MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Direction générale des études technologiques

Institut supérieur des études technologiques de Nabeul

Département : Génie Electrique

Recherche appliquée et innovation pédagogiques

Equipement du laboratoire de commande machines

Proposés par :
Hidri.Imed
Technologue à l'ISET de Nabeul

Avant-propos

Dans le cadre de recherche appliquée et d'innovation pédagogiques et vue le manque des stands de travaux pratique dans le labo de commande machine j'ai installé quatre stand des travaux pratique deux des machines à courant continue et deux à courant alternatif on utilisant des équipements non exploiter et des maquettes délisser de puis des années .
Ainsi que leur fascicule des travaux pratique qui sont rassemblés dans ce document.
Ces travaux pratiques sont réalisés au laboratoire de commande des machines au sein du département génie électrique de l'ISET de Nabeul.
Ils s'adressent aux étudiants des ISET du niveau L3–semestre 1 département génie électrique spécialité électricité industrielle (E.I).

Liste des stands des travaux pratiques

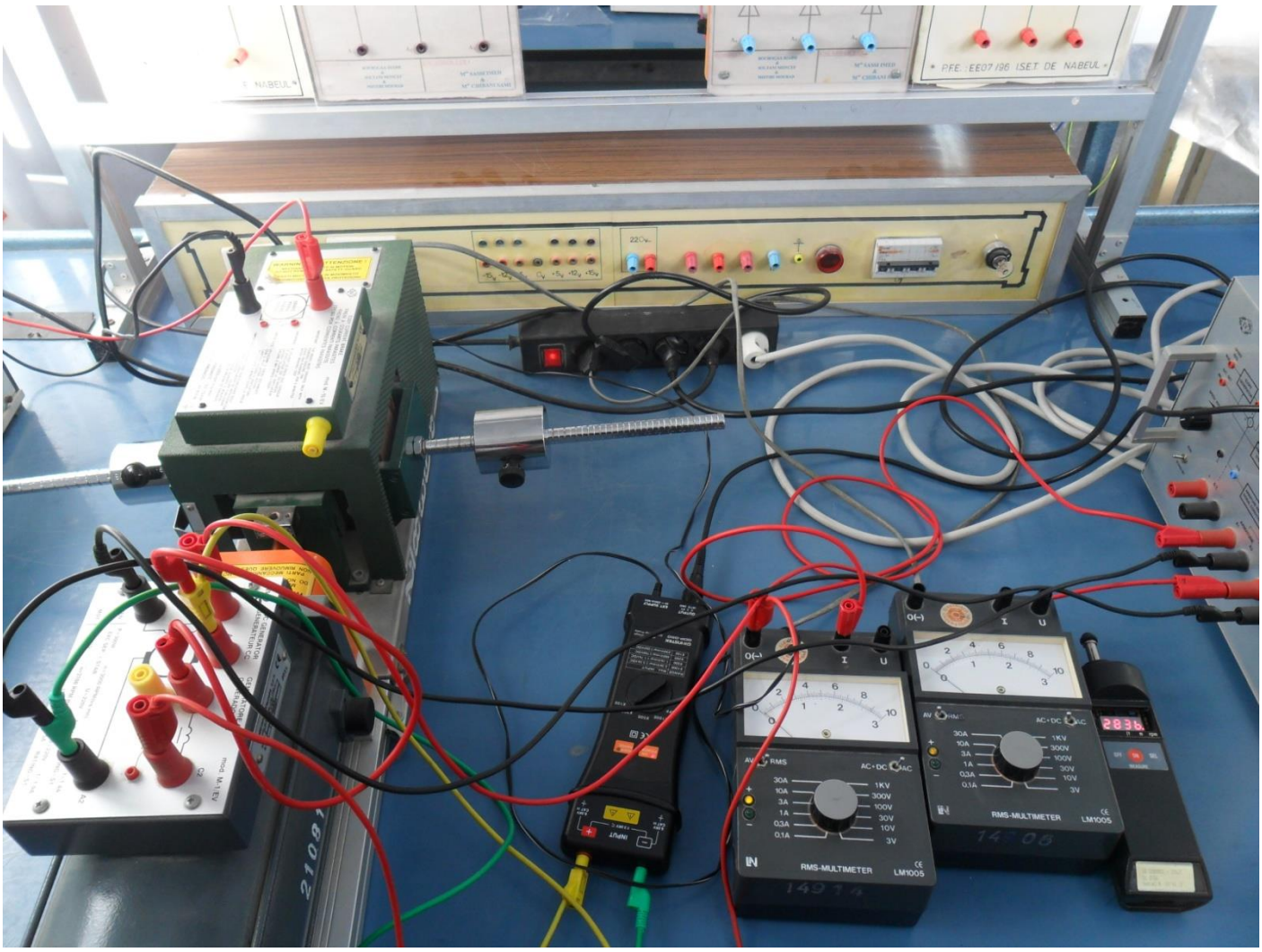
Stands de TPN°1 : Variation de vitesse d'un Moteur à courant continu un quadrant avec boucle de courant.

Stands de TPN°2 : Variation de vitesse d'un Moteur à courant continu deux quadrants avec boucle de courant et boucle de vitesse.

Stands de TPN°3 : Variateur pour moteur asynchrone par variateur Commander SK

Stands de TPN°4 : Variateur pour moteur asynchrone par gradateur triphasé.

Stand de TPN°1 : Variation de vitesse d'un Moteur à courant continu un quadrant avec boucle de courant



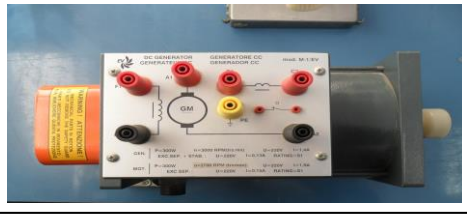
Buts du TP : le but de ce TP est l'étude de l'entraînement du moteur à courant continu à base d'un convertisseur à thyristors semi-contrôlé unidirectionnel monophasé (PD2) dans le réglage à boucle ouverte. Il fournit un contrôle de vitesse automatique et une limitation de courant grâce à la réaction d'induit (armature). On prélèvera les caractéristiques suivantes :

** n = f(U) pour I=0 , I=In et I=In/2 (A flux nominal constant)*

** n = f(Γ), Pu = f(Γ) et η= f(Γ) U=Un et U=Un/2 (A flux nominal constant)*

Equipement nécessaire :

Variateur pour Moteur à C-C, Ua_N=220v, Uex=220v et P=1,5W



Moteur à C-C, U_N=220v, I_N=1,9A N=2700tr/mn et I_{ex}=0,15A

Appareils de mesure Voltmètre- ampermetr

Frein à courant parasite V= 0 à 220v, I= 0 à 2A ,N=3000tr/mn et Γ_{max}=±1,5Nm

Générateur de tension à C-C U= 0 à 220v, I= 0 à 3A

Tachymètre

Oscilloscope à deux voies

Sonde de tension à effet Hall

Sonde de tension et de courant à effet Hall

Multimètre numérique

Rappel théorique sur la commande des moteurs à courant continu (TPN°1 & TPN°2)

Les moteurs à courant continu sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles, bien que leur construction soit plus complexe que celle des moteurs à courant alternatif.
Les avantages de ces moteurs sont :

- une large gamme de variations de vitesse au-dessus et au-dessous de la vitesse de régime ;
- un fonctionnement avec des couples constants ou variables ;
- une accélération, un freinage et une inversion du sens de rotation très rapide, ce qui est avantageux dans le cas des appareils de levage et des machines outils ;
- une vitesse de rotation qui peut être régulée par l'intermédiaire d'un système de rétroaction ;
- la possibilité de fonctionner comme générateur lors du freinage par récupération d'énergie.

I- Caractéristiques d'un moteur à courant continu

La vitesse d'un moteur à courant continu est inversement proportionnelle au flux inducteur et directement proportionnelle à la force contre-électromotrice du moteur. Cette relation nous est donnée par L'Equation

$$N = \frac{f.c.e.m}{K\Phi}$$

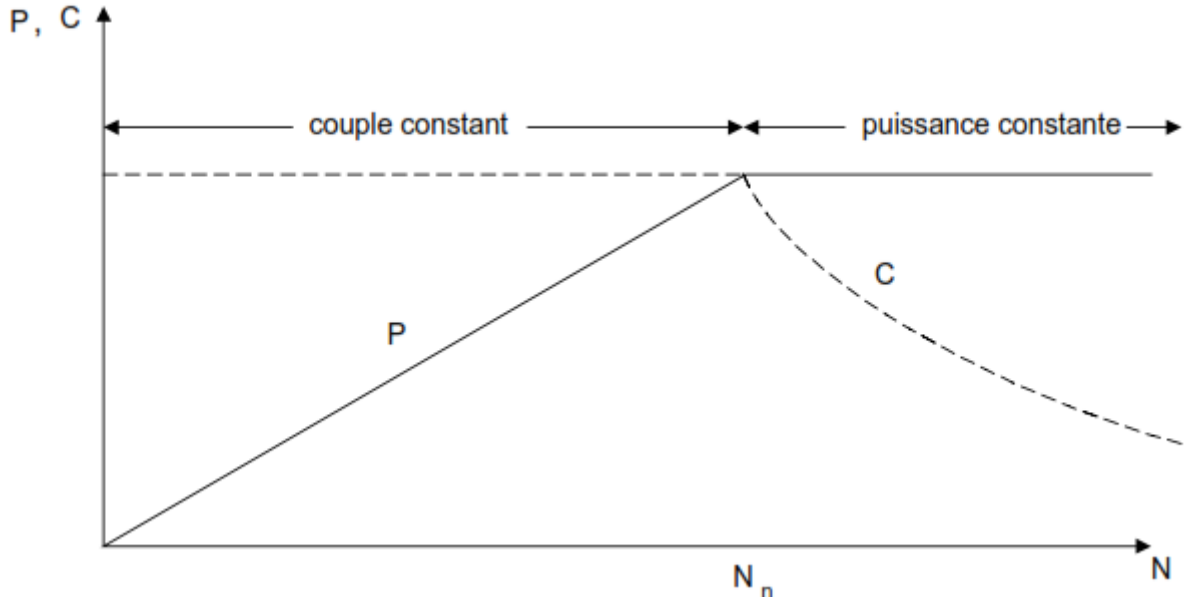
Le couple du moteur est proportionnel au flux inducteur et au courant de l'inducteur

$$C = K\,\Phi\,I_A$$

La puissance mécanique est proportionnelle au couple et à la vitesse du moteur

$$P = 0{,}105\,C\,N$$

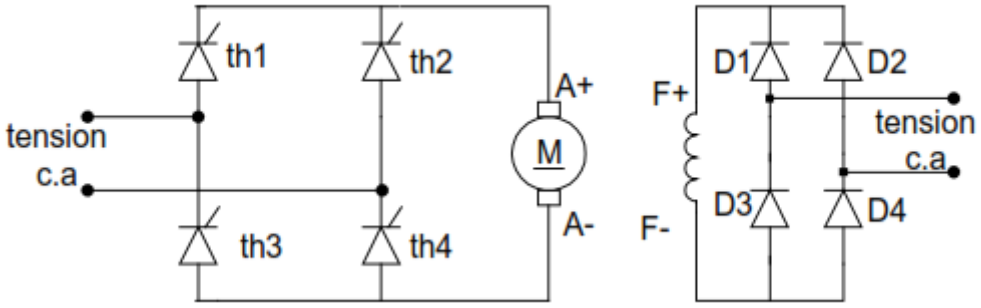
On peut faire fonctionner le moteur à couple constant en variant la tension de l'induit. Dans ce cas, la puissance varie en fonction de la vitesse. Si on varie le flux inducteur et si l'on garde la tension de l'induit constante, le couple variera inversement proportionnellement à la vitesse du moteur, et la puissance demeurera constante.
La Figure suivante nous montre la relation entre le couple et la puissance du moteur en fonction de la vitesse.



Dans l'industrie, 90% des applications fonctionnent à couple constant. Ainsi on retrouve le fonctionnement à puissance constante dans les pompes, les machines outils et les systèmes d'enroulement.

II- Variateur de vitesse à thyristors

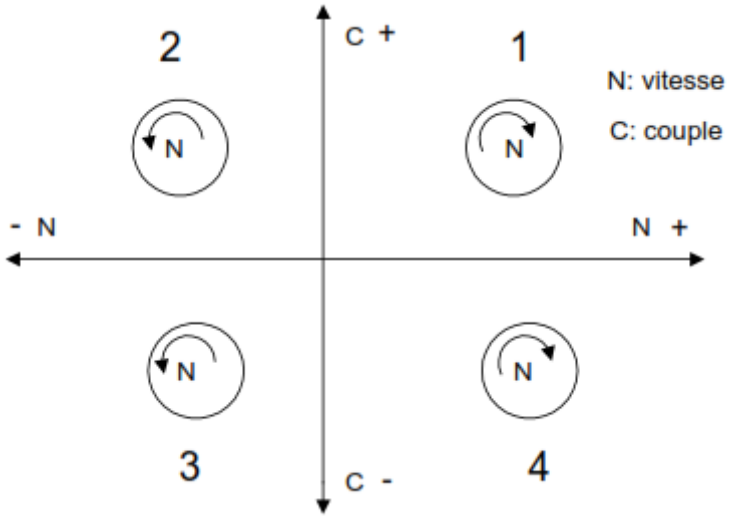
Les convertisseurs alternatif- continu sont les variateurs de vitesse les plus répandus pour les moteurs à courant continu, puisqu'ils utilisent directement la tension du réseau. Ils sont monophasés ou triphasés. Les ponts monophasés sont utilisés dans les variateurs de faible puissance (jusqu'à 10kw environ). Ils comprennent soit un pont complet de quatre thyristors ou un pont mixte à deux thyristors et deux diodes. Les ponts triphasés sont employés pour les puissances supérieures à 10kw. On peut choisir un pont complet à six thyristors ou mixte à trois thyristors et trois diodes.



REDRESSEUR A THYRISTORS MONOPHASES

III- Variateur de vitesse réversible

Un variateur est réversible lorsqu'il permet un changement rapide du sens de marche.
Cela nécessite une commande à quatre quadrants. La figure suivante représente les quatre quadrants dans lesquels un variateur réversible peut fonctionner. La vitesse est indiquée sur l'axe horizontal et le couple, sur l'axe vertical.

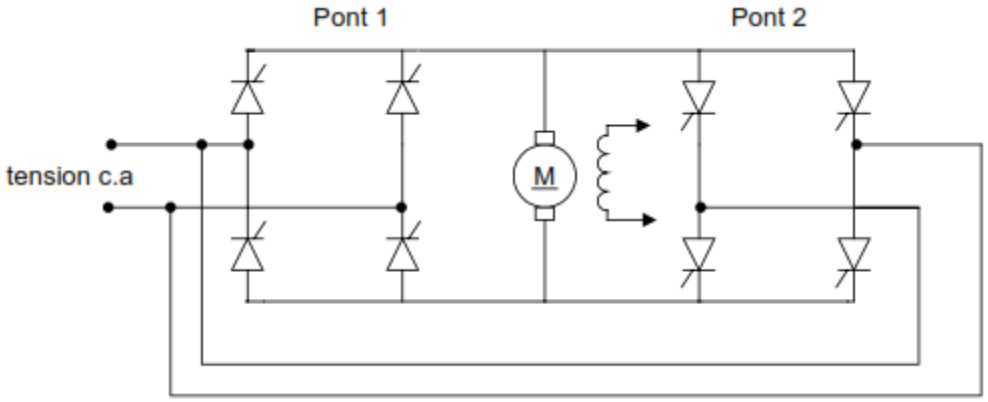


REPRÉSENTATION DES QUATRE QUADRANTS DU COUPLE ET DE LA VITESSE

Premier quadrant : Le moteur fonctionne dans le sens direct. Le couple et la vitesse sont positifs.
Deuxième quadrant : Le moteur fonctionne en sens inverse (vitesse négative) et le couple est positif (période de freinage ou récupération)
Troisième quadrant : Le moteur fonctionne en sens inverse et le couple est négatif.
Quatrième quadrant : Le couple est négatif et la vitesse est positive (période de freinage ou récupération).

Déroulement d'un cycle normal :

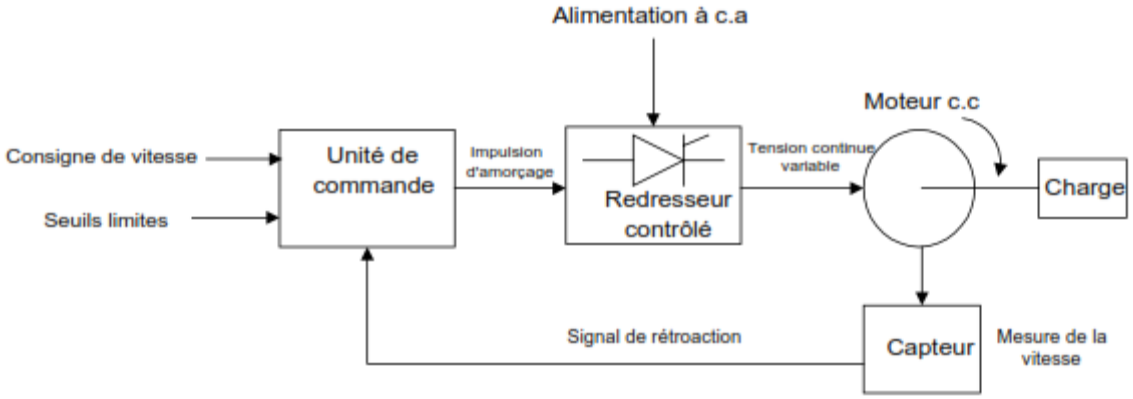
Démarrage dans le sens direct (quadrant 1) ; freinage et récupération (quadrant 4).
Démarrage dans le sens inverse (quadrant 3) ; freinage et récupération (quadrant 2).
Pour réaliser un variateur de vitesse réversible à quatre quadrants, on utilise le montage de la Figure suivante qui est constitué de deux ponts à thyristors.



REDRESSEUR RÉVERSIBLES À THYRISTORS

IV- Régulation de vitesse

Les variateurs de vitesse permettent non seulement de contrôler la vitesse et d'inverser le sens de rotation, mais aussi d'asservir la vitesse, soit en la maintenant égale à une valeur déterminée, quel que soit le couple résistant exercé sur l'arbre. Le schéma synoptique de la Figure suivante présente les principaux éléments d'un variateur de vitesse pour un moteur c.c à excitation séparée.



Le système comprend :

• un module de commande qui est constitué d'un régulateur de vitesse, un circuit d'amorçage à thyristors et des circuits pouvant régler la vitesse de rotation, l'accélération, la décélération, le courant d'induit maximum et le couple maximum. Tous ces réglages peuvent se faire à l'aide de potentiomètres s'il s'agit de carte analogique ou d'un microprocesseur dans le cas de variateur numérique.

• un capteur de vitesse transmettant un signal proportionnel à la vitesse du moteur. Ce capteur est soit une génératrice tachymétrique qui est entraînée par le moteur ou un disque codé, utilisé pour le comptage associé à un convertisseur fréquence-tension.

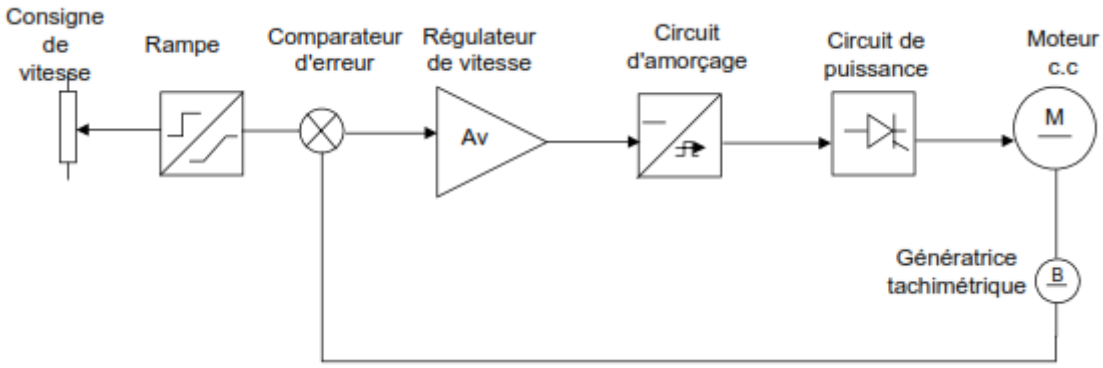
• un module de commande qui ajuste l'angle d'amorçage des thyristors en fonction de la vitesse du moteur.

On retrouve deux méthodes permettant la régulation de vitesse d'un moteur à courant continu, soit :

• par génératrice tachymétrique ;
• par tension d'induit ou f.c.é.m.

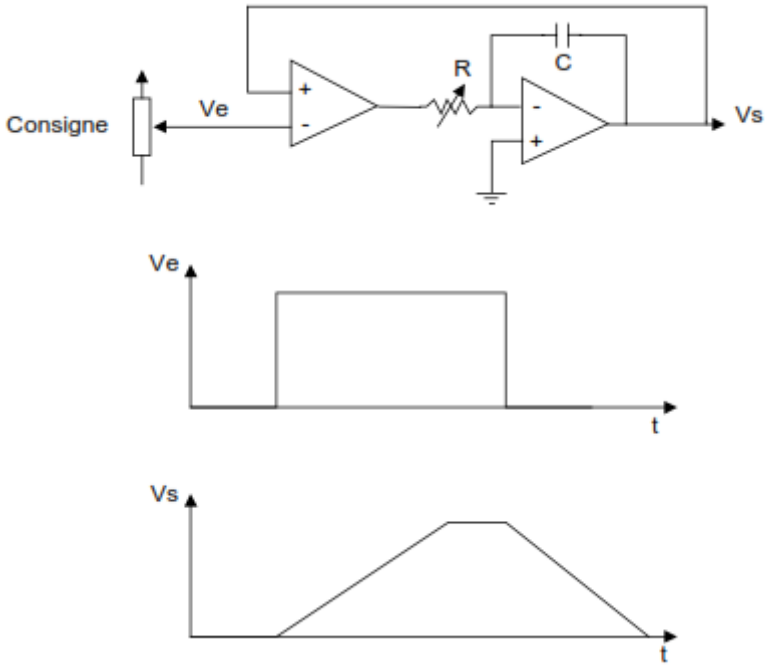
V- Régulation par génératrice tachymétrique

Celle-ci, placée en bout d'arbre du moteur, fournit une tension proportionnelle à la vitesse de rotation.
Le régulateur agit pour que cette tension (la vitesse de rotation) soit égale à la tension de consigne.
Cette méthode permet d'avoir une très grande précision, de 0,1% pour une variation de charge importante.
La Figure suivante montre les différents éléments d'une boucle de régulation utilisant une génératrice tachymétrique.



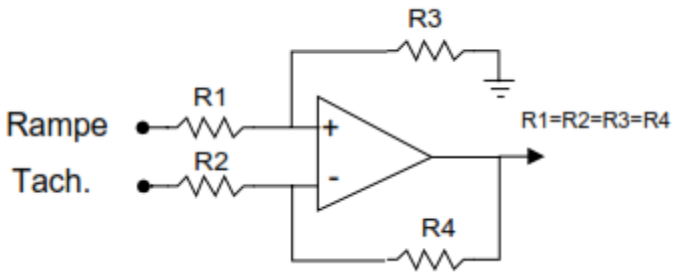
• La rampe

Cette fonction transforme un échelon de tension d'entrée en une tension de sortie variable linéaire. Elle se compose d'une façon générale d'un intégrateur rebouclé sur un comparateur.



• Le comparateur

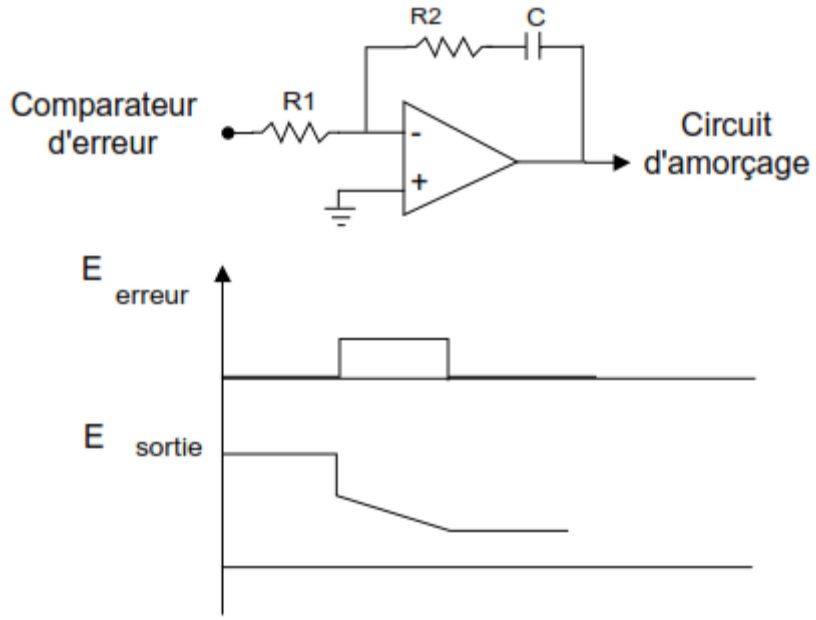
C'est un amplificateur de différence qui compare la consigne à la tension provenant de la génératrice tachymétrique. Cette différence donne l'erreur entre ces deux valeurs au régulateur



• Le régulateur

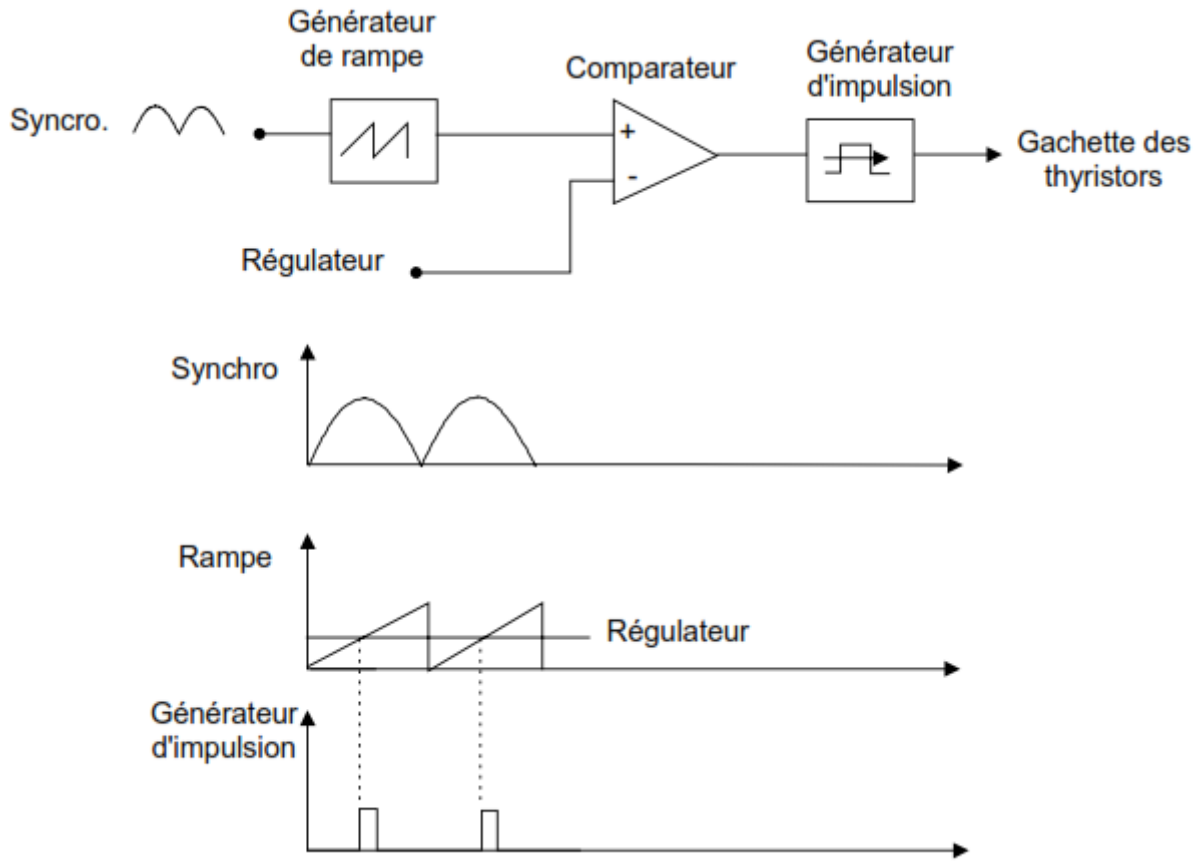
Le régulateur est de type proportionnel, intégral (PI). La partie proportionnelle permet une correction rapide de l'erreur, tandis que la partie intégrale corrige tant qu'il y a une erreur.

Cette correction agit sur le circuit d'amorçage.



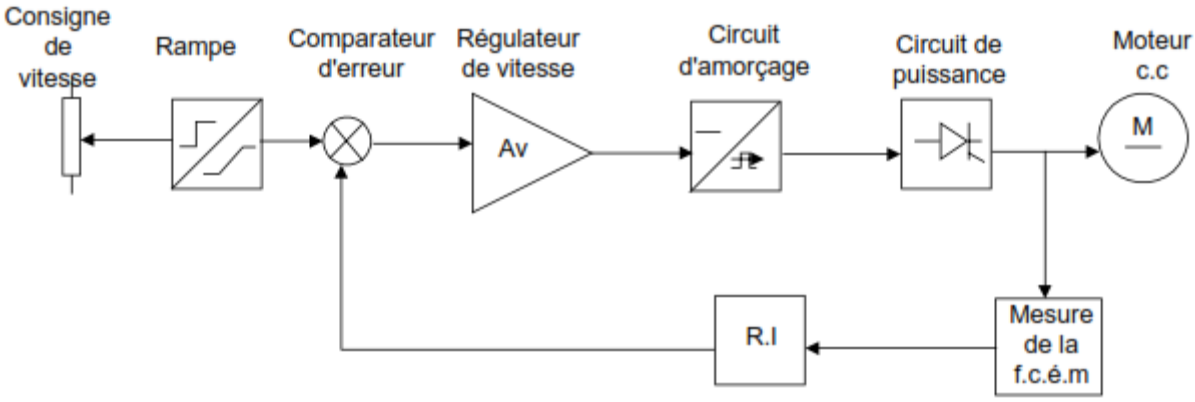
• Circuit d'amorçage

C'est un circuit qui permet d'amorcer à un moment bien précis le ou les thyristors qui alimentent le moteur. Ce circuit génère une rampe qui est synchronisée sur le secteur, celle-ci est comparée à la tension provenant du régulateur. La sortie du comparateur permet à un générateur d'impulsions de commander les thyristors avec un angle pouvant varier entre 0°et 180°.L'isolation entre le circuit d'amorçage et les thyristors se fait par transformateur d'impulsion.



VI- Régulation par tension d'armature

Avec cette méthode, la variation de vitesse est mesurée par la tension d'induit du moteur (f.c.e.m.) .
Un circuit de compensation (RI) est nécessaire à cause de la résistance interne du moteur. La précision obtenue pour la vitesse est de 1 à 2% ; la précision devient mauvaise pour les faibles vitesses. La mesure est prise à partir d'un réseau résistif ou d'une carte électronique d'isolation.



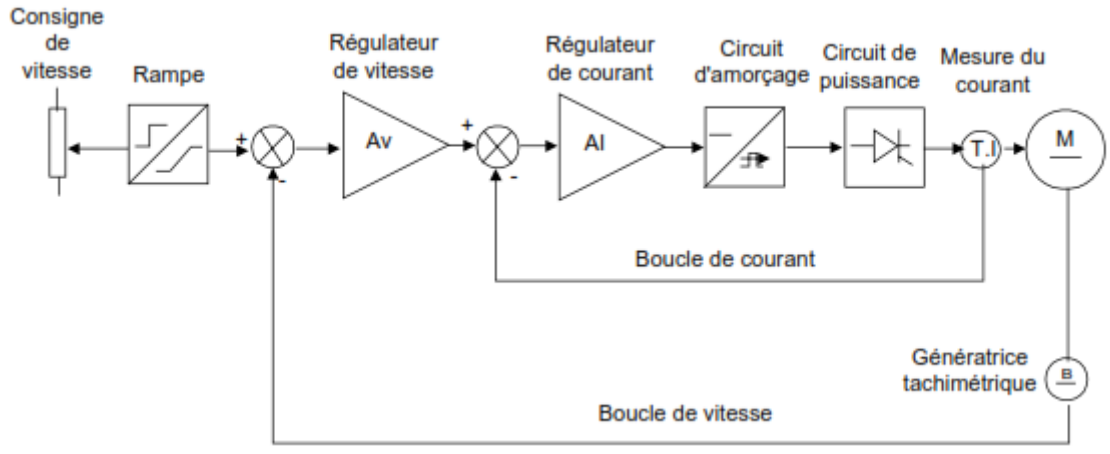
RÉGULATION PAR FORCECONTRE-ÉLECTROMOTRICE

Limitation de courant

Pour protéger le moteur contre les surcharges, un dispositif de commande maintient le courant d'induit en dessous d'une valeur limite. Lorsque la valeur limite est atteinte, les impulsions de gâchette sont retardées, entraînant une baisse de tension de sortie du pont redresseur. Cette valeur limite de courant est déterminée en fonction du couple maximal souhaité et de l'intensité maximale autorisée dans le moteur.
Les principales méthodes de mesure de courant sont :

- les transformateurs de courant alternatif ;
- les capteurs à effet Hall ;
- les résistances en série avec l'armature du moteur.

Ces dernières sont peu employées, car elles empêchent l'isolation galvanique entre le circuit de commande et celui de puissance.



ASSERVISSEMENT AVEC LIMITATION DE COURANT

TPN°1 : Variation de vitesse d'un Moteur à courant continu un quadrant avec boucle de courant.

Ce système se base sur un convertisseur à thyristors semi-contrôlé unidirectionnel monophasé.

On peut l'employer pour contrôler la vitesse de moteurs CC dans le réglage à boucle fermée et à boucle ouverte. Il fournit un contrôle de vitesse automatique et une limitation de courant grâce à la réaction d'induit (armature).

On peut aussi faire fonctionner le convertisseur en prélevant le signal de vitesse d'une dynamo tachymétrique à accoupler au moteur objet du contrôle.

L'appareil est indiqué pour être relié aux machines (moteurs) en CC de la série "POWER".

DONNEES TECHNIQUES

L'actionnement est contenu dans un boîtier métallique de table dont le panneau frontal montre le schéma synoptique sérigraphie.

Des points d'essai sont disponibles pour optimiser le système en branchant des instruments de mesure.

Indiqué pour moteurs CC ayant

- une puissance de *1,5 kW max*
- une tension continue d'armature de *220 V*
- une tension continue d'excitation de *220 V*

I- Etude théorique : Schémas et modèles en régime permanent

I-1-Mode d'excitation et schéma équivalent

I-1-1-Donner le symbole d'un moteur à excitation indépendante en distinguant l'induit et l'inducteur.

I-1-2-Remplacer les deux enroulements sur un schéma par leur modèle équivalent. En déduire les équations électriques de l'induit et de l'inducteur.

I-1-3-Reproduire le schéma synoptique du variateur on précision la fonction et le rôle de chaque bloque.

I-2- Vitesse de rotation

I-2-1-Déterminer l'expression de la vitesse de rotation en fonction de la tension d'induit, du flux magnétique et l'intensité du courant d'induit.

I-2-2-A courant constant, déduire de l'expression précédente les deux grandeurs permettant de régler la vitesse de rotation.

On maintient le flux constant

I-2-3-En pratique, comment faut-il faire pour maintenir le flux constant ?

I-2-4-Donner l'expression mathématique de $\Omega = f(U)$. Comment varie la vitesse en fonction de la FEM, Puis de la tension d'induit si la machine est alimentée à flux constant ?

I-2-5-En déduire l'intérêt d'alimenter le moteur à courant continu à flux constant.

On maintient maintenant la tension d'induit constante et le flux est réglable.

I-2-6-En pratique, quelle grandeur électrique faut-il régler dans ce mode de fonctionnement ?

I-2-7-Donner l'expression mathématique de $\Omega = f(\Phi)$. Comment varie la vitesse en fonction du flux magnétique ?

I-2-8-Pourquoi ce mode de réglage de la vitesse de rotation est-il moins simple que le réglage par la tension d'induit ?

I-3- Influence de la charge

I-3-1-Donner un schéma représentant les différents organes mis en jeu.

I-3-2-Que vaut la vitesse à l'instant du démarrage ? En déduire la valeur de la fem, puis l'expression de la tension de démarrage en fonction de l'intensité du courant d'induit appelé et de la résistance de l'induit.

I-3-3-Donner l'expression du moment du couple électromagnétique en fonction du courant d'induit. Donner l'expression du moment du couple utile en fonction du couple électromagnétique. Quel organe impose la valeur du moment du couple utile ? En déduire quel organe impose la valeur de l'intensité du courant d'induit.

I-3-4-Quand la charge (moment du couple) augmente que se passe-t-il pour la vitesse de rotation ? Justifier votre réponse à l'aide de l'expression obtenue au I-2-1.

II- Manipulation

II-1- Fonctionnement à vide (A flux nominal constant)

Le moteur fonctionne à vide à excitation indépendant constante.

II-1-1- Que signifie « fonctionnement à vide » ?

II-1-2- Montrer que l'intensité du courant à vide est faible devant l'intensité du courant nominal.
En déduire une expression approchée de la valeur de la vitesse à vide.

Nous allons relever les variations de la fréquence de rotation (en $tr.min^{-1}$) en fonction de la valeur de la tension d'induit.

II-1-3- Rappeler l'expression mathématique de la relation entre la vitesse de rotation et la fréquence de rotation.

II-1-4- Quel organe, sur le banc moteur dont vous disposez, permet de mesurer la fréquence de rotation ?

II-1-5- Pour la manipulation, il faut mesurer la tension d'induit, l'intensité d'induit et la fréquence de rotation. Faire un schéma complet de la manipulation.

II-1-6- Expliquer le mode opératoire à respecter. Quelle partie du moteur faut-il alimenter en premier ? Quelle partie du moteur est alimentée à tension constante ? Quelle partie du moteur est alimentée à tension réglable ?

II-1-7- Remplir le tableau de mesure ci-dessous :

Tension d'induit *U (V)*	0		$0,1.U_N$	$0,2.U_N$	$0,3.U_N$	$0,4.U_N$	$0,5.U_N$	$0,6.U_N$	$0,7.U_N$	$0,8.U_N$	$0,9.U_N$	U_N	$1,1.U_N$
Fréquence de rotation *n (tr/min)*		Instant du démarrage											

II-1-8- Tracer la courbe $n = f(U)$.

II-1-9- Quel type de courbe obtient-on ? Quel est l'intérêt d'alimenter le moteur à tension d'induit réglable ?

II-1-10- Que vaut la tension aux bornes de l'induit à l'instant du démarrage ? Comparer avec la valeur de la tension d'induit nominale. Conclure.

II-1-11- Calculer le coefficient directeur de la droite obtenue. En déduire la valeur de $K\Phi_N$.

II-2- Fonctionnement en charge (A flux nominal constant)

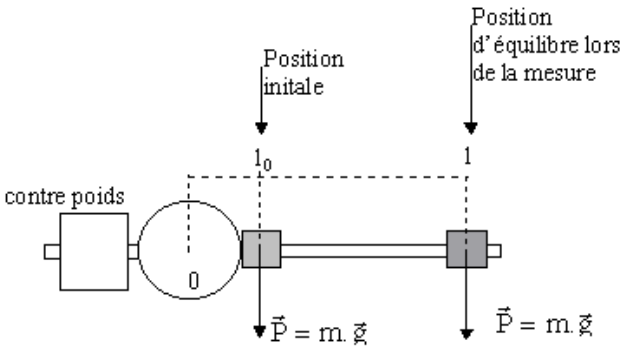
Le moteur fonctionne sous charge nominale à excitation indépendant constante.

II-2-1- Que signifie ici « fonctionnement sous charge nominale » ?

II-2-2- Ecrire l'expression de la vitesse de rotation en fonction de *U*.

Nous allons relever les variations de la fréquence de rotation (en $tr.min^{-1}$) en fonction de la valeur de la tension d'induit. Le moteur est chargé par l'intermédiaire d'un **dynamo-balance**.

La dynamo-balance est une machine à courant continu dont le stator, monté sur roulements, est muni d'un bras de levier. On peut alors mesurer le moment du couple mécanique. Il est alors égal au produit $m.g.(l-l_o)$. Poids: 10N.



II-2-3- Rappeler l'expression mathématique entre la vitesse de rotation et la fréquence de rotation.
En déduire l'expression de la fréquence de rotation en fonction de U.

II-2-4- Pour la manipulation, il faut mesurer la tension d'induit, l'intensité d'induit et la fréquence de rotation. Faire un schéma complet de la manipulation contenant aussi le frein à poudre.

II-2-5- Expliquer le mode opératoire à respecter. Quelle partie du moteur faut-il alimenter en premier ? Quelle partie du moteur est alimentée à tension constante ? Quelle partie du moteur est alimentée à tension réglable ? Comment règle-t-on la charge à sa valeur nominale ?

II-2-6- Remplir les tableaux de mesure ci-dessous pour ***I=In et I=In/2*** :

Tension d'induit *U (V)*	0		*0,1.U_N*	*0,2.U_N*	*0,3.U_N*	*0,4.U_N*	*0,5.U_N*	*0,6.U_N*	*0,7.U_N*	*0,8.U_N*	*0,9.U_N*	*U_N*	*1,1.U_N*
Fréquence de rotation *n (tr/min)*		Instant du démarrage											

II-2-7- Tracer la courbe n = f(U) sur le même graphique que pour l'essai à vide.

II-2-8- Quel type de courbe obtient-on ? Comparer avec la caractéristique obtenue à vide ?

II-2-9- Que vaut la tension aux bornes de l'induit à l'instant du démarrage ? Comparer avec la valeur obtenue à vide. Conclure. En déduire la valeur de la résistance de l'induit.

II-2-10- Calculer le coefficient directeur de la droite obtenue. En déduire la valeur de $K\Phi_N$ Comparer avec la valeur obtenue à vide.

II-2-11- Comparer la stabilité et la précision pour le variateur à boucle ouverte et boucle fermé.

II-3- Fonctionnement en charge à tension d'induit nominale constante (A flux nominal constant)

Le moteur fonctionne sous charge variable et tension d'alimentation réglable à excitation indépendant constante,

II-3-1- Relever sur papier millimètres les allures des différents points de la boucle de courant et de tension pour deux valeurs de courants In/2 et In ainsi que l'allure de la tension au borne de l'induit à l'aide de l'oscilloscope.

II-3-2- Remplir les tableaux de mesure ci-dessous pour ***U=Un et U=Un/2*** :

Courant d'induit *I (A)*	0												
Fréquence de rotation *n (tr/min)*													
Couple (Nm)													
Puissance utile Pu(W)													
Puissance Absorber Pa(W)													
Rendement η=Pu/Pa													

II-3-3- Tracer les courbes n = f(Γ), Pu = f(Γ) et η= f(Γ) pour les deux essais.

II-3-4- Conclure,

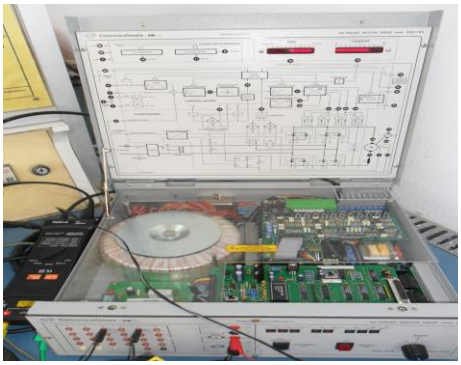
Stands de TPN°2 : Variation de vitesse d'un Moteur à courant continu deux quadrants avec boucle de courant et boucle de vitesse.

Buts du TP : le but de ce TP est l'étude de l'entraînement dans les deux sens du moteur à courant continu à base d'un convertisseur à thyristors semi-contrôlé unidirectionnel monophasé (2xPD2 mixte) dans le réglage à boucle fermée. Il fournit un contrôle de vitesse automatique et une limitation de courant grâce à la réaction d'induit (armature). On prélèvera les caractéristiques suivantes :

** n = f(U) pour I=0, I=In et I=In/2 (A flux nominal constant)*

** n = f(Γ), Pu = f(Γ) et η= f(Γ) pour U=±Un et U=±Un/2 (A flux nominal constant)*

Equipement nécessaire :



Variateur 4Q pour Moteur à C-C, Ua_N=170v, Uex=190v et P=700W

Moteur à C-C, U_N=170v, I_N=3,9A N=3000tr/mn, U_{ex}=190v et I_{ex}=0,31

Appareils de mesure Voltmètre- ampermetr

Multimètre numérique

Frein à courant parasite V= 0 à 220v, I= 0 à 2A ,N=3000tr/mn et Γ_{max}=±1,5Nm

Générateur de tension à C-C U= 0 à 220v, I= 0 à 3A

Tachymètre

Oscilloscope à deux voies

Sonde de tension à effet Hall

Sonde de tension et de courant à effet Hall

TPN°2 : Variation de vitesse d'un Moteur à courant continu quatre quadrants avec boucle de courant et boucle de vitesse.

Le moteur CC-SHUNT est un moteur à courant continu dans lequel le champ rotorique est généré par un circuit d'excitation externe, de façon à pouvoir obtenir un champ constant ou variable selon un certain profil. L'actionnement pour moteur CC-SHUNT présent dans l'équipement mod. DSD1/EV est de type CA/CC avec thyristors.

Cet actionnement a été, dans l'histoire, le premier des actionnements CC et il reste toutefois d'actualité: en effet, sa robustesse, son coût réduit si l'on considère les puissances commandées et ses domaines d'application font de cet actionnement un produit irremplaçable pour l'industrie. Dans le cadre d'un atelier de servomécanismes, le système mod. DSD1/EV est l'instrument nécessaire à l'étude théorique et pratique de haut niveau des thèmes concernant les actionnements CA/CC à thyristors pour moteurs CC-SHUNT.

La puissance de l'actionnement, les solutions adoptées pour l'ensemble des circuits et les composants utilisés permettent la réalisation du programme de formation sur un produit totalement industriel et pas sur un système à échelle réduite

ACTIONNEMENT POUR MOTEUR CC-SHUNT mod. DSD1/EV

Le système mod. DSD1/EV est essentiellement constitué comme suit:

- Un actionnement industriel unidirectionnel pour moteur CC-SHUNT avec excitation séparée
- Une unité externe représentée par le moteur CC-SHUNT avec excitation séparée

L'actionnement est installé dans la structure EDUBOX®,un système de présentation didactique innovateur alliant l'efficacité de la démonstration à la fonctionnalité opérationnelle.

Cette structure compacte comprend:

- Le circuit électronique de l'équipement
- Un schéma synoptique avec diagramme à blocs détaillé
- Un panneau avec commandes, signalisations et points de mesure
- Un simulateur de pannes non destructives

Outre le moteur CC-SHUNT, l'unité externe est équipée d'une dynamo tachymétrique de transduction.
L'actionnement peut être connecté à l'unité externe au moyen d'un câble à 8 pôles.
En outre, une carte dédiée présente à bord de l'équipement mod. DSD1/EV permet la mise en interface avec un ordinateur, à travers un port parallèle, pour effectuer des expériences d'acquisition de données et de supervision de processus.

SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES:

- Structure de montage EDUBOX®
- Schéma synoptique des différents blocs des circuits composant le système
- Points d'essai et de mesure
- 2 Indicateurs bar-graph pour vitesse et courant
- Panneau de commande externe avec interrupteurs et potentiomètre rotatif

Alimentation: 230 Vca 50 Hz monophasée - 1,5 kVA

CARACTÉRISTIQUES DE L'ACTIONNEMENT:

- Point de consigne de la vitesse pouvant être établi au moyen d'un potentiomètre ou par ordinateur
- Gamme de réglage de la vitesse: de 0 à 3000 tr/min
- Tension de champ obtenue de façon interne et égale à 190 V
- Étage de puissance redresseur monophasé semi-contrôlé avec 2 thyristors et 2 diodes de puissance
- Temps de rampe max.: 5 s
- Contrôle: bidirectionnel 4Q
- Diagnostic à diodes DEL: alimentation, limite de courant

CARACTÉRISTIQUES DE L'UNITÉ MOTEUR:

- Support métallique
- Moteur CC à rotor enroulé et excitation séparée
- Dynamo tachymétrique calée sur l'arbre moteur
- Tension nominale d'induit: 160 V
- Puissance nominale: 700 VA
- Vitesse nominale: 3000 tr/min

I- Etude théorique : Schémas et modèles en régime permanent

I-1- Mode d'excitation et schéma équivalent

I-1-1-Donner le symbole d'un moteur à excitation indépendante en distinguant l'induit et l'inducteur.

I-1-2-Remplacer les deux enroulements sur un schéma par leur modèle équivalent. En déduire les équations électriques de l'induit et de l'inducteur.

I-1-3-Reproduire le schéma synoptique du variateur on précision la fonction et le rôle de chaque bloque.

I-2- Vitesse de rotation

I-2-1-Déterminer l'expression de la vitesse de rotation en fonction de la tension d'induit, du flux magnétique et l'intensité du courant d'induit.

I-2-2-A courant constant, déduire de l'expression précédente les deux grandeurs permettant de régler la vitesse de rotation.

On maintient le flux constant

I-2-3-En pratique, comment faut-il faire pour maintenir le flux constant ?

I-2-4-Donner l'expression mathématique de $\Omega = f(U)$. Comment varie la vitesse en fonction de la FEM, puis de la tension d'induit si la machine est alimentée à flux constant ?

I-2-5-En déduire l'intérêt d'alimenter le moteur à courant continu à flux constant.

On maintient maintenant la tension d'induit constante et le flux est réglable.

I-2-6-En pratique, quelle grandeur électrique faut-il régler dans ce mode de fonctionnement ?

I-2-7-Donner l'expression mathématique de $\Omega = f(\Phi)$. Comment varie la vitesse en fonction du flux magnétique ?

I-2-8-Pourquoi ce mode de réglage de la vitesse de rotation est-il moins simple que le réglage par la tension d'induit ?

I-3- Influence de la charge

I-3-1-Donner un schéma représentant les différents organes mis en jeu.

I-3-2-Que vaut la vitesse à l'instant du démarrage ? En déduire la valeur de la fem, puis l'expression de la tension de démarrage en fonction de l'intensité du courant d'induit appelé et de la résistance de l'induit.

I-3-3-Donner l'expression du moment du couple électromagnétique en fonction du courant d'induit. Donner l'expression du moment du couple utile en fonction du couple électromagnétique. Quel organe impose la valeur du moment du couple utile ? En déduire quel organe impose la valeur de l'intensité du courant d'induit.

I-3-4-Quand la charge (moment du couple) augmente que se passe-t-il pour la vitesse de rotation ? Justifier votre réponse à l'aide de l'expression obtenue au I-2-1.

II- Manipulation

II-1- Fonctionnement à vide (A flux nominal constant)

Le moteur fonctionne à vide à excitation indépendant constante.

II-1-1- Que signifie « fonctionnement à vide » ?

II-1-2- Montrer que l'intensité du courant à vide est faible devant l'intensité du courant nominal.
En déduire une expression approchée de la valeur de la vitesse à vide.

Nous allons relever les variations de la fréquence de rotation (en $tr.min^{-1}$) en fonction de la valeur de la tension d'induit.

II-1-3- Rappeler l'expression mathématique de la relation entre la vitesse de rotation et la fréquence de rotation.

II-1-4- Quel organe, sur le banc moteur dont vous disposez, permet de mesurer la fréquence de rotation ?

II-1-5- Expliquer le mode opératoire à respecter pour inverser le sens de rotation d'un moteur à C-C.

II-1-6- Pour la manipulation, il faut mesurer la tension d'induit, l'intensité d'induit et la fréquence de rotation. Faire un schéma complet de la manipulation.

II-1-7- Expliquer le mode opératoire à respecter. Quelle partie du moteur est alimentée à tension constante ? Quelle partie du moteur est alimentée à tension réglable ?

II-1-8- Remplir le tableau de mesure ci-dessous :

Tension d'induit *U (V)*	$-U_N$					*0*							U_N
Fréquence de rotation *n (tr/min)*													

II-1-9- Tracer la courbe $n = f(U)$.

II-1-10- Quel type de courbe obtient-on ? Quel est l'intérêt d'alimenter le moteur à tension d'induit réglable ?

II-1-11- Que vaut la tension aux bornes de l'induit à l'instant du démarrage ? Comparer avec la valeur de la tension d'induit nominale. Conclure.

II-1-12- Calculer le coefficient directeur de la droite obtenue. En déduire la valeur de $K\Phi_N$.

II-2- Fonctionnement en charge (A flux nominal constant)

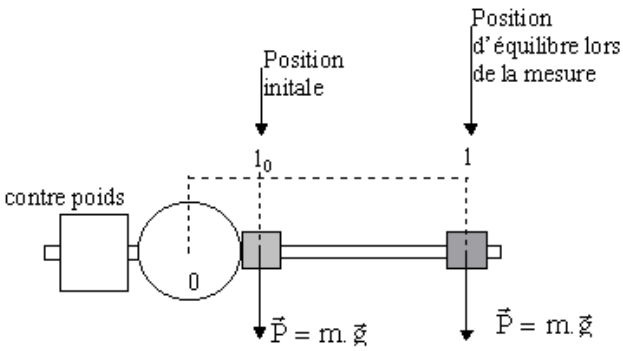
Le moteur fonctionne sous charge nominale à excitation indépendant constante.

II-2-1- Que signifie ici « fonctionnement sous charge nominale » ?

II-2-2- Ecrire l'expression de la vitesse de rotation en fonction de *U*.

Nous allons relever les variations de la fréquence de rotation (en $tr.min^{-1}$) en fonction de la valeur de la tension d'induit. Le moteur est chargé par l'intermédiaire d'un **dynamo-balance**.

La dynamo-balance est une machine à courant continu dont le stator, monté sur roulements, est muni d'un bras de levier. On peut alors mesurer le moment du couple mécanique. Il est alors égal au produit $m.g.(l-l_o)$. Poids: 10N.



II-2-3- Rappeler l'expression mathématique entre la vitesse de rotation et la fréquence de rotation.

En déduire l'expression de la fréquence de rotation en fonction de U.

II-2-4- Pour la manipulation, il faut mesurer la tension d'induit, l'intensité d'induit et la fréquence de rotation. Faire un schéma complet de la manipulation contenant aussi le frein à poudre.

II-2-5- Expliquer le mode opératoire à respecter. Quelle partie du moteur faut-il alimenter en premier ? Quelle partie du moteur est alimentée à tension constante ? Quelle partie du moteur est alimentée à tension réglable ? Comment règle-t-on la charge à sa valeur nominale ?

II-2-6- Remplir les tableaux de mesure ci-dessous pour ***I=In et I=In/2*** :

Tension d'induit *U (V)*	$-U_N$						0						U_N
Fréquence de rotation *n (tr/min)*													

II-2-7- Tracer la courbe n = f(U) sur le même graphique que pour l'essai à vide.

II-2-8- Quel type de courbe obtient-on ? Comparer avec la caractéristique obtenue à vide ?

II-2-9- Calculer le coefficient directeur de la droite obtenue. En déduire la valeur de $K\Phi_N$ comparer avec la valeur obtenue à vide.

II-2-10- Comparer la stabilité et la précision pour le variateur à boucle ouverte et boucle fermé.

II-3- Fonctionnement en charge à tension d'induit nominale constante (A flux nominal constant)

Le moteur fonctionne sous charge variable et tension d'alimentation réglable à excitation indépendant constante,

II-3-1- Relever sur papier millimètres les allures des différents points de la boucle de courant et de tension pour deux valeurs de courants In/2 et In ainsi que l'allure de la tension au borne de l'induit à l'aide de l'oscilloscope.

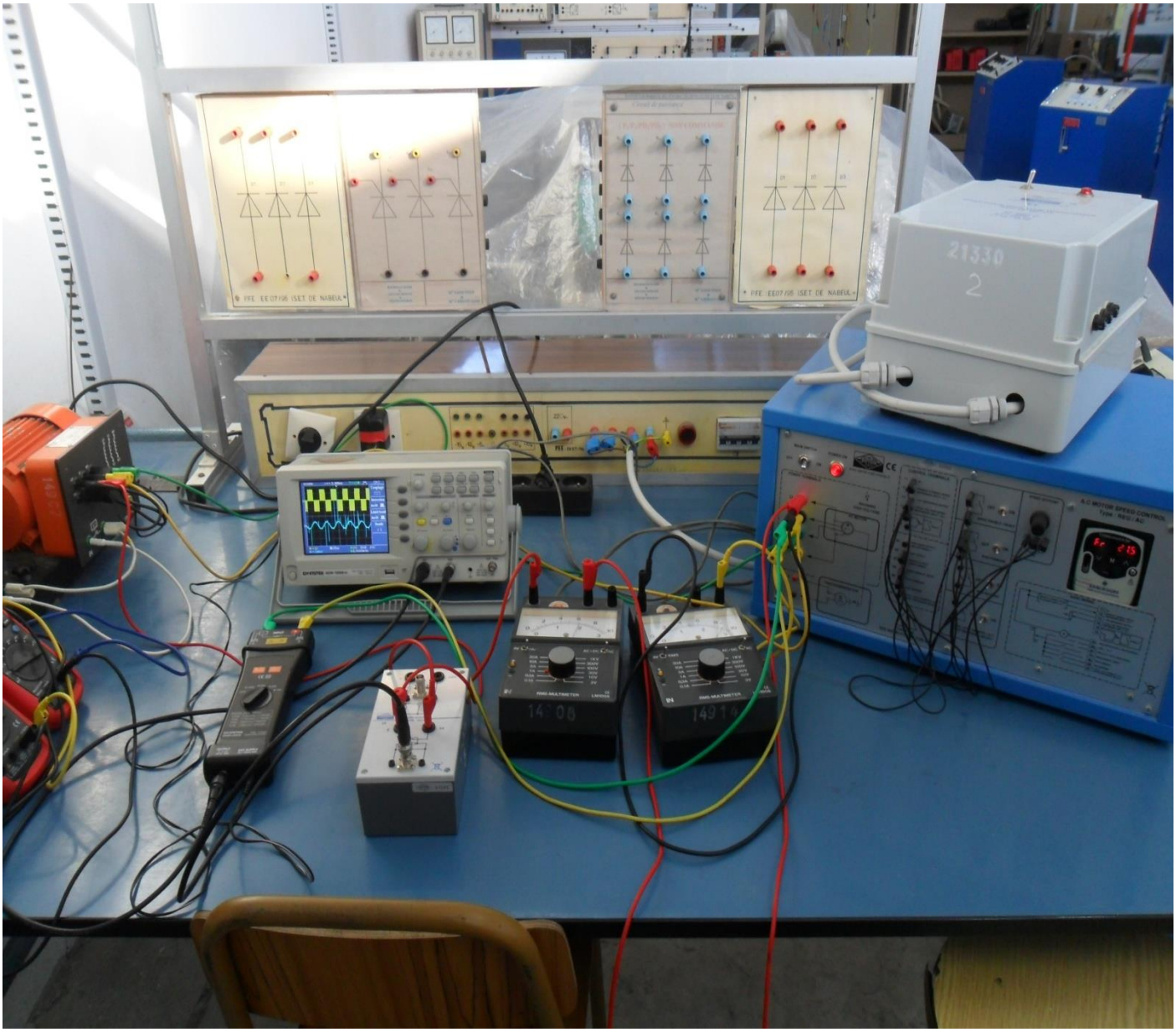
II-3-2- Remplir les tableaux de mesure ci-dessous pour ***U=Un, U=Un/2, U= -Un et U= -Un/2*** :

Courant d'induit *I (A)*	0												
Fréquence de rotation *n (tr/min)*													
Couple (Nm)													
Puissance utile Pu(W)													
Puissance Absorber Pa(W)													
Rendement η=Pu/Pa													

II-3-3- Tracer les courbes n = f(Γ), Pu = f(Γ) et η= f(Γ) pour les quatre essais.

II-3-4- Conclure,

Stands de TPN°3 : Variateur pour moteur asynchrone par variateur Commander SK



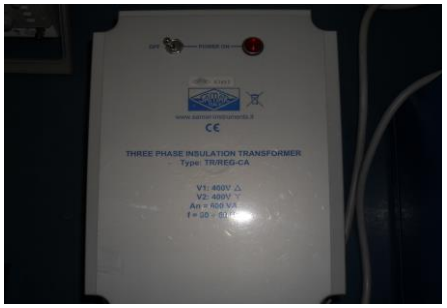
Buts du TP : Le but de l'étude expérimentale est d'étudier les performances d'un variateur à commande vectorielle ***Commander SK*** d'un moteur à courant alternatif triphasé asynchrone.
Cette manipulation sera également l'occasion de se familiariser avec des systèmes industriels.

On prélèvera les caractéristiques suivantes :

* $n = f(f)$, $U_{moteur\ eff} = f(f)$, $I_{moteur\ eff} = f(f)$ pour $\Gamma = 0$, $\Gamma = \Gamma_{un}/2$ et $\Gamma = \Gamma_{un}$
* $n = f(\Gamma)$, $U_{moteur\ eff} = f(\Gamma)$ et $I_{moteur\ eff} = f(\Gamma)$ pour $f = 5Hz$, $f = 25Hz$ et $f = 50Hz$:

Equipement nécessaire :

Variateur de vitesse Moteur à C-A, ***Commander SK 0,3KW***



Transformateur d'isolement 400/400v, S=600VA.

Appareils de mesure Voltmètre- ampermetr

Multimètres numériques

Moteur à C-A, U_N=400v, cosφ = 0,85 N=2800tr/mn, P=300w

Frein à poudre avec capteur de vitesse (1v/1000tr/mn) et capteur de couple (1v/1Nm)

Oscilloscope à deux voies

Sonde de tension à effet Hall

Sonde de tension et de courant à effet Hall

Rappel théorique sur la commande des moteurs à courant continu (TPN°3 & TPN°4)

I- Généralités sur la variation de vitesse

I-1- Historique de la vitesse variable

La machine à courant continu a été la première machine électrique industrielle. Elle a été très utilisée pour la vitesse variable car sa commande est très simple à réaliser. Ses deux équations fondamentales sont :

$$E = k\Phi\Omega \qquad et \qquad \vec{\Gamma} = \vec{M} \wedge \vec{B}$$

E : FEM de l'induit (V),

Φ : Flux sous un pôle (Wb), avec *Φ = f(j)* où *j* est le courant d'excitation,

Ω : Vitesse angulaire du rotor (rad.s-1).

Γ : Couple électromagnétique (Nm),

M : Moment magnétique de l'induit proportionnel à l'intensité *I (A.m²)*,

B : Champ magnétique à l'intérieur de la machine avec *B = f(j).*

$$\vec{\Gamma} = \vec{M} \wedge \vec{B} \quad peut\ aussi\ s'écrire \quad \vec{\Gamma} = k(\vec{I} \wedge \vec{\Phi})$$

K : Constante de couple ou de fem de la machine (*u.s.i.*)

I : Courant dans l'induit,

Dans la machine à courant continu I et Φ sont toujours indépendants et en quadrature.

Le couple s'écrit tout simplement : $\Gamma = k\Phi I$

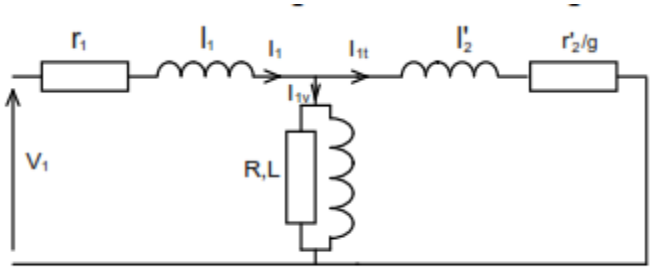
La machine à courant continu est donc naturellement une machine à pilotage vectoriel

I-2- Intérêt de la machine asynchrone

La machine asynchrone à cage est une machine robuste et peu onéreuse aussi bien à l'achat qu'à la maintenance, contrairement à la machine à courant continu. Son utilisation est quasiment universelle.
Son intérêt est tel que de nombreux moyens ont été utilisés pour faire varier sa vitesse : machine à rotor bobiné, action sur la tension d'alimentation, cascade hypo-synchrone etc. Mais seule la machine à courant continu pilotée par un variateur de vitesse a permis dans un premier temps de réaliser un véritable contrôle des paramètres vitesse et couple de manière fiable et peu onéreuse.
L'évolution de l'électronique de puissance et des calculateurs numériques lui permet maintenant de concurrencer la machine à courant continu dans ses applications à vitesse variable.
Les variateurs de vitesse pour machines asynchrones triphasées sont des convertisseurs de fréquence qui permettent de modifier la vitesse d'un moteur à cage en alimentant son stator à tension et fréquence variables, à partir du réseau STEG triphasé à tension et fréquence fixes.
La première application a été la commande scalaire ou commande en U/f.
La deuxième application est la commande vectorielle qui permet le contrôle séparé du couple et la vitesse

II- La commande scalaire

II-1- Schéma équivalent d'une phase vue du stator.



avec $r'_2 = r_2/M^2$ et $l'_2 = l_2/M^2$

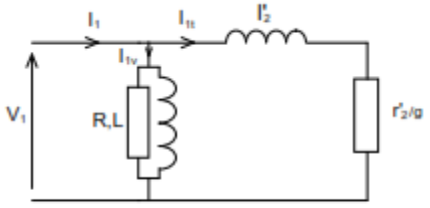


Schéma simplifié : on néglige la résistance r_1 et l'inductance de fuite l_1 de l'enroulement statorique

II-2- Expression du couple électromagnétique

$$\Gamma_m = \frac{3(MV_1)^2}{\Omega_s} \times \frac{r_2 g}{r_2^2 + (l_2 g \omega_s)^2} \qquad \text{avec} \quad \Gamma_{max} = \frac{3(MV_1)^2}{\Omega_s} \times \frac{1}{2 l_2 \omega_s}$$

Le couple moteur est proportionnel au carré de la tension et inversement proportionnel au carré de la fréquence

$$\Gamma_m = k\, U^2 \quad \text{et} \quad \Gamma_m = k' / f^2$$

Pour maintenir le couple maximal fourni par le moteur asynchrone constant il faut donc que le rapport V_1/f et donc U/f reste constant.

II-3- Principe de la variation de vitesse

Si la fréquence f des courants statoriques varie, alors la vitesse ns du champ tournant et la vitesse de rotation *n* varient : [*ns = f / p ; n = ns (1 - g)*].

Le variateur devra donc faire varier simultanément la valeur efficace et la fréquence de la tension statorique pour que *n* varie sans modification des performances mécaniques de la machine.

Le champ maximal *Bm* sera alors constant (***U = 4,44 NfBmS : relation de Boucherot***).

Le courant magnétisant $\boldsymbol{I_1v}$ est donné par le théorème d'Ampère $\boldsymbol{H_l = NI_1v}$.

Pour garder ses performances en couple, le variateur doit satisfaire la condition *U/f* = constante.

Le ***Commander SK*** fait varier la fréquence et la tension proportionnellement tant que la tension est inférieure à la tension nominale, puis maintient celle-ci constante alors que *f* continue d'augmenter jusqu'à sa valeur maximale.

Le système fonctionne en boucle ouverte.

II-4- Limites de fonctionnement

Ce modèle est valable tant que la chute de tension statorique est négligeable, ce qui n'est plus le cas à faible vitesse et forte charge.

III- La commande vectorielle

III-1- Principe

La relation $\overrightarrow{\Gamma} = \overrightarrow{M} \wedge \overrightarrow{B}$ *peut aussi s'écrire* $\overrightarrow{\Gamma} = k(\vec{I} \wedge \overrightarrow{\Phi})$ est valable pour tous les types de machines et donc en particulier pour la machine asynchrone.

La difficulté pour cette machine sera de distinguer le courant producteur de flux I_1v du courant producteur de couple I_1t puisque ces deux courants s'ajoutent pour créer le courant total I_1 absorbé par le stator.

C'est le rôle du calculateur interne qui, à l'aide d'une transformation mathématique appelée transformation de PARK, calcule le courant créateur de couple I_q et le courant créateur de flux I_d nécessaires à la vitesse et au couple demandés puis à l'aide de la transformation inverse calcule les courant réels qui doivent circuler au stator.

Le système fonctionne avec deux boucles d'asservissement, l'une pour la vitesse et l'autre pour le courant.

III-2- Limites de fonctionnement

Le variateur à commande vectorielle permet d'obtenir avec un moteur asynchrone à cage standard les mêmes performances qu'avec une machine à courant continu.

Le couple peut être réglé à la valeur désirée sur toute la plage de variation de vitesse en marche avant et arrière y compris à vitesse nulle.

IV- Généralités sur les systèmes variateur-moteur

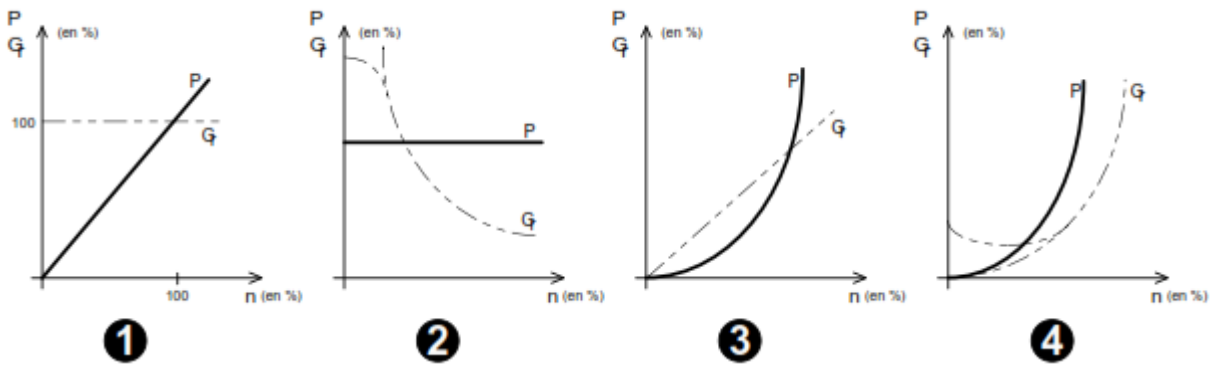
IV-1- Choix d'un système [variateur-moteur]

La détermination des éléments d'un système impose la connaissance des caractéristiques :

- couple résistant en fonction de la vitesse $\Gamma_r = f(n)$;
- puissance en fonction de la vitesse de la machine entraînée (charge inertielle) P = f(n).
- plage de variation de vitesse

On distingue quatre types essentiels de charges

1) **à Γr constant** et *P = k n (P = ΓΩ)* : engins de levage (ponts élévateurs, treuils, télécabines,...)
2) **à Γr hyperbolique**, *Γr = k / n et P* constante : machines-outils, compresseurs, pompes à pistons, enrouleurs, tronçonneuses,...
3) **à Γr linéaire, croissant**, *Γr = k n et P* parabolique $P = k\,n^2$: pompes hélicoïdales,...
4) **à Γr croissant parabolique**, $\Gamma r = k\,n^2$ *et* $P = k\,n^2$: machines centrifuges (pompes, ventilateurs,...)

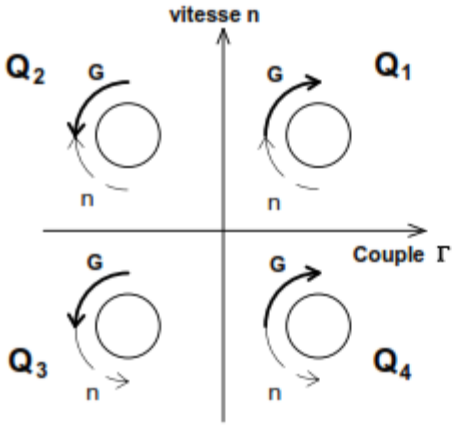


L'ensemble moteur-machine entraînée présente :

► un moment d'inertie *J (kg.m²)* qui intervient dans l'étude des régimes transitoires (démarrage, arrêt), mais pas en régime établi ;

► un couple résistant *Γr* variable avec la vitesse, ou le temps. En régime établi, à vitesse constante, le couple moteur *Γm* équilibre le couple résistant : *Γm = Γr*.

IV-2- Le fonctionnement 4 quadrants

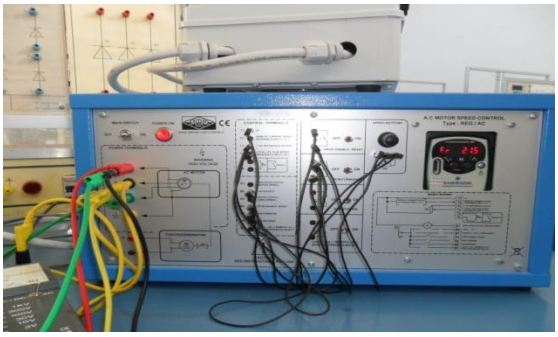


Type de fonctionnement		Couple Γ	Vitesse n	Produit Γx n	Quadrant
n →	moteur	+	+	+	1
	générateur	-	+	-	2
n ←	moteur	-	-	+	3
	générateur	+	-	-	4

Dans les quadrants Q_1 et Q_3 le moteur fournit une puissance motrice (*n* et *Γ* sont de même sens).

Dans les quadrants Q_2 et Q_4 le moteur absorbe une puissance mécanique fournie par la charge entraînante (marche en freinage, par exemple dans le mouvement de descente de la charge pour les engins de levage quand *nr* > *n* de consigne). Le moteur fonctionne en générateur.

TPN°3 : Variateur pour moteur asynchrone par variateur Commander SK

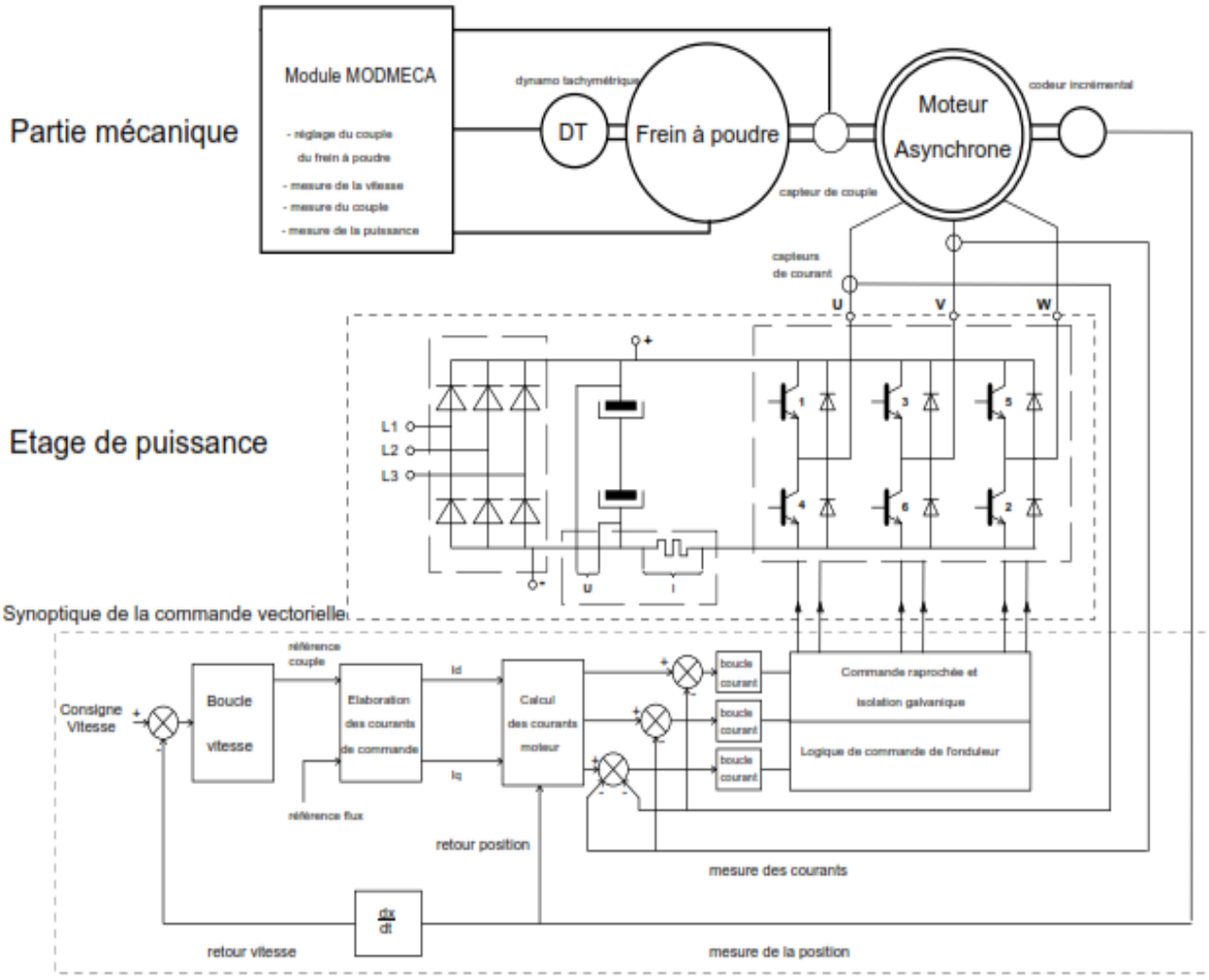


I- Etude du variateur Commander SK

Il est indispensable de lire le paragraphe « ETUDE THEORIQUE » « Généralités sur la variation de vitesse » avant toute manipulation.

I.1 Présentation du Variateur avec la charge

I.1.1 Diagramme de principe du variateur à contrôle vectoriel



I.1.2 Description du banc de charge

La charge du moteur asynchrone est un frein à poudre qui permet un réglage aisé du couple résistant.

Le réglage du couple résistant fourni par le frein à poudre est effectué par le module MODMEC a qui assure également l'affichage du couple Γ et de la vitesse n. Ces mesures sont rendues possibles par l'emploi d'un capteur de couple rotatif à jauge de contrainte et d'une dynamo tachymétrique.

II- Étude expérimentale sur le variateur Commander SK

<u>Le variateur devra être remis en configuration usine avant la manipulation</u>

II-1 Appareils de mesure

I_{moteur} et U_{moteur} seront mesurés respectivement par un ampèremètre (AC) et un voltmètre (AC).

Les tensions seront visualisées à l'aide de la sonde de tension atténuatrice par 200.

Les courants seront visualisés à l'aide d'une pince à effet Hall d'un calibre 50A, en position 100 mV/A.

II-2 Réglage des paramètres du variateur

II-2-1- Relever les grandeurs nominales du moteur.

II-2-2- En vous reportant à la notice constructeur (Guide d'utilisation avancée Commander SK), relever Les paramètres nécessaires à la configuration du variateur et à son adaptation au moteur asynchrone.

II-2-3- Configurer le variateur pour ce moteur. On réglera en particulier les vitesses extrémales.

II-2-4-Vérifier que le variateur est en fonctionnement manuel.

II-2-5- Déverrouiller le variateur à l'aide du paramètre b_{02} de l'interrupteur du pupitre de commande manuel.

II-3- Essai en charge à couple constant

Le couple sera réglé à $\Gamma = 0$, $\Gamma = \Gamma_{un}/2$ et $\Gamma = \Gamma_{un}$ par potentiomètre sur le module du frein à poudre.

II-3-1- Régler le variateur de façon à lui faire afficher en permanence la fréquence électrique des courants statoriques.

II-3-2- Pour la manipulation, il faut mesurer et visualiser la tension (Ueff) et l'intensité (Ieff) statorique et mesurer la fréquence de rotation (n) ainsi que le couple du moteur (Γ). Faire un schéma complet de la manipulation contenant aussi le frein à poudre (**Le frein à poudre** est associé à un capteur de force qui permet l'acquisition du moment du couple résistant qui, en régime établi, est égal au moment du couple utile).

II-3-3- Expliquer le mode opératoire à respecter. Quelle partie du moteur est alimentée à tension réglable ? Comment règle-t-on la charge à sa valeur nominale ?

II-3-4- Visualiser et tracer pour f = 25 Hz et 50 Hz : $u_{moteur}(t)$ et $i_{moteur}(t)$.

II-3-5- Remplir les tableaux de mesures ci-dessous pour $\Gamma = 0Nm$, $\Gamma = \Gamma_{un}/2$ et $\Gamma = \Gamma_{un}$:

Fréquence f (Hz)	0												60
Courant moteur Ieff (A)													
tension moteur Ueff (A)													
Fréquence de rotation n (tr/min)													

II-3-6- Tracer pour 0 Hz < f < 60 Hz sur le même papier les courbes :

- ► $U_{moteur\ eff}$ en fonction de f ;
- ► $I_{moteur\ eff}$ en fonction de f ;
- ► n en fonction de f.

II-3-7- Quel type de courbe obtient-on ? Comparer avec la caractéristique obtenue à vide ?

II-3-8- Conclure,

II-4- Essai à fréquence de rotation constante

Le moteur étant initialement à vide, la fréquence électrique sera réglée à 5 Hz, 25Hz et 50Hz. Le réglage de la fréquence ne devra plus être modifié par la suite.

II-4-1- Remplir les tableaux de mesures ci-dessous pour ***f = 5Hz, f = 25Hz et f = 50Hz***:

Couple Γ (Nm)	0												$1,25\ \Gamma_{uN}$
Courant moteur Ieff (A)													
tension moteur Ueff (A)													
Fréquence de rotation n (tr/min)													

II-4-2- Tracer pour $0 < \Gamma < 1{,}25\ \Gamma_{uN}$ sur le même papier les courbes :

- ► $U_{moteur\ eff}$ en fonction de Γ;
- ► $I_{moteur\ eff}$ en fonction de Γ ;
- ► n en fonction deΓ.

II-4-3- Conclure.

Attention *: dans cet essai l'état thermique du moteur évolue très rapidement. Quand le paramètre tHr du variateur atteint 118 % le variateur coupe la tension de sortie. Il se comporte comme un disjoncteur thermique. Il est alors nécessaire d'attendre le refroidissement du système, ce qui demande un certain temps avant de pouvoir redémarrer.*

II-5- Analyse harmonique du courant en ligne

Tout courant périodique peut être décomposé en série de Fourier :

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \hat{I}_n \sin\ (n\varpi t + \varphi_n) \ = \ I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sqrt{2}\ \sin\ (n\varpi t + \varphi_n)$$

I_0 est la valeur moyenne du signal, I_n est la valeur efficace de l'harmonique n.

I étant la valeur efficace du courant i(t) et I_1 la valeur efficace du fondamental de i(t), on définit le facteur de distorsion par la relation :

$$DF = THDR = \frac{\sqrt{I_0^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I}$$

et le taux de distorsion harmonique par la relation :

$$THD = THDR = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1}$$

facteur de crête CF est définit par :

$$CF = \frac{I_{max}}{I_{eff}} = \frac{\hat{I}}{I}$$

On rappelle que la valeur efficace d'un signal est définie par la relation : $I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i(t)^2\, dt}$

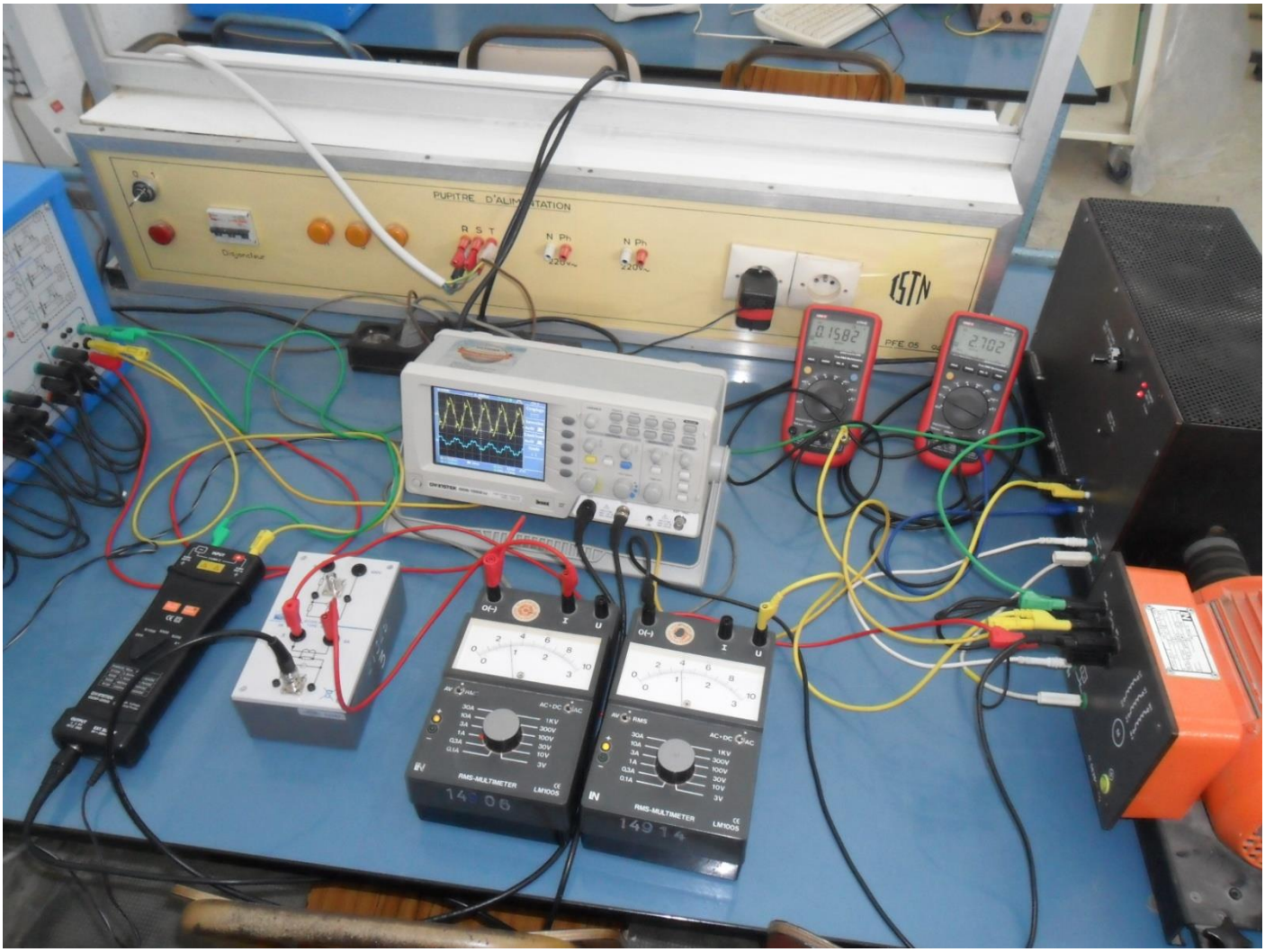
et que d'autre part les valeurs efficaces des différents harmoniques sont liées par la relation :

$$I = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}$$

II-5-1- Le moteur étant alimenté en 50 Hz et fournissant la moitié de son couple nominal, visualiser $i_{réseau}$ et justifier l'allure à partir du schéma fonctionnel donné.

II-5-2- A l'aide de la pince F25, mesurer les caractéristiques harmoniques du courant en ligne, à savoir : I, THD, DF, CF et In pour n allant de 1 à 25.

Stands de TPN°4 : Variateur pour moteur asynchrone par gradateur triphasé.



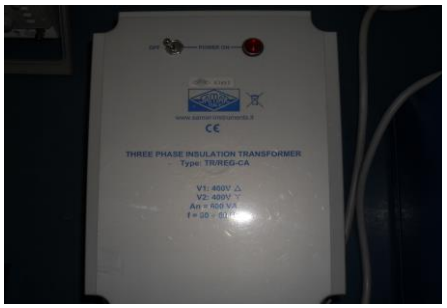
Buts du TP : Le but de l'étude expérimentale est d'étudier les performances d'un variateur à base d'un gradateur triphasé d'un moteur à courant alternatif triphasé asynchrone. Cette manipulation sera également l'occasion de se familiariser avec des systèmes industriels.

On prélèvera les caractéristiques suivantes :

* $n = f(\psi)$, $U_{ch\ eff} = f(\psi)$, $I_{ch\ eff} = f(\psi)$ pour $\Gamma = 0$, $\Gamma = \Gamma_{un}/2$ et $\Gamma = \Gamma_{un}$
* $n = f(\Gamma)$, $U_{ch\ eff} = f(\Gamma)$ et $I_{ch\ eff} = f(\Gamma)$ pour $\psi = 0°$, $f = 60°$ et $f = 90°$

Equipement nécessaire :

Variateur de vitesse Moteur à C-A, ***Gradateur triphasé avec filtre***



Transformateur d'isolement 400/400v, S=600VA.

Appareils de mesure Voltmètre- ampermetr

Multimètres numériques

Moteur à C-A, U_N=400v, cosφ = 0,85 N=2800tr/mn, P=300w

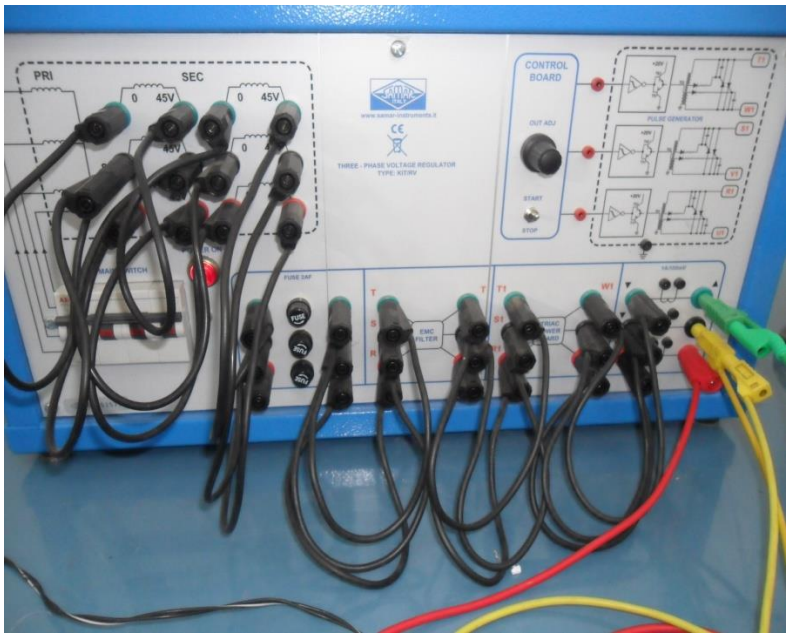
Frein à poudre avec capteur de vitesse (1v/1000tr/mn) et capteur de couple (1v/1Nm)

Oscilloscope à deux voies

Sonde de tension à effet Hall

Sonde de tension et de courant à effet Hall

TPN°4 : Variateur pour moteur asynchrone par gradateur triphasé.



¤ Introduction :

Pour démarrer les moteurs électriques et contrôler leur vitesse, les démarreurs rhéostatiques, les variateurs mécaniques et les groupes tournants (Ward Leonard en particulier) ont constituées pour longtemps les premières solutions. Puis les démarreurs et variateurs électroniques se sont imposés dans l'industrie comme la solution moderne, économique, fiable et sans entretien. Un démarreur électronique est un convertisseur d'énergie dont le rôle consiste à moduler l'énergie électrique fournie au moteur lors de démarrage ou l'arrêt et le ralentissement. Les démarreurs électroniques sont exclusivement destinés aux moteurs asynchrones. Ils font partie de la famille des gradateurs de tension.

Un variateur ou un démarreur électronique est un convertisseur d'énergie dont le rôle consiste à moduler l'énergie électrique fournie au moteur. Les démarreurs électroniques sont exclusivement destinés aux moteurs asynchrones. Ils font partie de la famille des gradateurs de tension. Les variateurs de vitesse assurent une mise en vitesse et une décélération progressive, ils permettent une adaptation précise de la vitesse aux conditions d'exploitation.

Les variateurs de vitesse sont du type redresseur contrôlé pour alimenter les moteurs à courant continu, ceux destinés aux moteurs à courant alternatif sont des convertisseurs de fréquence.

Le démarrage en direct sur le réseau de distribution des moteurs asynchrones est la solution la plus répandue et est souvent convenable pour une grande variété de machines. Cependant, elle s'accompagne parfois de contraintes qui peuvent s'avérer gênantes pour certaines applications, voire même incompatible avec le

fonctionnement souhaité au niveau de la machine :

- appel de courant au démarrage pouvant perturber la marche d'autres appareils connectés sur le même réseau,
- à-coups mécaniques lors des démarrages, inacceptables pour la machine ou pour le confort et la sécurité des usagers,
- impossibilité de contrôler l'accélération et la décélération,
- impossibilité de faire varier la vitesse.

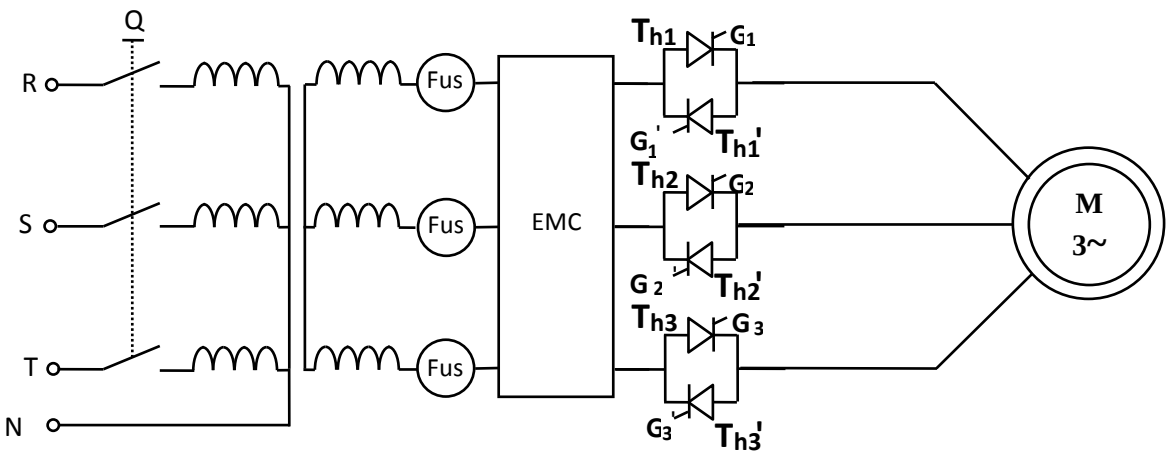
Les démarreurs et les variateurs de vitesse suppriment ces inconvénients.

La technologie électronique leur a donné plus de souplesse et a étendu leur champ d'application.

Mais encore faut-il bien les choisir.

L'association gradateur-machine asynchrone et le fonctionnement du système :

Gradateur triphasé



La tension du réseau d'alimentation est appliquée progressivement au stator du moteur par l'intermédiaire d'un gradateur à découpage de phase. La variation de la tension statorique est obtenue par la variation continue de l'angle de retard à l'amorçage ψ des thyristors de 180° à 0. A la fin du démarrage, le stator du moteur est sous tension nominale, les thyristors sont alors en pleine conduction.

Pour assurer une bonne progressivité lors de l'accélération, les gradateurs doivent être utilisés avec des charges pour lesquelles un couple de démarrage élevé n'est pas nécessaire (ventilateurs, pompe,…)

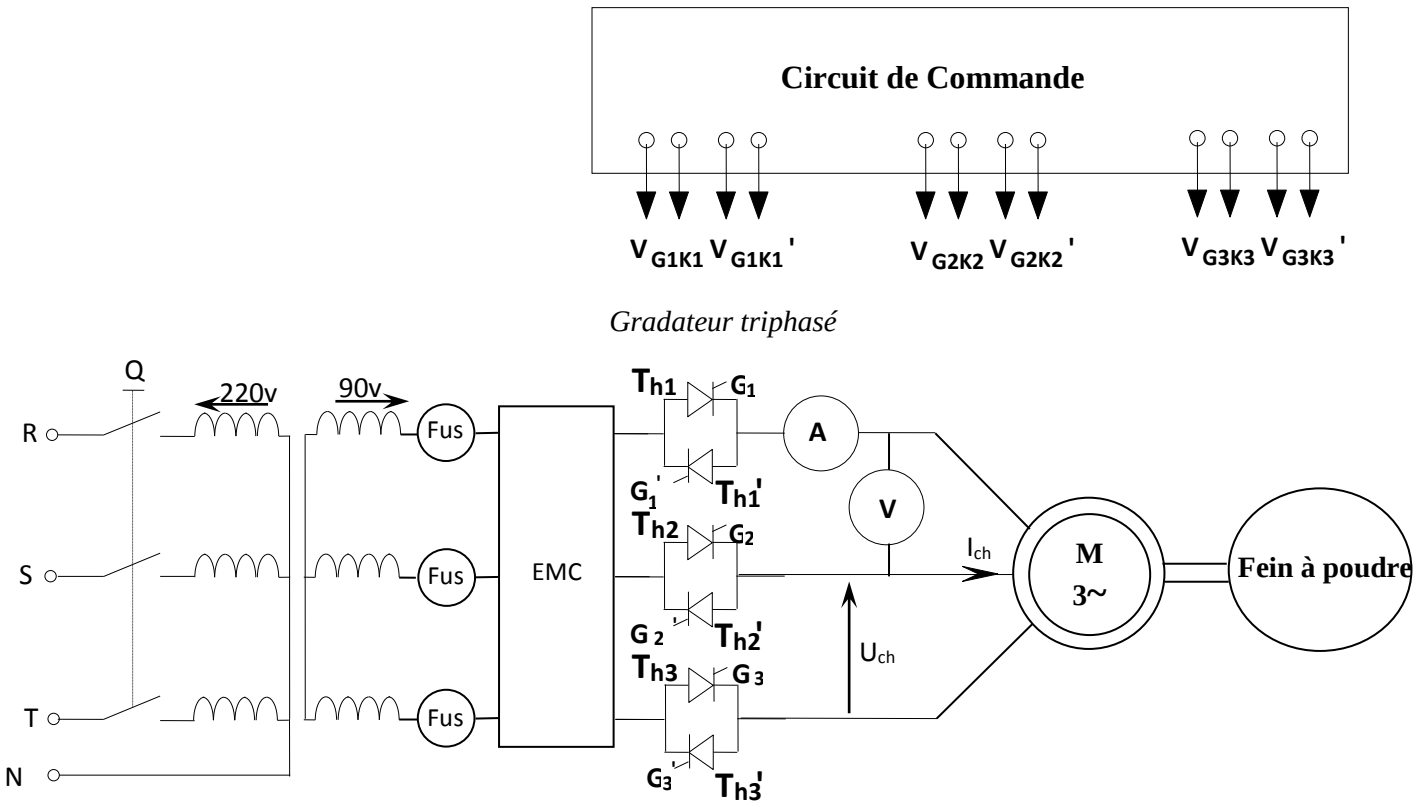
¤ ETUDE PRATIQUE:

I- Etude du variateur à base d'un gradateur triphasé

Il est indispensable de lire le paragraphe « ETUDE THEORIQUE » « Généralités sur la variation de vitesse » avant toute manipulation.

I.1 Présentation du Variateur avec la charge

I.1.1 schéma de principe d'un gradateur triphasé commandant un moteur asynchrone triphasé



Gradateur triphasé

I.1.2 Description du banc de charge

La charge du moteur asynchrone est un frein à poudre qui permet un réglage aisé du couple résistant.

Le réglage du couple résistant fourni par le frein à poudre est effectué par le module KOMPACT MAGNETI C POWDER BRAKE (LN) a qui assure également l'affichage du couple Γ à l'aide d'un voltmètre (1v/1Nm) et de la vitesse n (1v/1000tr/mn). Ces mesures sont rendues possibles par l'emploi d'un capteur de couple rotatif à jauge de contrainte et d'une dynamo tachymétrique.

II- Étude expérimentale sur le variateur à base gradateur triphasé

II-1 Appareils de mesure

I_{ch} et U_{ch} seront mesurés respectivement par un ampèremètre (AC) et un voltmètre (AC).

Les tensions seront visualisées à l'aide de la sonde de tension atténuatrice par 200.

Les courants seront visualisés à l'aide d'un capteur à effet Hall 100 mV/1A.

II-2- Essai en charge à couple constant

II-2-1- Relever les grandeurs nominales du moteur.

Le couple sera réglé à $\Gamma = 0$, $\Gamma = \Gamma_{un}/2$ et $\Gamma = \Gamma_{un}$ par potentiomètre sur le module du frein à poudre.

II-3-2- Pour la manipulation, il faut mesurer et visualiser la tension (U_{cheff}) et l'intensité (I_{cheff}) statorique et mesurer la fréquence de rotation (n) ainsi que le couple du moteur (Γ). Faire un schéma complet de la manipulation contenant aussi le frein à poudre (**Le frein à poudre** est associé à un capteur de force qui permet l'acquisition du moment du couple résistant qui, en régime établi, est égal au moment du couple utile).

II-3-3- Expliquer le mode opératoire à respecter. Quelle partie du moteur est alimentée à tension réglable ? Comment règle-t-on la charge à sa valeur nominale ?

II-3-4- Visualiser et tracer pour $\psi = 45°$ et $\psi = 90°$: $u_{ch}(t)$ et $i_{ch}(t)$.

II-3-5- Remplir les tableaux de mesures ci-dessous pour $\boldsymbol{\Gamma = 0Nm,\ \Gamma = \Gamma_{un}/2 \text{ et } \Gamma = \Gamma_{un}}$:

ψ (°)	180												0
Courant moteur I_{cheff} (A)													
tension moteur U_{cheff} (A)													
Fréquence de rotation n (tr/min)													

II-3-6- Tracer pour $0° < \psi < 180°$ sur le même papier les courbes :

- ► U_{cheff} en fonction de ψ (*pour $\Gamma = 0Nm$, $\Gamma = \Gamma_{un}/2$ et $\Gamma = \Gamma_{un}$*);
- ► I_{cheff} en fonction de ψ (*pour $\Gamma = 0Nm$, $\Gamma = \Gamma_{un}/2$ et $\Gamma = \Gamma_{un}$*);
- ► n en fonction de ψ (*pour $\Gamma = 0Nm$, $\Gamma = \Gamma_{un}/2$ et $\Gamma = \Gamma_{un}$*).

II-3-7- Quel type de courbe obtient-on ? Comparer avec la caractéristique obtenue à vide ?

II-3-8- Conclure

II-4- Essai à fréquence de rotation constante (ψ=cst)

Le moteur étant initialement à vide, la fréquence de rotation (tr/min) sera réglée par l'angle de retard à l'amorçage ψ des thyristors à 0°, 60° et 90°. Le réglage de la fréquence de rotation (tr/min) ne devra plus être modifié par la suite.

II-4-1- Remplir les tableaux de mesures ci-dessous pour ***ψ = 0°, ψ = 60° et ψ = 90°***:

Couple Γ (Nm)	0												$1{,}25\ \Gamma_{uN}$
Courant moteur I_{cheff} (A)													
tension moteur U_{cheff} (A)													
Fréquence de rotation n (tr/min)													

II-4-2- Tracer pour $0 < \Gamma < 1{,}25\ \Gamma_{uN}$ sur le même papier les courbes :

- ► U_{cheff} en fonction de Γ;
- ► I_{cheff} en fonction de Γ ;
- ► n en fonction deΓ.

II-4-3- Conclure.