
- 4) Configurez le test de couple de vitesse précédent dans CP7479, en faisant fonctionner le moteur à 18V et en balayant la charge.
- 4) Effectuez également plusieurs balayages à 10 et 14 V.
- 5) Représentez résultats sur un graphique de la vitesse et du couple, que remarquez-vous ?
- 6) Installez le module de la boîte de vitesses 1:5 entre le moteur à courant continu et le banc d'essai comme le montre le schéma ci-dessus.
- 7) Effectuez les mêmes 3 balayages à 10v, 14v et 18v, afin d'obtenir des comparaisons directes.
- 8) Reportez les résultats sur même graphique que précédemment. S'assurer que l'échelle du graphique est appropriée.



Exemple de graphique de l'application PC Elec- trical Machines, 18v de moteur CC direct (bleu) et de moteur CC avec un rapport de 1:5 (rouge).

- 9) Installez le module 5:1 de la boîte de vitesses entre le moteur à courant continu et le banc d'essai comme le montre le schéma ci-dessus.
- 10) Effectuez les mêmes 3 balayages à 10v, 14v et 18v.
- 11) Reportez les résultats sur même graphique que précédemment. S'assurer que l'échelle du graphique est appropriée.

### Remarque :

Le système a une limite de sécurité de 3500 tr/min. Vous ne pouvez donc pas faire fonctionner le système au-delà de ce régime. La tension varie en fonction des boîtes de vitesses.

# Feuille de travail 9

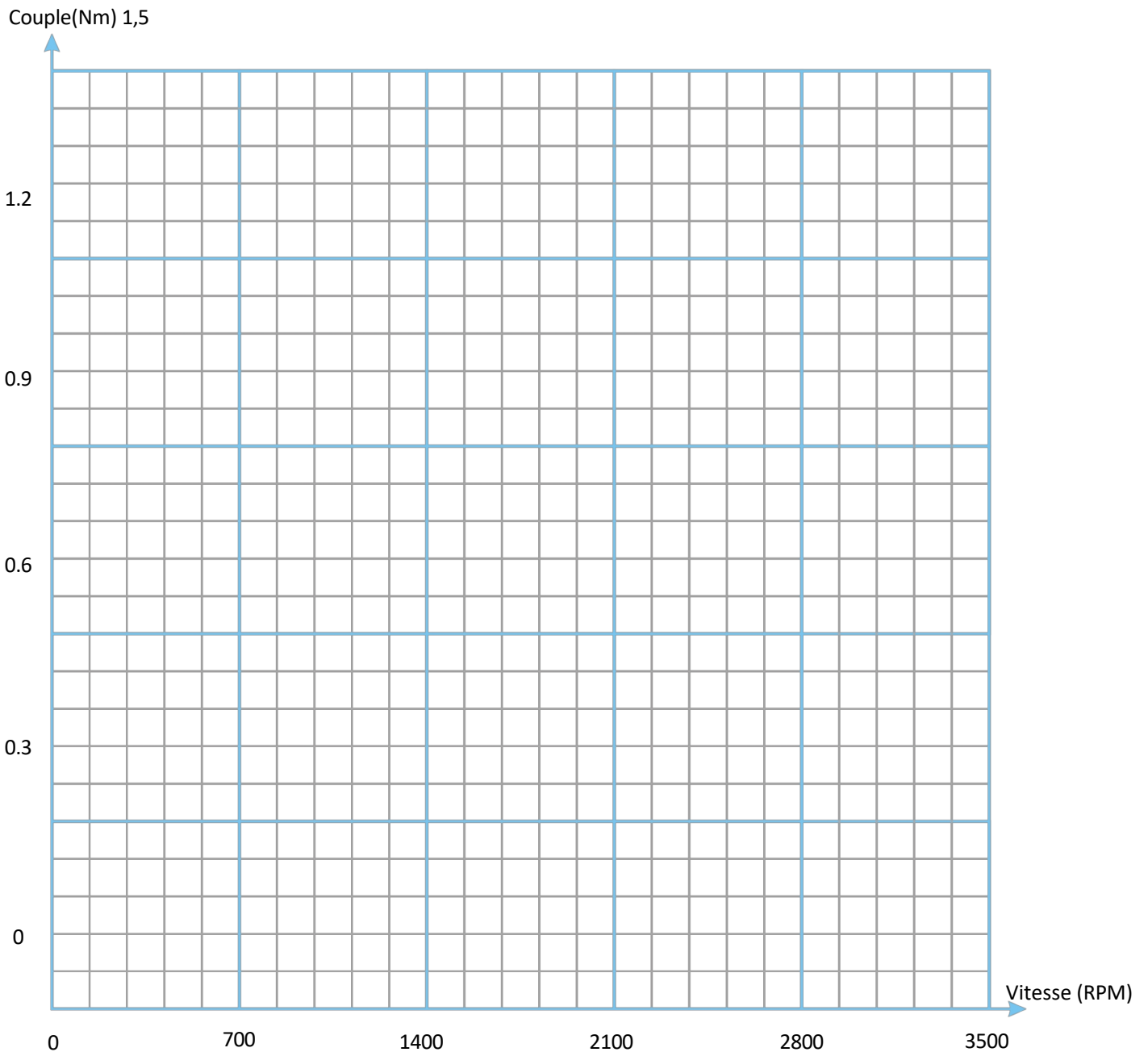
## Rapports de boîte de vitesses

Et alors ?

Qu'arrive-t-il à la pente du graphique ? Pourquoi la pente augmente-t-elle pour le rapport 5:1 et diminue-t-elle pour le rapport 1:5 ?

Pouvez-vous juger de l'impact de la présence d'une boîte de vitesses sur la charge dynamique du système ?

Si vous extrapolez les données vers l'axe dans tous les résultats. Pouvez-vous en déduire d'autres informations sur l'impact de la boîte de vitesses ? Pouvez-vous déterminer le rapport à partir des graphiques ?

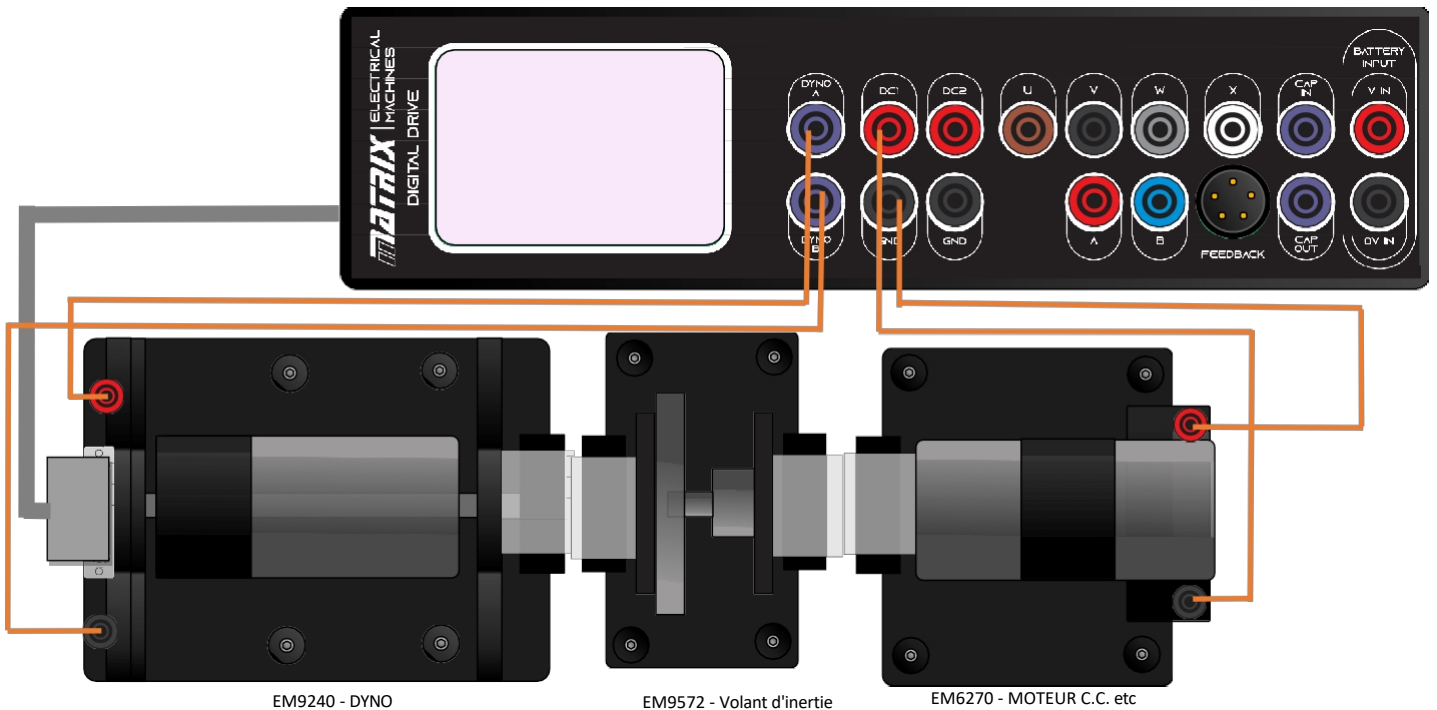


# Feuille de travail 10

## Volant moteur et embrayage



De nombreux systèmes d'entraînement de machines électriques ne sont pas spécifiés de manière appropriée pour une application sans modification du système dynamique. L'un des moyens pour les ingénieurs Pour rendre un moteur plus approprié, il suffit souvent d'en démultiplier la puissance. Les rapports de démultiplication permettent de faire un compromis entre la vitesse et le couple. Si un moteur s'adapte à une conception sur le plan dimensionnel, mais qu'il ne fonctionne qu'à un régime élevé, un rapport de démultiplication peut permettre d'augmenter le couple et de réduire le régime.



Dans les systèmes modernes d'entraînement des machines électriques, les moteurs ne sont pas les seuls composants du système d'ingénierie. Les systèmes comportent souvent une chaîne de composants dynamiques qui apportent différentes fonctionnalités et caractéristiques à l'ensemble du système. Par exemple, dans les véhicules électriques modernes, la batterie fournit les éléments suivants

l'alimentation d'un moteur, qui entraîne un arbre de transmission. L'arbre d'entraînement est probablement relié à une boîte de vitesses à un étage. L'arbre de sortie de la boîte de vitesses est ensuite entraîné vers un différentiel. À partir du différentiel, un autre arbre relie les roues. Celles-ci sont équipées de freins et de composants régénératifs pour la récupération de l'énergie.

Chaque élément de cette chaîne possède des caractéristiques dynamiques dont l'ingénieur concepteur devra tenir compte lors de la spécification de paramètres tels que la consommation d'énergie, le couple et la vitesse.

Dans notre système, le moteur peut entraîner un arbre relié à un embrayage électromagnétique. Cet embrayage peut être contrôlé pour régler le niveau d'engagement entre les deux plateaux. Le plateau entraîné est couplé à un grand volant d'inertie. Ce dernier est ensuite couplé au banc d'essai.

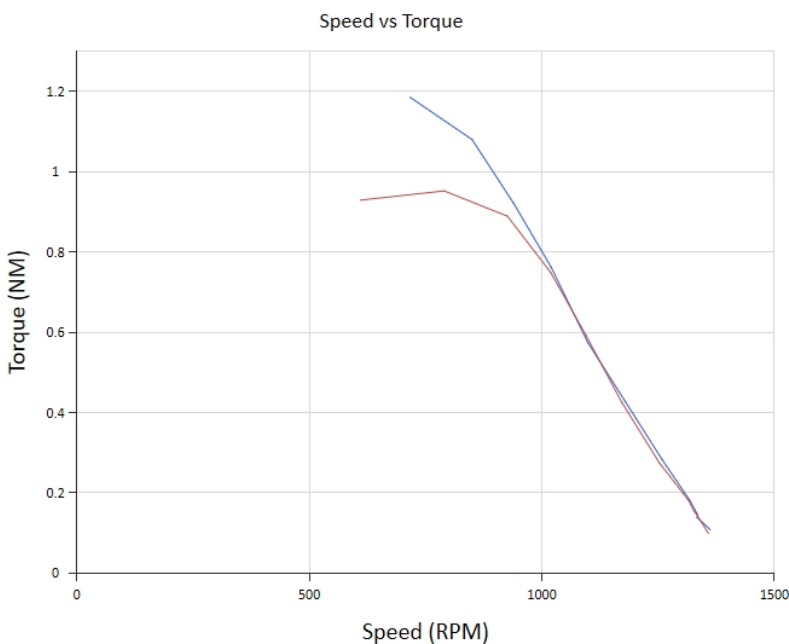
### À vous de jouer :

- 1) Installez le dynamomètre et le moteur à courant continu à tour de rôle comme indiqué ci-dessus. Avec le volant d'inertie entre les deux, assurez-vous que les connecteurs de 4 mm sont connectés conformément au schéma de câblage pour chaque configuration de moteur.
- 2) Sur votre PC, lancez le programme "electrical machine.exe".
- 3) Ouvrez programme. Appuyez sur le bouton de lecture du logiciel.
- 4) Régler le moteur à 18v sur la tension 1. Le moteur devrait tourner à environ 1300rpm.
- 5) Régler l'entraînement du sous-module à environ 10% - 4v
- 6) Accélérer la charge du banc sur toute la plage. Voici quelques valeurs recommandées :

Sweep Parameters	
Sweep Parameter	Dyno Load
Min Value %	0
Max Value %	100
Value Step %	10
Step Delay (s)	3

- 7) Ensuite, augmentez le pourcentage d'entraînement du sous-module à 14% - 5v.
- 8) Balayer la charge du banc sur toute la plage
- 9) Enfin, augmentez l'entraînement du sous-module à 17% - 6v, et répétez le même balayage sur charge du banc.
- 10) Examinez les graphiques et décrivez la forme et le comportement de la courbe de la vitesse en fonction du

couple Le graphique devrait ressembler à ceci :



### Et alors ?

D'un balayage à l'autre, pourquoi le couple maximum varie-t-il ?  
Pourquoi le couple s'estompe-t-il ? Que se passe-t-il lorsque vous essayez différents niveaux de tension 1 pour l'entraînement du moteur ?  
Pouvez-vous expliquer le comportement du volant et de l'embrayage dans le système ?

# Feuille de travail 10

## Volant moteur et embrayage

L'expérience précédente montre que l'embrayage patine à certains niveaux de couple. La charge du banc augmente, ce qui applique un couple au côté volant du système. La force de frottement des deux plaques empêche le moteur à courant continu de faire tourner le volant plus rapidement, car le couple est supérieur à la force de frottement. En essayant une tension différente pour moteur, le régime change mais le couple se stabilise même point pour des tests comparables d'engagement de l'embrayage. Cela montre que le système est limité par les forces opposées et que ce n'est qu'en augmentant la force de friction entre les deux disques d'embrayage que l'on peut augmenter le couple maximum du système.

### Varier la tension de 1 entraînement à 1 A vous

de voir :

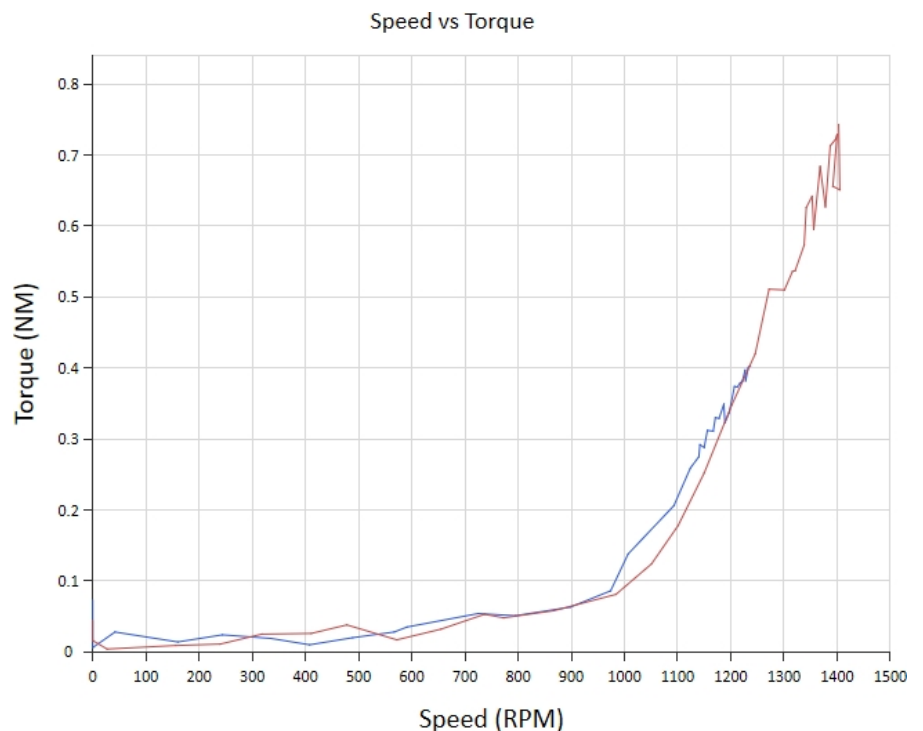
- 1) Maintenir la configuration du système à celle de l'expérience précédente
- 2) Régler la charge à 50 %.
- 3) Régler l'entraînement du sous-module à 10%
- 4) Réglez les paramètres de balayage comme suit :

Sweep Parameters		
Sweep Parameter	V1	
Min Value %	0	
Max Value %	100	
Value Step %	3	
Step Delay (s)	3	

- 4) Effectuer un balayage de tension du moteur
- 5) Une fois cette opération terminée, modifiez l'entraînement du sous-module pour qu'il passe à 14 % et balayez le résultat.

Le graphique devrait ressembler à ceci :

Pouvez-vous expliquer pourquoi le couple augmente lentement ?  
Pourquoi le couple atteint-il un maximum plus bas pour l'entraînement du sous-module le plus petit ?  
À quoi se rapporte le point final des graphiques ?





- 1) Configurez l'expérience comme sur le schéma de page précédente, avec le banc d'essai, le module de jeu et le moteur pas-à-pas.
- 2) Câbler le système comme le montre le schéma
- 3) Régler la charge à 25 % et 75 %.
- 4) Tracer sur le même graphique que précédemment pour comparer
- 5) Essayer différents pourcentages d'entraînement du sous-module afin d'étudier différents niveaux d'engagement de l'embrayage.

### Et alors ?

Le système créé a une inertie plus élevée que lorsque les moteurs sont couplés directement au banc. Cela signifie que le moteur doit appliquer un couple pour faire tourner le système, ce qui est physiquement et informatiquement visible lorsqu'une masse importante est appliquée aux arbres.

La fonction d'accélération des graphiques générés dans cette expérience montre l'effort que le moteur fournit pour le système en mouvement. L'embrayage ajoute un autre élément au système dynamique. Les deux disques varient les niveaux d'engagement, à un faible niveau de tension, les disques peuvent glisser l'un sur l'autre, ce qui crée beaucoup de chaleur. Il s'agit d'une inefficacité du système et d'un gaspillage d'énergie.

Des niveaux d'engagement plus élevés signifient que le système applique directement le couple au volant et au côté du banc.

L'énergie cinétique est une fonction au carré, c'est pourquoi les graphiques générés ont également une fonction de rampe. Le moteur surmonte les pertes par frottement dues au glissement, puis applique un couple pour faire monter le volant en vitesse. La charge du banc d'essai s'oppose à ce couple, ce qui limite le couple et le régime mesurés.

Le système reproduit des situations réelles, comme les systèmes d'entraînement des voitures. Le caoutchouc du pneu peut glisser sur la route dans des conditions humides. La vitesse de la roue est élevée, le frottement est faible, mais au fur et à mesure que le temps passe, l'énergie transférée dans le pneu, qui est cinétique et non perdue par la chaleur, commence à déplacer la voiture. Une fois que l'inertie est plus élevée, le frottement est réduit, ce qui signifie qu'une force plus importante peut être appliquée à la voiture pour la faire avancer.

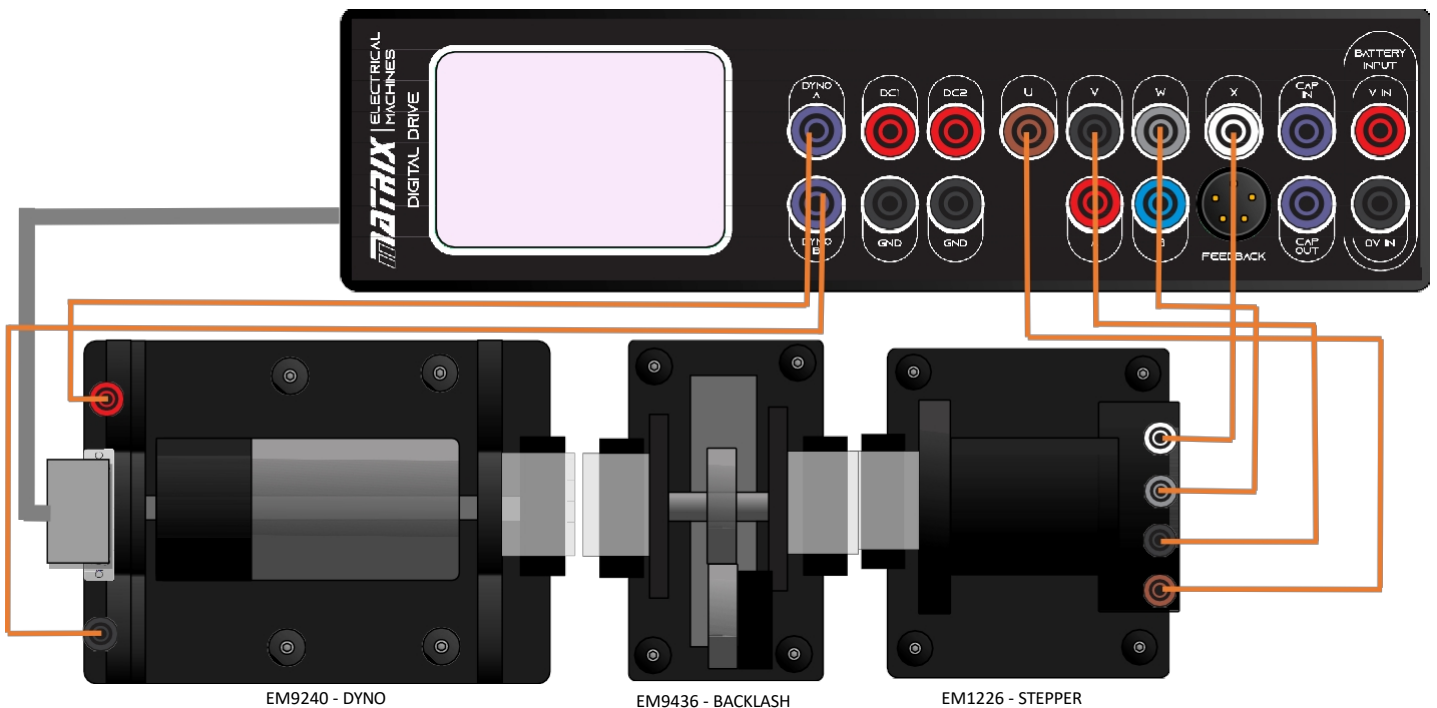
Imaginez une voiture qui met les gaz à fond, les pneus fument et tournent beaucoup, mais la voiture ne bouge pas. Au bout d'un certain temps, la voiture commence à accélérer et à avancer, les niveaux d'adhérence rattrapent la vitesse de rotation et la voiture décolle.

# Feuille de travail 11

## Retour de flamme



De nombreux systèmes d'entraînement de machines électriques ne sont pas spécifiés de manière appropriée pour une application sans modification du système dynamique. L'un des moyens pour les ingénieurs Pour rendre un moteur plus approprié, il suffit souvent d'en démultiplier la puissance. Les rapports de démultiplication permettent de faire un compromis entre la vitesse et le couple. Si un moteur s'adapte à une conception sur le plan dimensionnel, mais qu'il ne fonctionne qu'à un régime élevé, un rapport de démultiplication peut permettre d'augmenter le couple et de réduire le régime.



Les rivets usinés électriquement ont de nombreuses applications, l'une des applications clés des moteurs étant la rotation d'un composant. Ces composants peuvent être des arbres d'entraînement, des engrenages à vis sans fin ou des hélices. À moins qu'un système ne soit directement entraîné d'un moteur à une sortie, les composants du système doivent interagir les uns avec les autres.

Lorsque deux composants sont en contact l'un avec l'autre, il y a une interaction mécanique, qui est souvent une friction. Cela peut empêcher les choses de bouger et provoquer le blocage mécanismes. C'est pourquoi de minuscules espaces sont laissés entre les composants en mouvement. Cet espace a plusieurs noms : jeu, slop ou backlash.

Plus il y a de jeu dans un système, plus il y a de perte de mouvement due aux écarts entre les pièces. Ceci est très important pour les systèmes cinématiques tels que la robotique, où un contrôle précis des mouvements et un positionnement angulaire sont nécessaires.

Dans le système électrique, le concept de jeu est exploré avec le moteur pas à pas, mais il est largement répandu dans les servomoteurs. Cela est dû au contrôle de la rotation de ces moteurs et au positionnement par intervalles. Cependant, les moteurs à courant continu, les moteurs sans balais et les moteurs phasés sont conçus pour des vitesses de rotation élevées et constantes.

C'est pourquoi l'effet du jeu n'est pas aussi important dans les applications typiques.

# Feuille de travail 11

## Retour de flamme

- 1) Maintenir la configuration du système à celle de l'expérience précédente
- 2) Sur votre PC, lancez le programme "electrical machine.exe".
- 3) Ouvrez programme. Appuyez sur le bouton de lecture du logiciel.
- 4) Le système doit reconnaître le module de jeu est attaché et n'autoriser que la modification de la charge, de la tension du moteur et de la fréquence.
- 5) Sur le module de jeu, tournez le bouton manuel de manière à ce que les engrenages soient engrenés à peu près à mi-chemin de leur plage d'engagement.

En cas d'engagement complet, engrenages doivent se toucher complètement et être difficiles à faire tourner, et en cas d'absence d'engagement, les engrenages doivent se toucher complètement et être difficiles à faire tourner. doivent être éloignés les uns des autres et ne pas se toucher lors de l'essorage.

- 6) Régler la fréquence à 50hz et la tension à 4v.  
Le graphique doit afficher les deux sorties codées des deux arbres et la différence.

### **Et alors ?**

Pourquoi y a-t-il une différence entre l'arbre d'entraînement (couplé au pas à pas) et l'arbre entraîné ? Que représente cette différence dans le système ?

Pourquoi cela pose-t-il un problème en robotique ?

Si vous observez l'arbre entraîné qui oscille lentement d' en arrière, vous devriez voir que les deux Les engrenages s'engrènent et tournent ensemble (en inverse). Lorsque l'arbre d'entraînement change de direction, l'arbre libre reste immobile pendant un moment, jusqu'à ce que la prochaine dent disponible de l'engrenage entre en contact avec l'autre engrenage.

Ce décalage est le contrecoup du système et devrait être visible sur le graphique. Il se traduit par un retard dans la courbe en dents de scie.

De nombreux systèmes dans le monde réel ont des chaînes d'engrenages, pour régler le rapport ou les liens avec le système suivant. Par exemple, le premier degré de liberté dun bras de robot, puis le deuxième degré de liberté du bras. Le jeu est multiplié et cumulatif.

Alors, comment réduire les réactions négatives ?

Essayez de tourner le bouton manuel sur le guide linéaire, 1 rotation correspond à une course de 0,8 mm entre les centres d'engrenage. Donc 0,2 mm correspond à un quart de tour. Essayez d'augmenter et de réduire la distance entre les engrenages jusqu'à la limite maximale. Que se passe-t-il si les engrenages sont complètement enclenchés ? Que se passe-t-il si les engrenages sont constitués de matériaux différents ? Que se passe-t-il si les engrenages sont thermoconducteurs ?

Tous ces facteurs peuvent affecter les niveaux de jeu, ce qui est important pour maintenir la précision, le bruit et les niveaux d'usure.

# Contrôle des versions

01 05 2020 première diffusion

01 07 2020 ajout d'une feuille de travail sur les transformateurs. Mise à jour de la référence API pour l'unité de contrôle V1.1. 09 12 22 correction de petites erreurs de calcul

08 02 23 informations sur le transformateur nombre de tours ajoutés 28

07 23 Reformaté dans le nouveau style