

ESSAIS DE MACHINES

*Presser la touche F5 pour faire apparaître les signets
qui favorisent la navigation dans le document.*

Sommaire

Alternateur

Transformateurs triphasés

Moteur asynchrone avec rhéostat rotorique

Moteur synchrone

Fonctionnement en parallèle de deux transformateurs triphasés

Moteur asynchrone monophasé

Machine asynchrone à cage

Transformateur: Régime déséquilibré – Régime non sinusoïdal

Machine synchrone: Autoamorçage – Echanges de puissances avec le réseau

Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone

Moteur à courant continu alimenté par un pont mixte monophasé

Moteur universel

Commande d'un moteur à courant constant

ALTERNATEUR

L'étude porte sur une machine LEROY SOMMER 300W, dont on couplera le stator en étoile. Les notations sont celles employées dans le cours sur la machine synchrone, auquel on se reportera.

N.B.: Exception faite, bien sûr, de la mesure de R et, à la rigueur, de l'essai en court-circuit, tous les autres relevés devront se faire à fréquence de rotation du groupe constante et égale à 1500tr/min.

1) Essais préliminaires

1.1) Mesurer la résistance entre bornes d'induit de l'alternateur et en déduire la valeur de R.

1.2) Essai à vide

En partant des mesures de la tension entre bornes, tracer la caractéristique $E_0 = f(J)$ pour J variant entre 0 et 0,4A (utiliser une source de tension variable ou un montage potentiométrique pour alimenter l'inducteur de l'alternateur).

1.3) Essai en court-circuit

Relever et tracer la caractéristique $I_C = f(J)$ en se limitant à $I_{C_{MAX}} = 0,3A$.

1.4) Essai en charge purement inductive pour $J=0,4A$ et $I=0,3A$

Mesurer la valeur correspondante de la tension entre bornes.

2) Essais en charge

2.1) Caractéristiques $U = f(I)$ à J et $\cos\varphi$ constants

On s'impose $J = 0,3A$ pour chacun des trois cas envisagés.

- Câbler et régler la charge pour avoir $I = 0,3A$ et une valeur de $\cos\varphi$ inductif comprise entre 0,8 et 0,9. En maintenant ensuite $\cos\varphi$ à cette valeur (hors fonctionnement à vide, bien sûr), relever la caractéristique $U = f(I)$ par valeurs décroissantes jusqu'à zéro du courant.
- Refaire la même étude pour $\cos\varphi$ capacitif compris entre 0,8 et 0,9.
- Relever, pour terminer, la caractéristique $U = f(I)$ dans le cas d'un débit sur charge purement résistive, toujours pour $0 \leq I \leq 0,3A$.

Tracer ensuite les trois courbes sur un même graphique. Commenter succinctement les résultats obtenus.

2.2) Caractéristique de réglage $J = f(I)$ à U et $\cos\varphi$ constants

On s'impose $U = 400V$ et, pour simplifier, un fonctionnement sur circuit résistif pur. Dans ces conditions, relever et tracer la caractéristique $J = f(I)$ pour $0 \leq I \leq 0,3A$.

2.3) En utilisant une sonde différentielle de tension, relever l'oscillogramme de la tension entre bornes pour chacun des fonctionnements suivants

- à vide: $U \cong 400V$
- sur charge capacitive: $U \cong 400V$ $I \cong 0,2A$ $\cos\varphi$ compris entre 0,8 et 0,9
- sur charge inductive: $U \cong 400V$ $I \cong 0,2A$ $\cos\varphi$ compris entre 0,8 et 0,9.

3) Exploitation des résultats

3.1) Déterminer la valeur de l'inductance synchrone $L\omega$ du modèle de Behn-Eschenburg pour $J=0,1A$.

3.2) Déterminer les valeurs des coefficients α et $\lambda\omega$ du modèle de Potier.

3.3) En utilisant le modèle de Potier, et en se plaçant dans les conditions de fonctionnement du paragraphe 2.2), déterminer la valeur théorique de J correspondant à $I=0,3A$. Comparer à la valeur expérimentale et conclure.

3.4) Vérifier les valeurs des coefficients α et $\lambda\omega$ du modèle de Potier à l'aide du logiciel "machine synchrone" prévu à cet effet.

TRANSFORMATEURS TRIPHASES

Dans les deux cas, les notations sont celles employées dans le cours, auquel on se reportera. Sauf indication contraire, le primaire sera alimenté directement par le réseau 3x400V. On utilisera un voltmètre numérique pour toutes les mesures de tension.

1) Etude d'un transformateur Yy

Les essais se feront sur le transformateur 3x400V/3x230V. On se limite ici au cas du fonctionnement à vide.

1.1) Mesurer à l'aide d'une pince ampèremétrique les courants absorbés au primaire, en précisant à quel type de noyau (latéral ou central) ils correspondent. Justifier sommairement le résultat.

1.2) Mesurer le rapport de transformation et en déduire le rapport des nombres de spires N_2/N_1 .

1.3) Alimenter le primaire par un alternostat triphasé puis relever et tracer les caractéristiques $P_0 = f(U_1)$ et $I_{10} = f(U_1)$, où I_{10} désigne le courant absorbé par un noyau latéral.

2) Etude d'un transformateur Dy

On utilisera un des transformateurs de puissance apparente 4kVA et on câblera son secondaire de façon à obtenir le couplage adéquat.

2.1) Evolution du courant lors de la mise sous tension du transformateur

Pour étudier le régime transitoire correspondant, on câble un oscilloscope à mémoire de la façon suivante:

- Sur l'entrée Y1, on applique l'image de la tension v_{RN} entre la phase R et le neutre du réseau, prélevée à l'aide d'une sonde différentielle de tension.
- Sur l'entrée Y2, on applique l'image du courant i_R circulant dans la phase R, prélevée à l'aide d'une pince ampèremétrique de calibre 1000A.

L'oscilloscope étant synchronisé sur la voie A et déclenché en mode monocoup (single), effectuer plusieurs mises sous tension du transformateur et observer l'évolution du courant i_R . Décrire sommairement les phénomènes observés et donner un ordre de grandeur de la valeur maximale que peut prendre i_R .

2.2) Essai à vide

Mesurer P_{10} , U_{10} et U_{20} . En déduire le rapport de transformation m et le rapport des nombres de spires N_2/N_1 .

2.3) Essai en court-circuit sous tension réduite

Afin que le court-circuit soit le plus franc possible, utiliser une pince ampèremétrique pour mesurer le courant au secondaire. Alimenter le primaire par un alternostat dont on vérifiera que le curseur est au zéro avant de mettre sous tension, puis relever U_{1C} , I_{2C} et les indications du double wattmètre correspondant au point de fonctionnement le plus proche possible du courant nominal I_{2n} au secondaire (que l'on déduira des indications de la plaque signalétique).

2.4) Essais en charge

a) Réaliser le point de fonctionnement suivant: $I_2 = I_{2n}$; $\cos\varphi_2$ inductif compris entre 0,7 et 0,8. En maintenant ensuite $\cos\varphi_2$ à cette valeur (hors fonctionnement à vide, bien sûr), relever et tracer la caractéristique $U_2 = f(I_2)$ par valeurs décroissantes jusqu'à zéro du courant.

b) En commençant par la charge inductive, puis en la remplaçant par une charge capacitive, relever et tracer la caractéristique $\Delta U_2 = f(\cos\varphi_2)$ pour $I_2 = I_{2n}$ (N.B.: Placer un interrupteur en série avec la charge pour pouvoir effectuer facilement la différence entre la tension à vide et celle en charge).

2.5) Exploitation des résultats

a) Déterminer les éléments R_s et X_s du schéma monophasé équivalent ramené au secondaire. N.B.: Les mesures de puissances étant faites à l'aide du double wattmètre, on calculera directement $\tan\varphi_C$ par $\sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$, P_1 et P_2 désignant les deux indications du wattmètre.

b) Justifier le fait que la caractéristique $U_2 = f(I_2)$ à $\cos\varphi_2$ constant est une droite. En donnant alors à $\cos\varphi_2$ la valeur utilisée au 2.3.a), calculer sa pente et comparer le résultat à la valeur expérimentale déduite de la courbe correspondante.

c) Toujours dans les conditions du 2.3.a), calculer le rendement pour le point de fonctionnement correspondant à $I_2 = I_{2n}$.

d) Donner l'expression numérique de ΔU_2 en fonction de $\cos\varphi_2$ pour $I_2 = I_{2n}$ et faire l'application pour quelques uns des points de mesures effectués au 2.3.b).

MOTEUR ASYNCHRONE AVEC RHEOSTAT ROTORIQUE

L'étude porte sur une machine de puissance utile 4,5kW. Dans ce qui suit, on désigne par:

- U la tension entre bornes du stator, U_C la valeur correspondante pour l'essai rotor bloqué
- I le courant en ligne, I_0 la valeur correspondante pour l'essai à vide et I_C celle pour l'essai rotor bloqué
- P la puissance active consommée, P_0 la valeur correspondante pour l'essai à vide et P_C celle pour l'essai rotor bloqué
- R_a la résistance entre bornes du stator
- R_2 la résistance par enroulement du rotor
- R la résistance par phase du rhéostat rotorique
- m le rapport de transformation à l'arrêt
- n la fréquence de rotation en tr/min et n_0 sa valeur à vide
- C_u le couple utile et C_{un} sa valeur nominale, que l'on calculera à partir des indications de la plaque signalétique.

Précautions à prendre: Avant chaque mise sous tension, vérifier que le rhéostat rotorique est en position démarrage.

1) Essais préliminaires

1.1) Détermination des résistances

- a) Mesurer la valeur de R_a .
- b) Mesurer la résistance entre bornes du rotor. En déduire la valeur de R_2 .
- c) Pour les différents réglages du rhéostat rotorique, mesurer la résistance entre bornes et en déduire les valeurs correspondantes de R.

1.2) Essai à vide

Câbler le rhéostat rotorique aux bornes du rotor et alimenter le stator par le réseau triphasé. Mesurer m pour le rotor en circuit ouvert. Ramener ensuite progressivement la valeur du rhéostat rotorique à zéro et mesurer les valeurs de U, P_0 , I_0 et n_0 correspondant au rotor en court-circuit. N.B.: Dans ce qui suit, on prendra pour U_n la valeur trouvée pour U.

1.3) Essai rotor bloqué sous tension réduite

Dans cette partie (ainsi que dans la suivante), le stator est alimenté par un alternostat triphasé dont on vérifiera que le curseur est au zéro avant de mettre sous tension. Le rotor est court-circuité et maintenu à l'arrêt. Ajuster la tension d'alimentation pour que le courant absorbé I_C soit égal au courant nominal I_n de la machine puis mesurer U_C et P_C .

1.4) Séparation des pertes mécaniques et magnétiques

A vide, en partant de la tension nominale et en arrêtant les mesures lorsque la chute de vitesse devient notable, relever P_0 et I_0 en fonction de U . Procéder ensuite comme indiqué pages MA15 et MA16 du cours pour déterminer la valeur de $p_{\text{méca}}$ et celle de p_{fer} pour $U = U_n$.

2) Essais en charge

Pour les réglages suivants du rhéostat rotorique, plot 7 (rotor en court-circuit), plot 5 et plot 3:

- En partant du fonctionnement à vide, relever I et n en fonction de C_u en veillant à ne pas dépasser C_{un} . Tracer ensuite, en les regroupant, les courbes $C_u = f(n)$ et $I = f(C_u)$. Vérifier la relation $R_{2t}/g = C^{\text{ste}}$ pour une valeur donnée de C_u (par ex. $C_u = C_{un}$).
- Visualiser le courant rotorique à l'aide d'un oscilloscope à mémoire et d'une pince ampèremétrique. Pour $C_u = C_{un}/2$ et $C_u = C_{un}$, mesurer sur l'oscillogramme obtenu la valeur efficace et la fréquence f_r de ce courant. Présenter les résultats sous forme de tableau faisant apparaître en regard les valeurs théoriques de f_r que l'on calculera à partir des valeurs correspondantes de n (mesurées ou déduites de l'essai précédent).

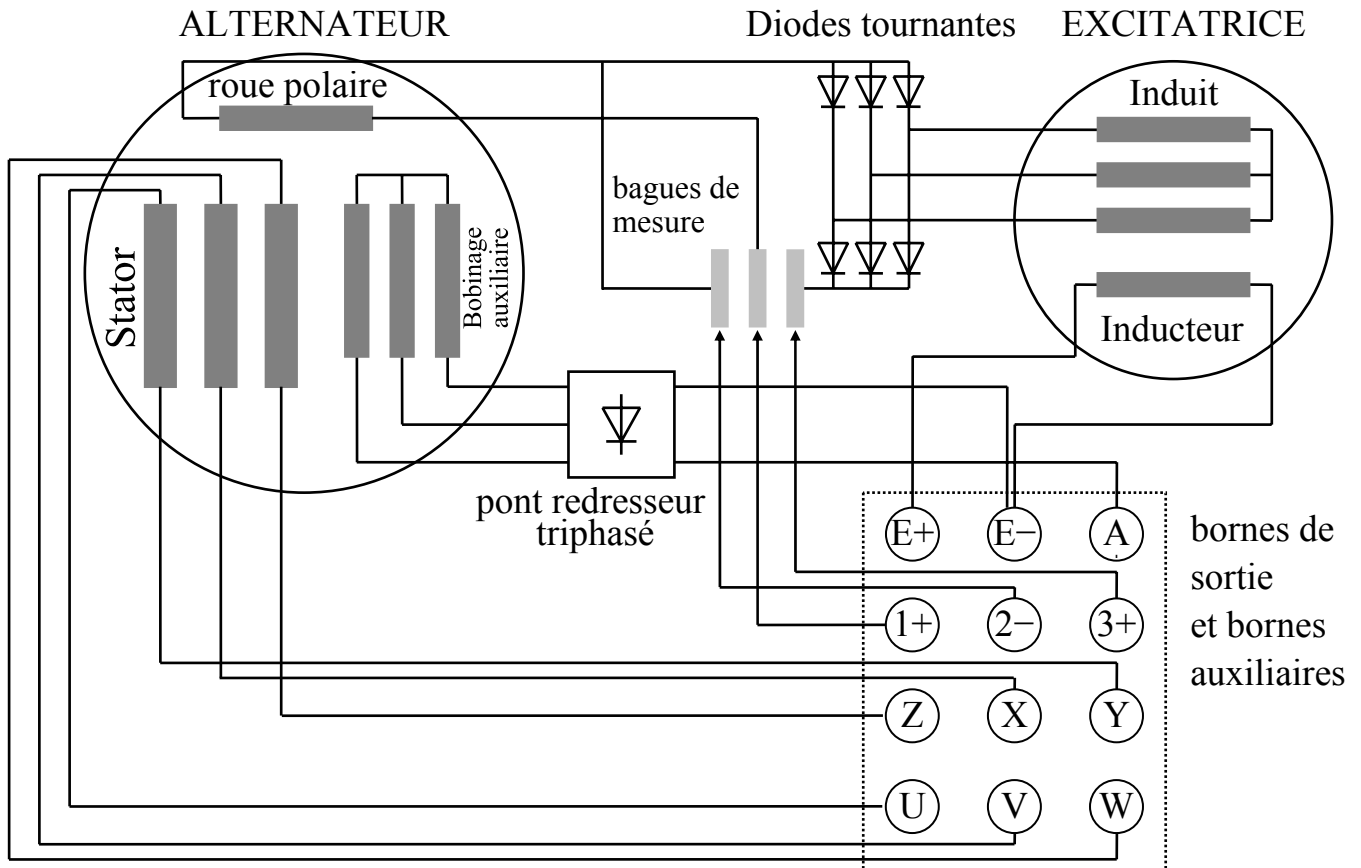
3) Exploitation des essais préliminaires

3.1) Utiliser le programme disponible pour tracer et éditer le diagramme du cercle de la machine (Cf. également cours page MA10 et suivantes). Déterminer graphiquement sur celui-ci le point de fonctionnement correspondant à $I = I_n$ et en déduire le glissement g ainsi que le facteur de puissance $\cos\varphi$ pour ce point.

3.2) Pour les valeurs du rhéostat rotorique correspondant aux plots 7, 5 et 3, faire afficher ensuite les grandeurs caractéristiques pour $C_e = C_{un}/2$ et $C_e = C_{un}$. Comparer en particulier les valeurs de I et de n à celles mesurées au 2) et conclure.

MOTEUR SYNCHRONE

Les essais se feront sur un groupe machine synchrone + machine à courant continu LEROY SOMMER 3kW. Comme indiqué sur le schéma ci-dessous, le système complet permet l'alimentation de la roue polaire par une excitatrice auxiliaire, l'ensemble pouvant même fonctionner en autoexcitation, il suffit pour cela d'effectuer les connexions adéquates sur la plaque à bornes. Dans tout ce qui suit, le stator sera couplé en étoile. On se reportera au cours sur la machine synchrone pour les différentes notations.



1) Essais préliminaires – Exploitation des résultats

1.1) A l'arrêt, mesurer

- la résistance entre bornes d'induit de la machine synchrone et en déduire la valeur de R
- la résistance R_i de la roue polaire.

1.2) Dans toute cette partie, la machine synchrone fonctionne en génératrice et est entraînée à la vitesse nominale par la machine à courant continu fonctionnant en moteur. L'alimentation de la roue polaire se fait directement à l'aide d'une source continue pouvant débiter 20A, placée entre les bornes 1+ et 2-.

a) Essai à vide

En partant des mesures de la tension entre bornes, tracer la caractéristique $E_0 = f(J)$ pour J variant entre 0 et 12A.

b) Essai en court-circuit

Relever et tracer la caractéristique $I_C = f(J)$ en se limitant au courant d'induit nominal I_n (Cf. plaque signalétique).

c) Essai en charge purement inductive pour $I = I_n$

Toujours en partant des mesures de U , tracer la caractéristique $V = f(J)$ en la superposant à celle à vide (le point de fonctionnement ne pouvant être atteint que pour des valeurs relativement importantes de courant inducteur, il est préférable de procéder par valeurs décroissantes à partir du maximum possible de J).

1.3) En considérant par exemple le point en déwatté correspondant à $J = 20A$, déterminer les valeurs des coefficients α et $\lambda\omega$ du modèle de Potier.

1.4) Vérifier les valeurs des coefficients α et $\lambda\omega$ du modèle de Potier à l'aide du logiciel "machine synchrone" prévu à cet effet.

2) Fonctionnement en moteur

La charge est constituée par la machine à courant continu fonctionnant en génératrice. Le démarrage se fait en moteur asynchrone, en procédant comme suit:

- Placer en série avec l'induit de la machine synchrone un rhéostat de démarrage triphasé.
- Placer entre 1+ et 3+ un ampèremètre calibre 20A en série avec un interrupteur en position ouverte.
- Placer entre E+ et A+ un rhéostat de 180Ω , réglé à environ 50Ω .
- Mettre sous tension, actionner le rhéostat de démarrage et attendre la stabilisation de la vitesse de rotation. Fermer alors l'interrupteur pour obtenir la synchronisation.

N.B.1: Vu les branchements, le fonctionnement est de type auto-excité. Le réglage de J se fait par action sur le rhéostat de 180Ω placé entre E+ et A+.

N.B.2: La mesure directe n'étant pas possible ici, on calculera la puissance utile par la relation $P_u = (U_a + R_a \cdot I_a) \cdot I_a$, avec $R_a = 1,3\Omega$, U_a , tension aux bornes de la génératrice à courant continu et I_a , intensité du courant débité par celle-ci. Si nécessaire, on en déduira le couple utile $C_u = P_u / \Omega$.

2.1) Relever et tracer, en les superposant, deux courbes de Mordey $I = f(J)$, l'une à vide, l'autre à faible charge ($P_u \cong 1000W$).

2.2) Pour I variant entre 0 et I_n , et en réglant à chaque fois J pour avoir le minimum de courant d'induit (soit $\cos\varphi \cong 1$), relever et tracer la courbe $I = f(C_u)$. Noter en particulier la valeur de J correspondant à I_n , mesurer d'autre part la tension entre phases du réseau d'alimentation, puis, pour ce point de fonctionnement, déterminer par la méthode de Potier la valeur théorique du courant d'inducteur. Comparer au résultat expérimental et conclure.

FONCTIONNEMENT EN PARALLELE DE DEUX TRANSFORMATEURS TRIPHASES

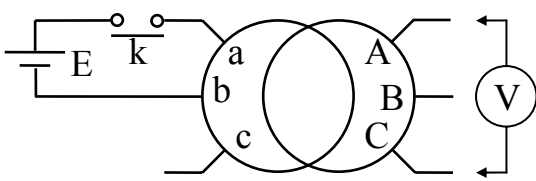
Les transformateurs à étudier ont une puissance apparente nominale $S_n = 3\text{kVA}$. Sauf indication contraire, leurs primaires seront couplés en triangle et les bornes A, B et C alimentées de telle sorte que les tensions U_{AB} , U_{BC} et U_{CA} forment un réseau équilibré direct. Les notations employées sont celles du cours, auquel on se reportera. Sauf au 2.1), on utilisera un voltmètre numérique pour toutes les mesures de tension.

1) Préliminaires

Rappeler les conditions de couplage en parallèle de deux transformateurs.

2) Détermination de l'indice horaire

2.1) Méthode impulsionnelle (pour T seulement)



Réaliser le montage schématisé ci-contre à l'aide d'une alimentation stabilisée de faible puissance et d'un voltmètre à courant continu placé sur le calibre 3V, que l'on reliera successivement aux bornes AB, AC et BC.

Pour les deux possibilités de couplage en étoile du primaire, relever le signe des impulsions obtenues lors de la fermeture de l'interrupteur (la déviation doit être franche, sinon on considère que la différence de potentiel est nulle) et en déduire les indices horaires en se référant au tableau ci-dessous. Refaire ensuite la même étude pour le couplage en triangle du primaire (rappel: à conserver dans tout ce qui suit).

U_{AB}	+	+	+	0	-	-	-	-	-	0	+	+
U_{AC}	+	+	+	+	+	0	-	-	-	-	-	0
U_{BC}	-	0	+	+	+	+	+	0	-	-	-	-
Indice horaire	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

2.2) Méthode des électriciens (pour T' seulement)

Relier n au neutre du réseau, alimenter le primaire puis mesurer les tensions V_A , U_{aA} , U_{aB} et U_{aC} . Effectuer ensuite la construction décrite page TT5 du cours et en déduire l'indice horaire. Une des conditions pour la mise en parallèle de T et de T' est-elle vérifiée?

2.3) Mesure directe du déphasage à l'oscilloscope (pour T et T', à titre de vérification)

A l'aide d'une sonde différentielle, afficher u_{AB} à l'oscilloscope, synchronisé en mode LINE. Régler le déclenchement pour faire coïncider l'origine avec le passage par zéro de cette tension. Avec la même sonde, afficher ensuite u_{ab} , mesurer le retard au passage par zéro de cette tension et en déduire l'indice horaire.

3) Mesure des pertes fer et des pertes cuivre

Les essais se feront pour chacun des deux transformateurs T et T', en utilisant la méthode du double wattmètre pour mesurer les puissances absorbées.

3.1) A vide, sous tension nominale, mesurer U_{10} , U_{20} et P_{10} . En déduire le rapport de transformation m. Conclusion sur la possibilité de mise en parallèle de T et de T'?

3.2) En court-circuit, sous tension réduite obtenue en alimentant le primaire par un alternostat dont on vérifiera que le curseur est au zéro avant de mettre sous tension, relever U_{1C} , I_{2C} et les indications du double wattmètre correspondant au point de fonctionnement le plus proche possible du courant nominal au secondaire (que l'on prendra ici égal à $S_n/\sqrt{3} U_{20}$). En déduire P_{1C} .

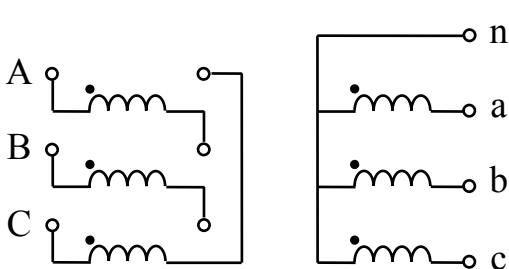
N.B.: Afin que le court-circuit soit le plus franc possible, utiliser une pince ampèremétrique pour mesurer le courant au secondaire.

4) Etude de la mise en parallèle

4.1) Relier les primaires entre eux, ainsi que les bornes a du secondaire. Alimenter l'ensemble et vérifier successivement que les bornes b et les bornes c sont bien au même potentiel. Couper ensuite l'alimentation et terminer le couplage de façon à pouvoir mesurer les courants au secondaire d'une même phase de chaque transformateur.

4.2) Sur charge résistive, relever et tracer les caractéristiques $I_2 = f(I_{2t})$ et $I'_2 = f(I_{2t})$ en arrêtant les mesures lorsque l'un des deux courants atteint sa valeur nominale. Pour ce point de fonctionnement, que nous qualifierons de "nominal", mesurer la tension entre phases U_2 .

5) Exploitation des essais



5.1) Les enroulements de chaque transformateur sont reliés aux bornes accessibles comme indiqué sur le schéma ci-contre. Compte tenu de ceci, et pour chacun des trois couplages réalisés au 2.1), déterminer la valeur théorique de l'indice horaire et vérifier la conformité avec les résultats obtenus.

5.2) Déterminer les éléments R_s et X_s (respectivement R'_s et X'_s) des schémas monophasés équivalents ramenés au secondaire.

N.B.: Les mesures de puissances étant faites à l'aide du double wattmètre, on calculera directement $\tan\varphi_C$ par $\sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$, P_1 et P_2 désignant les deux indications du wattmètre.

5.3) Pour le point nominal du 4.2):

- Calculer les valeurs théoriques de U_2 et du rapport I'_2/I_2 . Comparer celles-ci aux résultats expérimentaux.
- Déterminer les puissances actives P et P' fournies par chaque transformateur et la puissance active totale.

- Calculer le rendement de chacun des deux transformateurs ainsi que le rendement global.

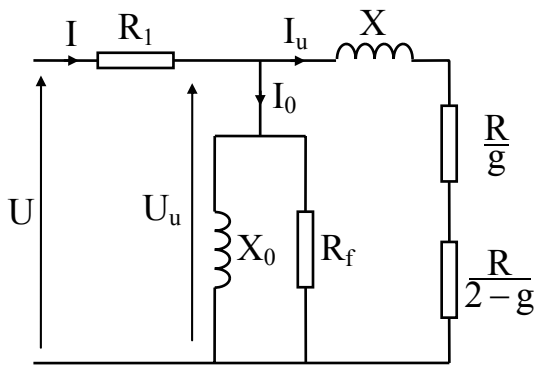
MOTEUR ASYNCHRONE MONOPHASE

Son principe de fonctionnement est décrit pages MA10 et MA11 du cours. La machine étudiée ici est du type à deux condensateurs, notés C_a pour celui de démarrage et C_b pour celui de service. Le système permet le fonctionnement avec ou sans utilisation du bobinage auxiliaire. N.B.: Sur la plaque à bornes, les liaisons en trait plein sont réalisées de façon interne. Celles en pointillés correspondent aux câblages à réaliser en fonction du mode de marche souhaité.

1) Essais préliminaires – Exploitation des résultats

1.1) Mesurer la résistance R_1 de l'enroulement principal (entre U1 et U2) et celle, R'_1 , de l'enroulement auxiliaire (entre Z1 et Z2).

1.2) Essais avec C_a au démarrage, sans C_b



Ceux-ci ont en particulier pour but de déterminer les valeurs des éléments X_0 , R_f , X et R du schéma équivalent que l'on admet pour la machine (Cf. figure ci-contre). L'alimentation se fait entre les bornes F2 et U2, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un alternostat monophasé. On note U_n la valeur nominale de la tension d'alimentation U , I_n la valeur nominale du courant absorbé I , P la puissance absorbée, n la fréquence de rotation et φ

le déphasage entre le courant et la tension. Comme habituellement, les valeurs correspondant aux essais à vide et au rotor à l'arrêt sont affectées des indices 0 et C.

a) A vide, pour $U = U_n$, mesurer P_0 , I_0 et n_0 . Le courant I_u étant négligeable dans cet essai, on détermine R_f et X_0 en prenant \underline{U} comme origine des phases et en procédant comme suit:

- Calcul de φ_0 , dont on déduit $\underline{I}_0 = [I_0, -\varphi_0]$.
- Calcul de $\underline{U}_{u0} = U - R_1 \cdot \underline{I}_0$ et de $\underline{Y}_0 = \underline{I}_0 / \underline{U}_{u0}$.

- Calcul de R_f et de X_0 compte tenu du fait que $\underline{Y}_0 = \frac{1}{R_f} + \frac{1}{jX_0}$.

b) A l'arrêt, sous tension réduite et sans enroulement auxiliaire, mesurer U_C et P_C pour $I_C = 1A$. Déterminer alors R et X en prenant \underline{U}_C comme origine des phases et en procédant comme suit:

- Calcul de φ_C , dont on déduit $\underline{I}_C = [I_C, -\varphi_C]$.
- Calcul de $\underline{U}_{uC} = U_C - R_1 \cdot \underline{I}_C$ et de $\underline{I}_{uC} = \underline{I}_C - \underline{Y}_0 \cdot \underline{U}_{uC}$.
- Calcul de R et X sachant que, comme $g = 1$ à l'arrêt, on a $\underline{U}_{uC} = (2R + jX) \underline{I}_{uC}$.

c) A vide, en partant de $U = U_n$ et en arrêtant les mesures lorsque la chute de vitesse devient notable, relever P_0 et I_0 en fonction de la tension d'alimentation. Déterminer ensuite la valeur des pertes mécaniques ainsi que celle des pertes fer pour la tension nominale en procédant comme indiqué pages MA15 et MA16 du cours (à cela près que les pertes Joule au stator se calculent ici par $R_1 \cdot I_0^2$).

1.3) Essais à vide avec C_a au démarrage et C_b

- Pour $U = U_n$, mesurer P_0 et I_0 . Comparer aux valeurs obtenues sans C_b et conclure.
- Faire tourner le moteur après avoir inversé le sens de branchement de l'enroulement auxiliaire. Conclusion.

1.4) Alimenter le moteur sans utiliser l'enroulement auxiliaire et constater qu'il ne démarre que si on le lance "à la main", les deux sens de rotation étant possibles (sous alimenter légèrement au besoin). Commenter le résultat en termes de champs tournants.

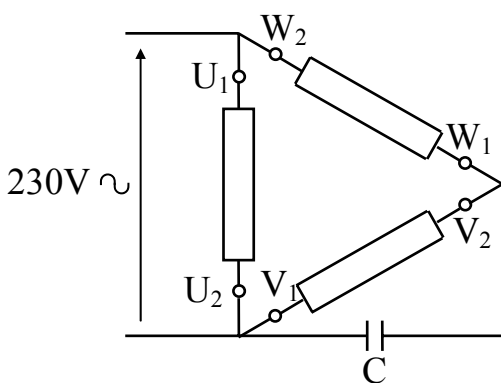
2) Essais en charge

Celle-ci est constituée par la dynamo balance débitant sur un rhéostat d'environ 1000Ω . Pour alimenter son inducteur, on réalisera un montage potentiométrique à l'aide d'un rhéostat (également de l'ordre de 1000Ω). On ne dépassera pas $250V$ et $1A$ pour les grandeurs d'induit.

2.1) Avec C_a et C_b , et en tenant compte des limitations imposées pour la dynamo balance, augmenter progressivement le couple résistant tout en relevant les valeurs correspondantes de I , n , P et du couple utile C_u . Calculer pour chaque point de fonctionnement les valeurs de $\cos\varphi$, de la puissance utile P_u et du rendement η , puis tracer les caractéristiques $C_u = f(n)$, $I = f(C_u)$, $\eta = f(C_u)$ et $\cos\varphi = f(C_u)$. N.B.: Tracer cette dernière courbe à part, de façon à pouvoir lui superposer celle obtenue dans l'essai suivant.

2.2) Avec C_a , mais sans C_b , refaire la même étude en se limitant au tracé des caractéristiques $C_u = f(n)$ et $\cos\varphi = f(C_u)$, que l'on superposera aux courbes correspondantes obtenues au 2.1). Conclusion.

3) Marche en monophasé d'un moteur triphasé 230/400V



Le fonctionnement est possible en câblant le moteur comme indiqué ci-contre, où la valeur de C en μF est donnée par la formule empirique $C = 50 \cdot P$ avec P , puissance utile en ch de la machine (rappel: $1\text{ch} = 736W$). Sachant qu'on fait ici l'essai avec un moteur de $300W$, calculer C puis réaliser le montage. Alimenter ensuite l'ensemble et mesurer à l'aide d'une pince ampèremétrique le courant fourni par le réseau, les courants dans chaque enroulement et le courant dans le condensateur.

MACHINE ASYNCHRONE A CAGE

En raison du matériel disponible, l'étude portera sur deux machines différentes. Pour le fonctionnement en moteur, on utilisera une machine de 4,4kW chargée par un frein à courants de Foucault. Pour le fonctionnement en génératrice, on prendra une machine de 300W entraînée par un moteur asynchrone de 740W alimenté à fréquence variable.

1) Marche en moteur

1.1) Etude en régime permanent – Exploitation des résultats

a) Essai à vide à tension statorique U variable

Le stator est alimenté par un alternostat dont on vérifiera que le curseur est au zéro avant de mettre sous tension. Pour U variant de 100V à U_n (tension entre phases du réseau), relever le courant I_0 absorbé par une phase ainsi que la puissance consommée P_0 . Application:

- Sachant que la résistance R_a entre bornes du stator vaut $1,6\Omega$, procéder comme indiqué pages MA15 et MA16 du cours pour déterminer $p_{méca}$ et p_{fer} pour $U = U_n$. En négligeant le glissement g à vide, déduire de $p_{méca}$ la valeur du couple de pertes C_p .
- En négligeant les différentes pertes, l'inductance $L\omega$ (Cf. schémas équivalents du cours) est égale à $(U/\sqrt{3})/I_0$. Compte tenu de ceci, tracer la courbe $L\omega = f(U)$. A partir de quelle tension la saturation commence-t-elle à apparaître?

b) Essai en charge à tension nominale

En veillant à ne pas surcharger le frein, relever le couple utile C_u et la fréquence de rotation n pour différents points de fonctionnement puis tracer les courbes $C_u = f(n)$ et $C_e = C_u + C_p = f(g)$.

Application: On admet que C_e peut se mettre sous la forme $C_e = \frac{pU^2}{\omega R} g$ avec p , nombre de paires de pôles, ω , pulsation du réseau et R , résistance équivalente à la cage ramenée au stator. Modéliser alors la deuxième courbe par une droite et en déduire la valeur de R .

1.2) Etude en régime transitoire à vide

a) Appliquer la tension fournie par la dynamo tachymétrique à l'entrée Y d'une table traçante. Faire tourner la machine puis couper l'alimentation du stator et enregistrer la courbe de ralentissement $n = f(t)$. Déduire de la pente du début de cette courbe et du résultat obtenu pour C_p la valeur du moment d'inertie J du groupe.

b) A l'aide d'une sonde différentielle de tension et d'une pince ampèremétrique, enregistrer à l'oscilloscope à mémoire les évolutions du courant d'induit $i(t)$ et de la fréquence de rotation $n(t)$ lors d'un démarrage. Application:

- Donner un ordre de grandeur de la valeur crête du courant de démarrage
- Déduire de la pente moyenne du début de la courbe $n(t)$ et du résultat obtenu pour J une valeur approchée du couple de démarrage C_D . Comparer celui-ci au couple nominal C_N que l'on déduira des indications de la plaque signalétique.

c) Brancher maintenant la sonde différentielle de tension entre deux bornes du stator. Faire tourner la machine, couper l'alimentation et enregistrer l'évolution de la f.é.m. rémanente. En assimilant son enveloppe à une exponentielle décroissante de constante de temps τ_r , déterminer la valeur de cette dernière.

2) Marche en génératrice

Dans ce qui suit, on note G la machine asynchrone de 300W dont on étudie le fonctionnement en génératrice et M, le moteur asynchrone d'entraînement de 740W.

2.1) Débit sur le réseau

a) Raccorder G aux bornes du réseau par l'intermédiaire d'un interrupteur triphasé et en insérant les éléments permettant de mesurer directement les puissances active et réactive échangées à l'aide d'un seul wattmètre. Alimenter la machine, repérer le sens de rotation du groupe puis remettre la machine hors tension.

b) Raccorder M aux bornes de sorties d'un Altivar 5, lui-même alimenté par un transformateur d'isolement 3x400/400. Régler le variateur pour que le groupe tourne dans le même sens que précédemment à la fréquence de 1500tr/min, puis mettre G sous tension.

c) En veillant à ce que le courant I débité par G ne dépasse pas 1A, augmenter alors très progressivement la fréquence de rotation tout en relevant n , la puissance active P fournie au réseau ainsi que la puissance réactive Q consommée par G. Tracer ensuite, en les superposant, les courbes $P = f(|g|)$ et $Q = f(|g|)$.

2.2) Fonctionnement autonome

a) Pour que G puisse s'amorcer, on branche en parallèle sur ses bornes une charge capacitive couplée en étoile, dimensionnée de telle sorte que la puissance réactive qu'elle fournit soit égale à celle consommée par G. Compte tenu de ceci, et sachant qu'on veut obtenir une tension entre phases de valeur efficace environ égale à 400V et de fréquence voisine de 50Hz, calculer:

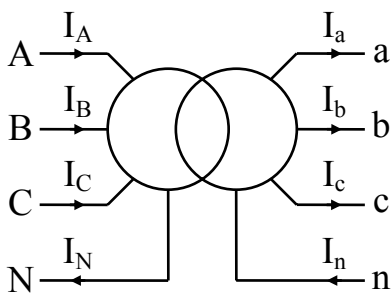
- La fréquence de rotation que l'on doit donner au groupe en négligeant le glissement.
- La capacité C par phase de la charge capacitive en prenant pour Q la valeur maximale mise en jeu dans l'essai effectué au 2.1)c).

b) Après avoir déconnecté G du réseau, raccorder aux bornes de cette machine la charge capacitive déterminée ci-dessus, en parallèle sur une charge résistive de 500W, initialement réglée à zéro. Faire tourner le groupe à la fréquence adéquate et observer l'amorçage de G. Augmenter ensuite progressivement la charge résistive et tracer la courbe $U = f(P)$ pour $0 \leq P \leq 100W$. Que se passe-t-il si on augmente de trop la charge résistive?

TRANSFORMATEUR: REGIME DESEQUILIBRE – REGIME NON SINUSOIDAL

On utilisera un transformateur de 3kVA à deux demi-secondaires par colonne. Son primaire sera connecté en étoile et alimenté par le réseau 3x400V, avec ou sans neutre suivant les indications. Dans les études théoriques, on négligera systématiquement les courants à vide.

1) Fonctionnement en régime sinusoïdal déséquilibré



Dans ce qui suit, les notations feront référence au schéma ci-contre. Physiquement, l'affectation des lettres aux bornes primaires et secondaires du transformateur est laissée au libre choix de l'expérimentateur. On s'assurera simplement que les lettres majuscules et minuscules correspondantes désignent les éléments d'une même colonne (repérer également le couplage du secondaire dans le cas du montage zig-zag).

1.1) Mesurer les tensions aux bornes d'un enroulement primaire et d'un demi-enroulement secondaire (notée V_{20}). En déduire la valeur du rapport des nombres de spires N_2/N_1 .

1.2) Dans tout ce qui suit, la charge est une résistance supposée consommer un courant de 4A. En considérant alors successivement les six cas suivants:

- a) secondaire en étoile – neutre au primaire relié – charge branchée entre a et b
- b) secondaire en étoile – neutre au primaire non relié – charge branchée entre a et b
- c) secondaire en étoile – neutre au primaire relié – charge branchée entre a et n
- d) secondaire en étoile – neutre au primaire non relié – charge branchée entre a et n
- e) secondaire en zig-zag – neutre au primaire relié – charge branchée entre a et n
- f) secondaire en zig-zag – neutre au primaire non relié – charge branchée entre a et n

- * prédéterminer les valeurs de I_A , I_B , I_C et I_N (s'il y a lieu)
- * réaliser le montage en utilisant une charge résistive triphasée couplée en étoile et alimentée, entre deux phases pour les cas a) et b), et entre une phase et le point commun pour les autres cas
- * régler la charge pour que le courant consommé soit égal à 4A puis mesurer les différents courants au primaire à l'aide d'une pince ampèremétrique
- * comparer les résultats à la théorie.

N.B.: Présenter les résultats sous forme de tableau.

2) Redressement hexaphasé

2.1) Etude théorique

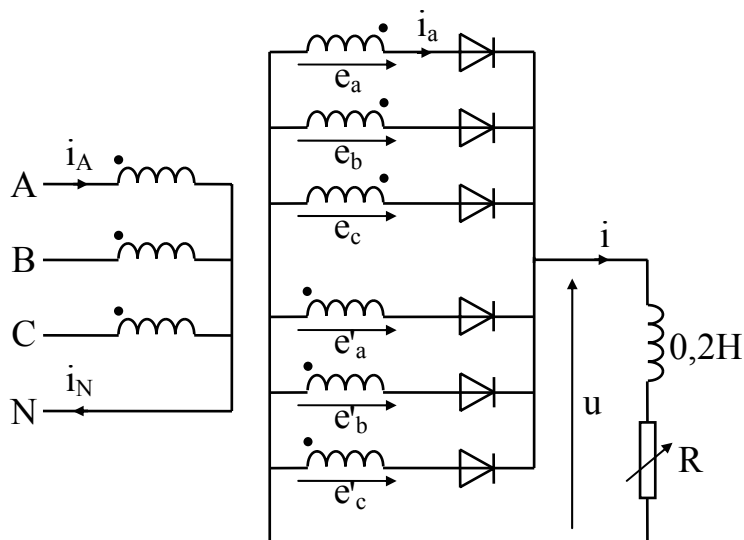
a) Calculer la valeur moyenne U_C de u sachant que $U_C = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{20}$.

b) Soit I_C la valeur moyenne de i et I_2 la valeur efficace du courant au secondaire du transformateur. Sachant que $I_2 = I_C / \sqrt{6}$, calculer la valeur maximale I_{CM} que peut prendre I_C compte

tenu de la limitation sur I_2 (à déduire de la puissance apparente et en prenant 400V comme tension nominale).

c) En supposant i parfaitement lissé, rappeler les allures de i_a , i_A et i_N (Cf. exercice 2 pages EL1 et EL2).

2.2) Etude expérimentale



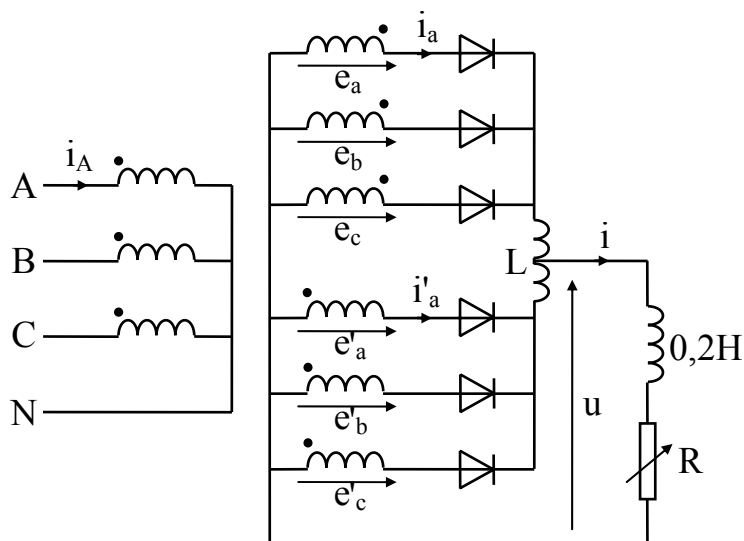
a) Réaliser le montage conformément au schéma ci-contre en reliant le neutre au primaire et en prenant pour R la charge résistive utilisée au I) mais couplée ici en monophasé.

b) Pour $0 < I_C \leq I_{CM}$, tracer la caractéristique en charge $U_{C1} = f(I_C)$. Modéliser celle-ci sous la forme $U_{C1} = U_C - R_i \cdot I_C$ en donnant les valeurs de la tension fictive à vide U_C et de la résistance interne R_i . Comparer U_C à la valeur calculée au 2.1)a).

c) Pour $I_C = I_{CM}$, relever les oscillogrammes de u , i , i_a , i_A et i_N .

d) Supprimer le neutre, puis, pour $I_C = I_{CM}$, relever les oscillogrammes de u et i_a . Interpréter le résultat en termes de déformation des tensions aux bornes du transformateur (qu'on pourra visualiser à l'aide d'une sonde différentielle).

3) Montage double étoile



3.1) Modifier le montage précédent comme indiqué ci-contre en utilisant pour L une bobine MAE de 2x125 spires montée sur un circuit magnétique fermé.

3.2) Pour $0 < I_C \leq 10A$, tracer la caractéristique en charge $U_{C1} = f(I_C)$ (pour avoir aussi des points à très faible courant, remplacer ensuite la charge triphasée par un rhéostat de 1000Ω). Interpréter l'allure de la courbe obtenue.

3.3) Pour $I_C = 10A$, relever les oscillogrammes de u , i , i_a , i'_a et i_A .

MACHINE SYNCHRONE: AUTOAMORÇAGE – ECHANGES DE PUISSANCES AVEC LE RESEAU

Les essais se font sur un groupe LEROY SOMMER de 3kW équipé d'un détecteur de position du rotor (disque percé de 2 fentes + capteur optique) que l'on reliera à la maquette spécifique de conditionnement du signal. Dans ce qui suit, la machine synchrone est couplée en étoile et l'inducteur de la machine à courant continu (notée MCC) est alimenté par une source continue de 220V en série avec un rhéostat d'excitation de 1200Ω . Les notations sont celles utilisées habituellement, l'indice n caractérisant les valeurs nominales.

1) Marche en alternateur

L'induit de MCC est monté en série avec l'enroulement de compensation (Cf. schéma sur la plaque à bornes – respecter les signes!) et est alimenté sous tension continue variable. Vu le mode de fonctionnement envisagé, on raisonne en termes de puissances algébriques P et Q fournies au réseau (attention au branchement du wattmètre!).

1.1) Auto-amorçage sur condensateur

Brancher aux bornes de l'alternateur non excité une charge capacitive pure, faire tourner le groupe à la fréquence de rotation nominale puis relever et tracer la caractéristique $U=f(I)$ en se limitant à $I=5A$ (attention, le courant et la tension augmentent assez rapidement à partir du moment où il y a amorçage, il faut donc manipuler avec précaution).

1.2) Débit sur le réseau – Etude des échanges de puissance active et réactive

a) Câbler l'alternateur en auto-excitation en plaçant un ampèremètre calibre 20A entre les bornes 1+ et 3+ et un rhéostat de 180Ω , réglé à environ 50Ω , entre les bornes E+ et A+ (servant à régler le courant J dans la roue polaire – Cf. TP moteur synchrone).

b) Polariser la maquette de conditionnement de l'information de position par une alimentation 2x15V équipée d'une sortie 18V alternatif, que l'on appliquera sur l'entrée Y1 d'un oscilloscope en tant qu'image v_i d'une des tensions simples du réseau. Sur l'entrée Y2, appliquer le signal de sortie de la maquette. N.B.: Ce signal n'apparaîtra que lorsque le groupe tourne.

Remarque: Le capteur de position est employé ici pour déterminer l'angle interne $\delta=(\vec{V}, \vec{E}_0)$, dont la mesure directe n'est pas possible car la f.é.m. à vide e_0 n'est évidemment pas accessible en charge. On utilise le fait que, comme le dispositif est mécaniquement solidaire du rotor, il fournit une information présentant un décalage angulaire constant par rapport à e_0 . Ce décalage étant a priori quelconque, il convient de faire le réglage décrit ci-après, qui part du principe que l'angle interne est nul pour le fonctionnement à vide. Ce réglage effectué, δ est alors simplement égal au décalage temporel, converti en degrés, entre les signaux affichés.

c) En utilisant en particulier un jeu de lampes shutable par un interrupteur triphasé, réaliser un montage permettant de coupler l'alternateur sur le réseau et, ensuite, de mesurer P et Q par la méthode du double wattmètre. Le rhéostat de champ de MCC étant réglé à zéro, effectuer le couplage en présence du professeur. Vérifier que P et Q sont quasiment nulles (affiner au be-

soin les réglages). Régler alors la base de temps de l'oscilloscope à 1ms/carreau, synchroniser celui-ci de telle sorte que le passage par zéro de v_i se produise à l'instant $t=5\text{ms}$, puis agir sur le potentiomètre de réglage de la maquette pour faire coïncider le signal de position avec ce passage par zéro.

d) Pour $J=12\text{A}$, et en se limitant à $I=I_n$, augmenter progressivement le couple moteur fourni par MCC tout en relevant les indications P_1 et P_2 du double wattmètre. Observer parallèlement l'évolution de δ et mesurer sa valeur pour $I=I_n$. Tracer ensuite, en les superposant et avec la même échelle, les courbes $P=f(I)$ et $Q=f(I)$.

e) Régler les paramètres de MCC de façon à avoir $P \cong 1\text{kW}$ pour $J=12\text{A}$. Sans modifier ces paramètres, donc à puissance absorbée constante, relever et tracer $P=f(J)$ et $Q=f(J)$ pour J variant entre la valeur minimale possible ($\cong 4\text{A}$) et la valeur maximale ($\cong 20\text{A}$) compatible avec $I \leq I_n$. Comment évolue δ avec J ?

2) Marche en moteur synchrone

MCC fonctionne maintenant en génératrice et débite sur une charge résistive monophasée. On conserve les éléments de mesure et le mode d'excitation de la machine synchrone utilisés au 1). Les puissances algébriques P et Q sont maintenant celles absorbées par la machine (modifier en conséquence le branchement du wattmètre).

a) Mettre en œuvre la procédure de démarrage en moteur asynchrone (toujours Cf. TP moteur synchrone) et effectuer la synchronisation en présence du professeur.

b) A vide, régler J pour avoir le minimum de courant d'induit et faire de nouveau coïncider le signal de position avec le passage par zéro de v_i .

c) Pour $J=12\text{A}$, et en se limitant à $I=I_n$, augmenter progressivement la charge de MCC tout en relevant les indications P_1 et P_2 du double wattmètre. Observer parallèlement l'évolution de δ et mesurer sa valeur pour $I=I_n$. Tracer ensuite les courbes $P=f(I)$ et $Q=f(I)$.

N.B.: Contrairement à ce qui est fait dans le cours, conserver ici la définition de l'angle interne sous la forme $\delta = (\vec{V}, \vec{E}_0)$ pour bien mettre en évidence les différences avec le cas précédent.

d) Régler les paramètres de MCC de façon à avoir $P \cong 1\text{kW}$ pour $J=12\text{A}$. Sans modifier ces paramètres, donc à puissance utile constante, relever et tracer $P=f(J)$ et $Q=f(J)$ pour J variant entre la valeur minimale possible ($\cong 4\text{A}$) et la valeur maximale ($\cong 20\text{A}$) compatible avec $I \leq I_n$. Comment évolue δ avec J ?

3) Exploitation des résultats

a) Faire apparaître sur les différentes courbes $Q=f(I)$ et $Q=f(J)$ les zones où la puissance réactive est fournie au réseau et celle où elle est absorbée par la machine synchrone.

b) A partir du diagramme de Behn-Eschenburg simplifié (donc en négligeant la résistance d'induit), et en considérant différents cas (par exemple, ceux correspondant aux valeurs extrêmes du paramètre de réglage), justifier qualitativement, pour les deux modes de marche envisagés,

– les évolutions de Q et de δ en fonction de J à puissance constante

- le fait qu'à J constant, δ augmente avec la puissance active mise en jeu.

REGLAGE DE LA VITESSE DE ROTATION D'UN MOTEUR ASYNCHRONE

On se propose de comparer deux modes de réglage, celui par rhéostat rotorique et celui à l'aide du montage dit "cascade hyposynchrone". Pour faciliter l'étude comparative, on regroupera les résultats numériques dans des tableaux récapitulatifs et on tracera toutes les courbes $C_u = f(n)$ sur une même feuille.

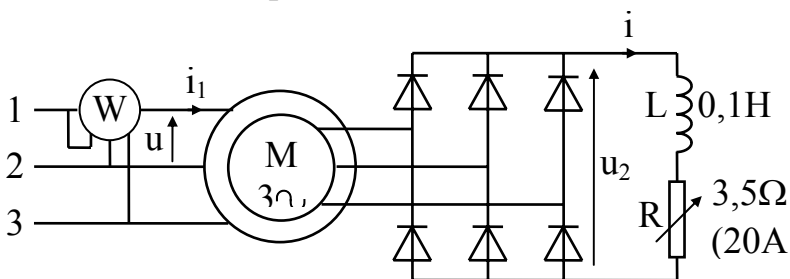
L'étude porte sur un groupe moteur asynchrone à rotor bobiné + dynamo balance. Les tensions et courants étant définis comme indiqué sur les différents schémas, on note:

- U la valeur efficace de u
- I_1 la valeur efficace de i_1
- U_{2C} la valeur moyenne de u_2
- I_C la valeur moyenne de i
- P la puissance active fournie par le réseau
- p_2 la puissance prélevée au rotor, que l'on admettra très peu différente de $U_{2C} \cdot I_C$
- f le facteur de puissance du montage global
- η le rendement du montage global.

On ne dépassera en aucun cas les valeurs maximales suivantes $I_C = 20A$ et $C_u = 19Nm$. Pour tracer les courbes $C_u = f(n)$, on se limitera à quatre points de mesure en charge régulièrement espacés, auxquels on rajoutera le point correspondant au fonctionnement à vide.

1) Réglage par rhéostat rotorique

Le montage sera réalisé conformément au schéma ci-dessous et complété de façon à pouvoir mesurer p_2 (rappel: cette puissance se déduit des mesures de U_{2C} et de I_C). La valeur de U sera mesurée une fois pour toutes et considérée comme constante.



N.B.: On utilisera un wattmètre numérique, qui permet d'obtenir à la fois U, I_1 et P. Le branchement en mesure directe de puissance utilisé ici se justifie par le fait que le déséquilibre des courants en ligne peut être négligé pour cette étude.

Précautions à prendre: Avant chaque mise sous tension, vérifier que le rhéostat R est réglé au maximum. Attendre la mise en rotation de la machine pour modifier la valeur de la résistance.

1.1) Pour $R = 0$, relever et tracer la caractéristique $C_u = f(n)$. Pour $C_u = 19Nm$, mesurer P et I_1 , puis calculer f et η .

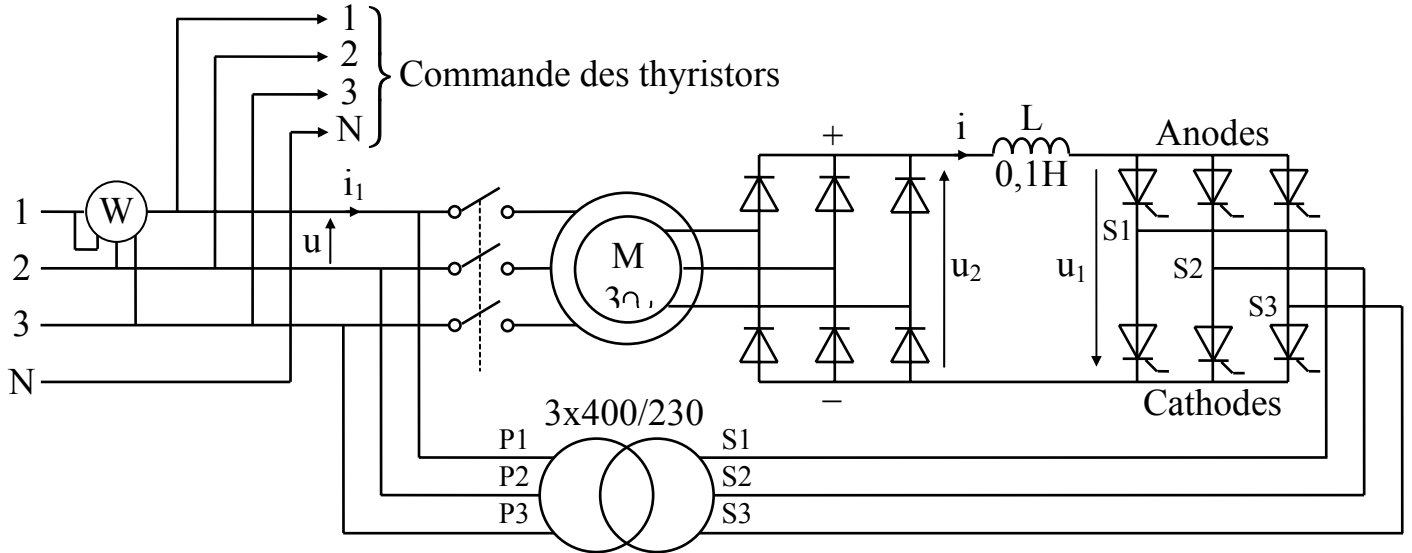
1.2) Pour R maximum, régler la charge de façon à avoir $C_u = 19Nm$ et relever la fréquence de rotation correspondante, notée n_1 . Mesurer alors P, I_1 et p_2 , puis calculer f et η . Tracer ensuite la caractéristique $C_u = f(n)$.

1.3) Régler R pour avoir le point de fonctionnement suivant: $n = 1100tr/min$; $C_u = 19Nm$. Mesurer P, I_1 et p_2 , puis calculer f et η . Tracer ensuite la caractéristique $C_u = f(n)$.

2) Cascade hyposynchrone

2.1) Opérations préliminaires

a) Câbler la partie wattmètre, interrupteur triphasé, machine asynchrone et transformateur du montage ci-dessous.



b) Vérifier que les tensions appliquées aux bornes 1, 2 et 3 forment un réseau direct et qu'il en est de même des tensions disponibles sur les bornes S1, S2 et S3.

c) Mesurer le rapport de transformation à l'arrêt m de la machine et celui, noté m' , du transformateur.

d) Terminer le câblage en le complétant de façon à pouvoir mesurer p_2 et à contrôler en permanence la tension u_1 à l'oscilloscope.

N.B.: La résistance à insérer entre les bornes marquées R de la maquette sera constituée de la mise en série de deux jeux de boîtes A.O.I.P., le premier de valeur fixe 1200Ω , le deuxième, noté R, constitué de 3 boîtes $\times 10\Omega$ en série, qui servira à régler l'angle de retard à l'amorçage α des thyristors sachant que l'on a $\alpha = 95^\circ + \frac{R}{10}$.

2.2) Essais

Précautions à prendre: Avant chaque mise sous tension vérifier que α est réglé à son maximum. Démarrer à vide en alimentant successivement le pont tout thyristors, puis le moteur.

a) A vide, pour $95^\circ \leq \alpha \leq 125^\circ$, relever et tracer la caractéristique $n = f(|\cos \alpha|)$. Modéliser la courbe par une droite, déterminer son coefficient directeur et comparer le résultat à la valeur théorique $-1500 \cdot m'/m$ que l'on justifiera.

b) Régler α pour avoir le point de fonctionnement suivant: $n = n_1$ (Cf. 1.2); $C_u = 19\text{Nm}$. Mesurer P, I_1 et p_2 , puis calculer f et η . Tracer ensuite la caractéristique $C_u = f(n)$.

c) Effectuer la même étude à partir du point de fonctionnement : $n = 1100\text{tr/min}$; $C_u = 19\text{Nm}$.

MOTEUR A COURANT CONTINU ALIMENTE PAR UN PONT MIXTE MONOPHASE

L'inducteur du moteur, en série avec un rhéostat d'excitation de 1200Ω , est alimenté par une tension constante. On réglera le courant d'inducteur à $0,25A$, valeur qui devra rester constante tout au long de l'expérimentation. L'induit du moteur est alimenté par un pont mixte, soit directement, soit en série avec une inductance de forte valeur assurant un courant ininterrompu. Le moteur est chargé par une dynamo à excitation indépendante réglable (ou par un frein à courants de Foucault). L'alimentation du pont redresseur se fera par l'intermédiaire d'un transformateur d'isolation $230V/230V$ de puissance apparente supérieure ou égale à $3kVA$.

Le montage devra être réalisé de telle sorte que l'on puisse simultanément:

- Mesurer la valeur moyenne I_C et la valeur efficace I du courant d'induit i .
- Relever les oscillogrammes de i et de u , tension aux bornes du pont mixte.
- Mesurer la fréquence de rotation n du moteur.

Précautions à prendre: Avant chaque mise sous tension du montage, vérifier que l'angle de retard α à l'amorçage des thyristors est réglé à 180° et faire varier cet angle lentement pour éviter les surintensités.

1) Etude du montage sans self de lissage

1.1) Etude des caractéristiques à α variable

Dans cette partie, le moteur à courant continu fonctionne à vide.

- Relever et tracer la caractéristique $n = f(\alpha)$ pour $0 \leq n \leq 1750\text{tr/min}$.
- Pour $n = 1500\text{tr/min}$, mesurer le facteur de forme du courant i .
- Relever les oscillogrammes de u et de i correspondant à $n = 1500\text{tr/min}$ et $n = 300\text{tr/min}$. Faire figurer sur ceux-ci les intervalles de temps où le pont débite, ceux où il fonctionne en roue libre et ceux où il est bloqué.

1.2) Etude des caractéristiques à α constant

- Pour α tel que l'on ait $n = 1500\text{tr/min}$ à vide, relever et tracer la caractéristique $n = f(I_C)$ en se limitant à $I_{C\text{max}} = 10A$.
- Pour $I_C = 10A$, relever les oscillogrammes de u et de i et préciser de même les modes de fonctionnement du pont. Mesurer d'autre part le facteur de forme du courant i .

2) Etude du montage avec self de lissage

- 2.1)a) }
b) } Effectuer la même étude que pour le montage sans self de lissage en superposant les
c) } caractéristiques $n = f(\alpha)$ et $n = f(I_C)$ à celles obtenues précédemment.
2.2)a) }
b) }

2.3) Pour $\alpha = 180^\circ$, mesurer la valeur efficace E de la tension d'alimentation du pont mixte

3) Interprétation des résultats

3.1) Comparer rapidement les résultats obtenus avec et sans self de lissage. Quel intérêt présente celle-ci en ce qui concerne le facteur de forme du courant d'induit et la stabilité de la vitesse de rotation vis à vis des variations de la charge?

3.2) On note R_i la résistance interne globale (redresseur + self + moteur) du montage et k la constante de f.é.m. du moteur. En courant ininterrompu, écrire la relation liant E , α , R_i , I_C , k et n . En déduire que la caractéristique théorique $n = f(I_C)$ à α constant est une droite. Déterminer alors k à partir d'un des oscillogrammes de u obtenu au paragraphe 1.1)c) puis utiliser la courbe $n = f(I_C)$ tracée au paragraphe 2.2)a) pour calculer la valeur de R_i .

3.3) A vide (ou pour $I_C = 1A$), la chute de tension dans R_i peut être négligée. Compte tenu de ceci, tracer la caractéristique théorique $n = f(\cos\alpha)$. En utilisant alors les résultats obtenus au paragraphe 2.1)a), superposer à celle-ci la courbe expérimentale $n = f(\cos\alpha)$ et conclure.

MOTEUR UNIVERSEL

1) Préliminaires

1.1) Vu les vitesses de rotation très élevées pouvant être atteintes, on chargera le moteur par une génératrice à courant continu de type série, mais dont on alimentera l'inducteur de façon indépendante par une alimentation continue auxiliaire. Pour cette machine, on précise que:

- Le courant d'excitation sera préréglé à 0,5A et évoluera autour de cette valeur.
- L'induit débite sur un rhéostat d'environ 250Ω, réglé initialement au maximum.
- On mesurera en permanence la tension U_a aux bornes de l'induit et le courant I_a débité. En notant Ω la vitesse de rotation du groupe, on en déduira le couple utile C_u fourni par le moteur universel par la relation $C_u = \frac{(U_a + R_a \cdot I_a) I_a}{\Omega}$ avec $R_a = 14\Omega$.

1.2) En plus des données figurant sur la plaque signalétique du moteur, on s'imposera une fréquence de rotation maximale n_M égale à 4000tr/min.

1.3) On utilisera un wattmètre numérique pour mesurer les différentes grandeurs électriques.

2) Fonctionnement en alternatif à tension constante**2.1) Généralités – Eléments de théorie**

Le moteur universel possède une structure de type série. Sa f.é.m. E est proportionnelle au courant d'induit I et est en phase avec lui, ce qu'on peut traduire par la relation suivante:

$$E = K\Omega I = knI$$

En désignant par U la tension d'alimentation, R la résistance totale (induit + inducteur) de la machine et L l'inductance correspondante, on aura donc:

$$\underline{U} = R\underline{I} + jL\omega\underline{I} + kn\underline{I} = (R + kn)\underline{I} + jL\omega\underline{I}$$

On en déduit les relations $\begin{cases} U \cos \varphi = (R + kn)I \\ U \sin \varphi = L\omega I \end{cases}$, qui permettent de calculer k et L à partir des

mesures de U , I et $P = UI \cos \varphi$.

N.B.: Le fonctionnement se faisant généralement dans le coude de saturation (voire au-delà), k et L ne sont pas constants mais diminuent lorsque I augmente.

2.2) Essais – Exploitation des résultats

- a) Câbler l'induit en série avec l'inducteur, puis, à l'arrêt, mesurer R en continu pour $I = 1A$.
- b) Régler la charge pour avoir $n = n_M$, puis, en se limitant à $I_M = 2,6A$, augmenter progressivement le couple résistant tout en relevant les valeurs de I , n , P , U_a et I_a . Application:

- Calculer pour chaque point de mesure les valeurs de $\cos\varphi$, P_u , C_u et du rendement η . Tracer ensuite les courbes $I = f(C_u)$, $C_u = f(n)$, $\cos\varphi = f(C_u)$ et $\eta = f(C_u)$.
- Déterminer les valeurs de k et de L pour les trois points de fonctionnement suivants: $n = n_M$, $I = 2,2A$ et $I = I_M$. Conclusion.

3) Fonctionnement en continu à tension constante

N.B.: La tension d'alimentation présentant un très faible taux d'ondulation, il en est de même du courant absorbé par le moteur. On pourra donc garder le wattmètre pour mesurer ces grandeurs, pour lesquelles on garde par ailleurs les notations U et I .

Modifier le branchement de l'inducteur comme indiqué sur la plaque à bornes du moteur, puis alimenter celui-ci sous 220V continu. Régler la charge pour avoir $n = n_M$, puis, en se limitant ici à $I_M = 1,8A$, augmenter progressivement le couple résistant tout en relevant les valeurs de I , n , P , U_a et I_a . Tracer ensuite les caractéristiques $I = f(C_u)$, $C_u = f(n)$ et $\eta = f(C_u)$.

4) Fonctionnement en alternatif à tension variable

Après avoir recâblé l'inducteur pour l'alternatif, placer en série avec le moteur un gradateur monophasé. Alimenter l'ensemble par un transformateur d'isolement 230/230, branché sur la même phase que la source polarisant la maquette de commande. Avant de mettre sous tension, vérifier que l'angle de retard α à l'amorçage des thyristors est réglé à 180° et faire varier cet angle lentement pour éviter les surintensités.

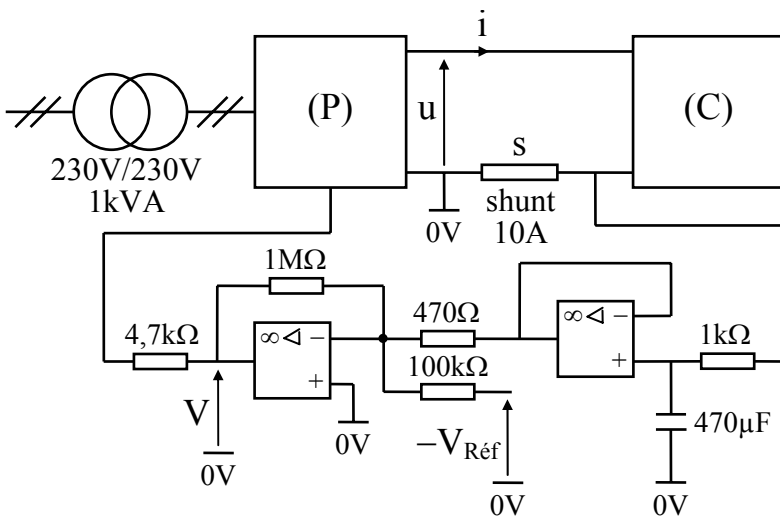
4.1) Etude des caractéristiques mécaniques

- a) Pour les valeurs suivantes de α , 60° , 70° et 80° , en partant de $n = n_M$ et en se limitant ici à $I_M = 2,2A$, procéder comme précédemment pour relever et tracer, en les superposant, les courbes $C_u = f(n)$.
- b) Pour α variant entre 180° et 0 , et en maintenant I constant et égal à $2,2A$, relever et tracer la courbe $n = f(\alpha)$.

4.2) Etude des caractéristiques électriques

- a) Utiliser une sonde différentielle et une pince ampèremétrique pour visualiser à l'oscilloscope la tension aux bornes du moteur et le courant qui le traverse. Pour $I = 2,2A$ et les valeurs suivantes de α , 70° et 20° , relever les oscillogrammes obtenus et les commenter.
- b) A partir du point de fonctionnement pour $\alpha = 20^\circ$ obtenu dans l'essai précédent, augmenter progressivement l'angle de retard à l'amorçage jusqu'à obtenir le début du fonctionnement en gradateur. Noter la valeur correspondante α_C de α , comparer celle-ci à l'angle φ obtenu dans les mêmes conditions au 2.2)b) et conclure.

COMMANDE D'UN MOTEUR A COURANT CONSTANT



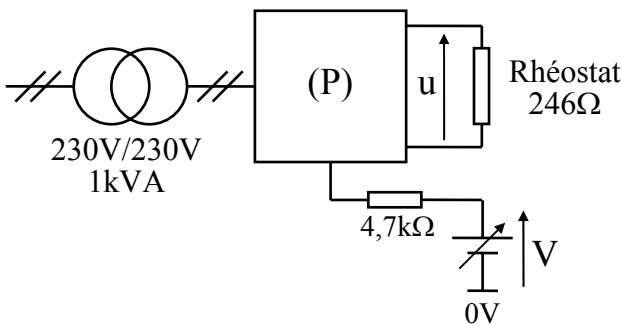
Le schéma complet du montage est représenté ci-contre. (P) est un pont mixte équipé d'une commande en arc cosinus, ce qui entraîne qu'en courant ininterrompu, la valeur moyenne U'_C de u est une fonction linéaire de la tension de commande V . La charge (C) est constituée, soit par des éléments passifs, soit par un ensemble moteur série plus dynamo à excitation indépendante (groupe Cetel 1kW).

N.B.: * La partie électronique est précâblée sur une maquette.

- * Afin de vérifier le bon fonctionnement du montage redresseur, un oscilloscope sera branché en permanence aux bornes de sortie du pont.
- * La tension de commande (notée $-V_{Réf}$) est négative.
- * On effectuera au minimum 10 points de mesure régulièrement espacés pour tracer chaque courbe.

1) Essais préliminaires

1.1) Tracé de la courbe $U'_C = f(V)$



Réaliser le montage partiel ci-contre, puis tracer la courbe $U'_C = f(V)$ pour $0 \leq V \leq 15V$. Constaté que, pour V compris entre deux valeurs extrêmes que l'on précisera, U'_C est proportionnel à la tension de commande. Calculer la valeur correspondante du coefficient de proportionnalité $k = U'_C/V$.

1.2) Etude de la régulation de courant

Réaliser le schéma complet en prenant pour (C) une bobine d'inductance L (charge selfique 6kVA câblée en continu et réglée à 20%) en série avec une charge résistive R de 10kW. On note I_C la valeur moyenne de i .

- a) La charge étant réglée à 100%, tracer la courbe $I_C = f(V_{Réf})$ en se limitant à $I_C = 5A$. Mesurer d'autre part U'_C pour $I_C = 5A$ et en déduire la valeur de la résistance, notée R_t , de l'ensemble self + charge résistive.
- b) Déduire de l'essai précédent la valeur de $V_{Réf}$ correspondant à $I_C = 5A$. Pour cette valeur de $V_{Réf}$, tracer la courbe $I_C = f(U'_C)$. Préciser sur celle-ci la zone où le montage fonctionne en source de courant et celle où il fonctionne en limitation de tension.

c) Le filtre passe-bas étant un simple suiveur vis-à-vis de la valeur moyenne de i , établir qu'en régime permanent on a $V = A(V_{\text{Réf}} - R_0 \cdot I_C)$ avec $A = 10$ et $R_0 = 2,1\Omega$. Compte tenu de ceci et des autres relations régissant le fonctionnement du dispositif, mais en négligeant les chutes de tension dans (P), montrer que

$$I_C \cong \frac{AkV_{\text{Réf}}}{R_t + AkR_0} \text{ dans le cas du débit sur charge fixe}$$

$$I_C \cong \frac{V_{\text{Réf}}}{R_0} - \frac{U'_C}{AkR_0} \text{ dans la partie "source de courant" du débit sur charge variable.}$$

Faire alors l'application numérique compte tenu des résultats des différents essais précédents et tracer les caractéristiques correspondantes en les superposant aux courbes expérimentales.

2) Commande du moteur série

La dynamo débite sur la charge résistive R utilisée précédemment.

2.1) Préliminaires

En première approximation, à excitation constante, la dynamo oppose un couple résistant de la forme $C_r = K \cdot n / R$, avec n , fréquence de rotation du groupe. Le moteur série étant commandé à courant constant, son couple moteur C_m est également constant. En déduire que, pour une valeur fixée de $V_{\text{Réf}}$, n est proportionnel à R et proposer une méthode opérationnelle permettant, d'une part d'éviter un emballement du moteur, d'autre part d'obtenir un point de fonctionnement (I_C, n) donné.

2.2) Etude expérimentale

a) Effectuer les réglages permettant d'obtenir $I_C = 4,5A$, $n = 1000\text{tr}/\text{min}$ et relever la valeur correspondante de $V_{\text{Réf}}$. Pour cette valeur de $V_{\text{Réf}}$, tracer la courbe $I_C = f(n)$ en partant de la fréquence de rotation la plus faible possible et en se limitant à $n_{\text{max}} = 1500\text{tr}/\text{min}$.

b) Pour $V_{\text{Réf}} = 8V$, et en se limitant à $n_{\text{max}} = 1500\text{tr}/\text{min}$, tracer la courbe $n = f(R)$. Conclusion. N.B.: R sera déterminé à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre placé dans le circuit d'induit de la dynamo.

3) Mesure des puissances absorbées par le pont mixte

Pour diminuer l'ondulation résiduelle du courant i , placer en série avec le moteur l'inductance L utilisée précédemment. Ajouter d'autre part un wattmètre numérique, câblé de façon à pouvoir mesurer simultanément les puissances active P, réactive Q et apparente S à l'entrée du pont redresseur.

a) Effectuer les réglages permettant d'obtenir le point de fonctionnement suivant: $I_C = 4,5A$, "pleine ouverture" du pont redresseur, puis, en diminuant progressivement R, relever P, Q et S. Tracer ensuite les courbes Q et f' (facteur de puissance) en fonction de P.

b) Mesurer pour quelques points de fonctionnement les valeurs de P, U'_C et I_C . Supprimer ensuite l'inductance L et refaire les mêmes mesures. Comparer P au produit $U'_C I_C$ et interpréter les résultats obtenus.