Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Variation de vitesse des machines asynchrones

Étude des solutions de variation de vitesse pour machine asynchrone de puissance inférieure à 1 MW

Objectif

Choisir et mettre en œuvre un système de variation de vitesse pour machine asynchrone

Pré-requis

- *Cours de physique sur la machine asynchrone*
- *Grafcet*
- *Mise en œuvre des automates programmables industriels*

Savoirs associés

- *Comparaison des solutions en variationde vitesse*
- *Etude d'un variateur de fréquence en U/f*
- *Introduction au contrôle vectoriel*

Le Site
ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Sommaire

Introduction

I. Principe de la variation de vitesse des machines asynchrones

1. **Quadrants de fonctionnement**
2. **Schéma équivalent et expression du couple**
3. **Variation de vitesse de la machine asynchrone**

II. Alimentation à fréquence statorique variable

1. **Onduleur de tension à fréquence variable**
   - **1.1. Caractéristiques C = f (ω) et formes d'ondes**
   - **1.2. Etude d'un exemple industriel**
   - **1.3. Mise en œuvre d'un exemple industriel**
2. **Onduleur de tension à contrôle du couple instantané**
   - **2.1. Entraînement à vitesse variable**
   - **2.2. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs**
   - **2.3. Structure d'un exemple industriel ABB Direct Tork Control**

Travail personnel

Le Site ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Introduction

La grande majorité des applications d'entraînement par moteur électrique ne nécessite pas de réglage ou de maintien du couple, de la vitesse, de l'accélération ou d'autres grandeurs caractéristiques. Il n'est donc pas utile de mettre en œuvre des moyens de réglage de ces grandeurs. Un simple dispositif de démarrage peut s'avérer indispensable dans certains cas. La machine universelle pour les faibles puissances en alimentation monophasée et la machine asynchrone à cage sont les plus couramment utilisées pour une alimentation directe sur le réseau. Le point de fonctionnement statique dépend donc exclusivement des caractéristiques du réseau, de la machine, et de la charge entraînée. Bien entendu toute variation des caractéristiques de la machine, de la charge et du réseau d'alimentation se traduira par un déplacement du point de fonctionnement. Les accélérations et les décélérations dépendent, elles aussi, exclusivement des caractéristiques de la machine, de la charge et du réseau d'alimentation sans possibilité de réglage.
Un certain nombre d'applications demandent une adaptation du couple, de la vitesse, de l'accélération ou d'autres grandeurs pour une conduite satisfaisante du procédé :

- Démarrage progressif du procédé, accélération et décélération contrôlée.
- Contrôle précis du couple, de la vitesse en régime statique et/ou dynamique.
- Réglage/asservissement des flux de production à la demande.

L'investissement pour une solution en vitesse variable électronique ne se fera que si il apporte des gain en :

- Qualité des produits finis (tôles pour l'industrie agro-alimentaire, papier…)
- Economies de production (pompage/propulsion à débit variable…)
- Souplesse d'exploitation (adaptation des flux de production à la demande…)
- Réduction de maintenance (entraînement direct se substituant à des éléments mécaniques…)

Pour bien choisir un système d'entraînement à vitesse variable il est absolument nécessaire de connaître les contraintes imposées par la charge à l'ensemble réseau/convertisseur/machine.

- **Caractéristique couple vitesse de la machine entraînée**
- **Inertie de la machine entraînée**
- **Performances statiques et dynamiques attendues**
- **Régime et service dans tous les cas d'exploitation**

On entend par **<u>régime</u>** l'ensemble des grandeurs électriques et mécaniques caractérisant le fonctionnement d'une machine à un instant donné
On entend par **<u>service</u>** les différents régimes auxquels la machine est soumise avec leur durées respectives et leur ordre de succession.

Le choix d'un ensemble convertisseur/machine pour une application spécifique résulte de l'adéquation la plus parfaite entre le cahier des charges, les solutions techniques disponibles à un instant donné, les moyens humains et la rentabilité financière de l'investissement.

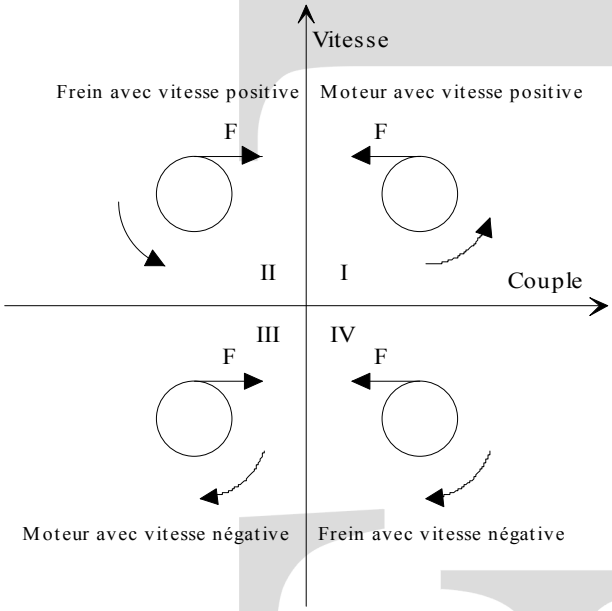
Le site de ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

I. Principe de la variation de vitesse des machines asynchrones

1. Quadrants de fonctionnement

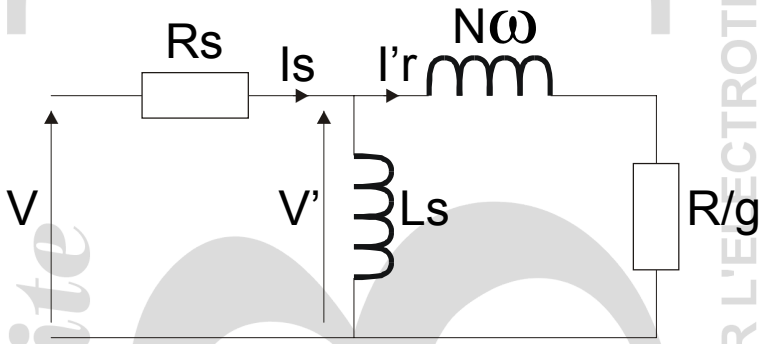


Les machines synchrone, asynchrone et à courant continu sont naturellement réversibles. Pour bénéficier de cette propriété, il faut que le convertisseur et la source soient également réversibles. Si la source ne l'est pas on ne peut pas récupérer l'énergie lors d'une phase de freinage de la machine mais on peut la dissiper dans des rhéostats (réversibilité dissipatrice). Le choix d'une structure convertisseur/machine 1, 2 ou 4 quadrants repose exclusivement sur le cahier des charges.

- Quadrant I seul : la machine ne tourne que dans un seul sens de rotation, le couple est positif ou nul (accélérations contrôlées et décélération non contrôlées)
- 2 Quadrants (I et II) : la machine ne tourne que dans un seul sens de rotation, le couple est positif ou négatif (accélérations et décélération contrôlées)
- 2 Quadrants (I et IV) : la machine tourne dans les deux sens de rotation (pour le sens inverse la charge est nécessairement entraînante), le couple est toujours positif (accélérations contrôlées et décélération non contrôlées)
- 4 Quadrants (I à IV) : la machine tourne dans les deux sens de rotation quelque soit la charge entraînée le couple est positif ou négatif (accélérations et décélération contrôlées)

2. Schéma équivalent et expression du couple

Le schéma équivalent d'une phase en régime sinusoïdal équilibré est le suivant :



C'est à partir de ce schéma que nous allons donner l'expression du couple électromagnétique produit par la machine. Exprimons la puissance transmise au rotor.

$$P = 3 \,.\, R/g \,.\, (I'r)^2 = Ce \,.\, \Omega s$$

Qui après quelques manipulations peut s'écrire.

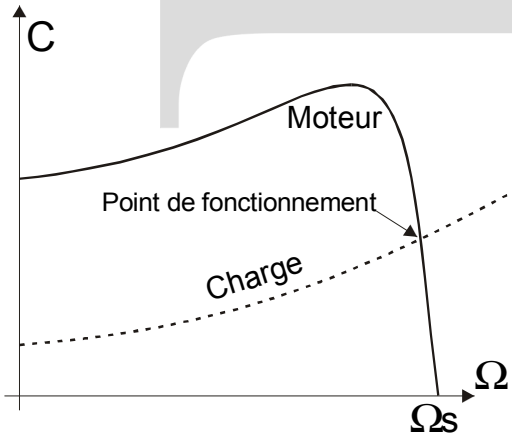
Le site ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

$$Ce = 3p\left(\frac{V'}{\omega}\right)^2 \omega \frac{R/g}{(R/g)^2 + (N\omega)^2}$$

3. Variation de vitesse de la machine asynchrone



Le **point de fonctionnement** (C, Ω) dans le quadrant I en régime établi de l'ensemble machine plus charge se situe à **l'intersection des caractéristiques Ce = f(Ω) du moteur et Cr = f(Ω) de la charge**. Le **réglage de la vitesse de la machine asynchrone** est donc obtenu en agissant sur le couple qu'elle produit, soit, si l'on se réfère à son expression ci-dessus : le nombre de paires de pôles, la tension d'alimentation de la machine, le glissement ou la fréquence d'alimentation de la machine.

■ Réglage par variation du nombre de paires de pôles

Ceci donnant une **variation non continue** de la vitesse ce mode n'est donc pas envisagé pour un réglage fin du point de fonctionnement désiré.

■ Réglage par variation de tension

Le couple électromagnétique de la machine asynchrone est proportionnel au carré de la tension d'alimentation statorique. Il est donc possible d'envisager un ajustement de la vitesse au dessous de la vitesse nominale en modifiant la tension d'alimentation statorique avec un **gradateur triphasé**. Cette solution est le plus souvent utilisée pour le démarrage de charges à caractéristique de couple quadratique ($Cr = k.\ \Omega^2$).

■ Réglage par action sur le glissement

L'utilisation de résistances rotorique permet un réglage de la vitesse au dessous de la vitesse nominale mais avec un rendement déplorable. on essaiera donc de récupérer cette énergie transmise au rotor : c'est la **cascade hyposynchrone** réservée à la très forte puissance pour des machines à rotor bobiné.

■ Réglage par variation de fréquence

La fréquence de rotation de la machine étant au glissement près proportionnel à la fréquence d'alimentation des enroulements statoriques, on essaiera de créer pour ces enroulements un réseau à fréquence variable ce sont les **Onduleurs de tension**. On peut aussi chercher à injecter des courants dans les enroulement pour imposer le couple de la machine ce sont les **Onduleurs de courant ou commutateurs de courant**. On peut également convertir directement la fréquence du réseau industriel en une fréquence variable plus faible (de 0 à 1/3 de la fréquence réseau) à l'aide d'un **cycloconvertisseur** à commutation naturelle piloté lui aussi en fréquence en courant ou vectoriellement.

Le site ENSEIGNEMENT TECHNIQUE ET L'ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE

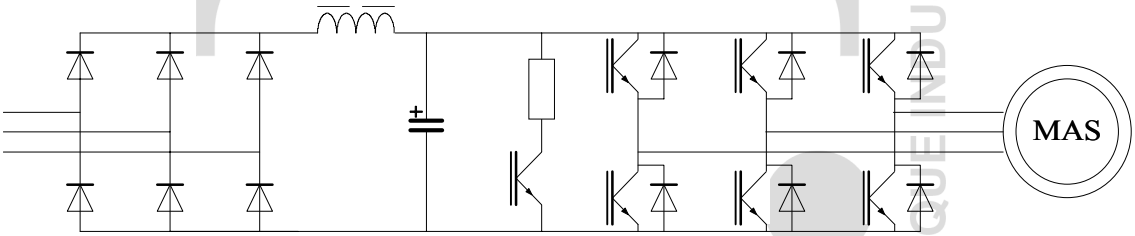
Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

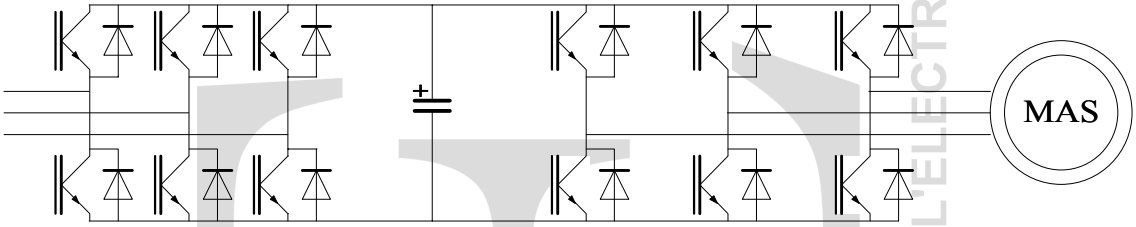
II. Alimentation à fréquence statorique variable

Pour des puissance allant jusqu'au Megawatt la structure de l'onduleur reste la même, seuls les calibres des composants vont croissants avec la puissance de l'équipement. Cette structure possède deux variantes :

une première à réversibilité rhéostatique (énergie de freinage dissippée),



une seconde à réversibilité complète (énergie de freinage restituée au reseau).



La fonction sera donc définie uniquement par la commande de cette structure. Cette commande se décline en deux variantes essentielles qui de plus en plus vont donner naissance à un seul et même équipement industriel dont on pourra distinguer la commande par le programme sélectionné. Le point commun des ces onduleurs de tension MLI est qu'ils peuvent être contrôlés :

- en fréquence (en vitesse au glissement près ω_s ou en couple moyen ω_r ou Is)
- vectoriellement (en couple instantané I_d I_q)

Le mode d'alimentation le plus couramment répandu est l'onduleur de tension à fréquence variable. C'est une solution simple qui permet de régler la vitesse d'une machine asynchrone à cage à la précision du glissement près.

1. Onduleur de tension à fréquence variable

1.1. Caractéristiques C = f (ω) et formes d'ondes

L'expression du couple $Ce = 3p\left(\frac{V'}{\omega}\right)^2 \omega \frac{R/g}{(R/g)^2 + (N\omega)^2}$ devient pour des glissements faibles $Ce = 3p(\Phi s)^2 \frac{g\omega}{R}$ dans laquelle apparaît le flux statorique, réglable par le rapport V'/ω. On essaiera de maintenir ce rapport V'/ω constant et nominal en réglant V et ω appliqué au moteur. Ceci permet d'exploiter au mieu les caractéristiques de la machine alimentée. Le système d'alimentation de la machine asynchrone à cage devra donc :

- Imposer des courants sinusoïdaux équilibrés de fréquence variable dans la machine.

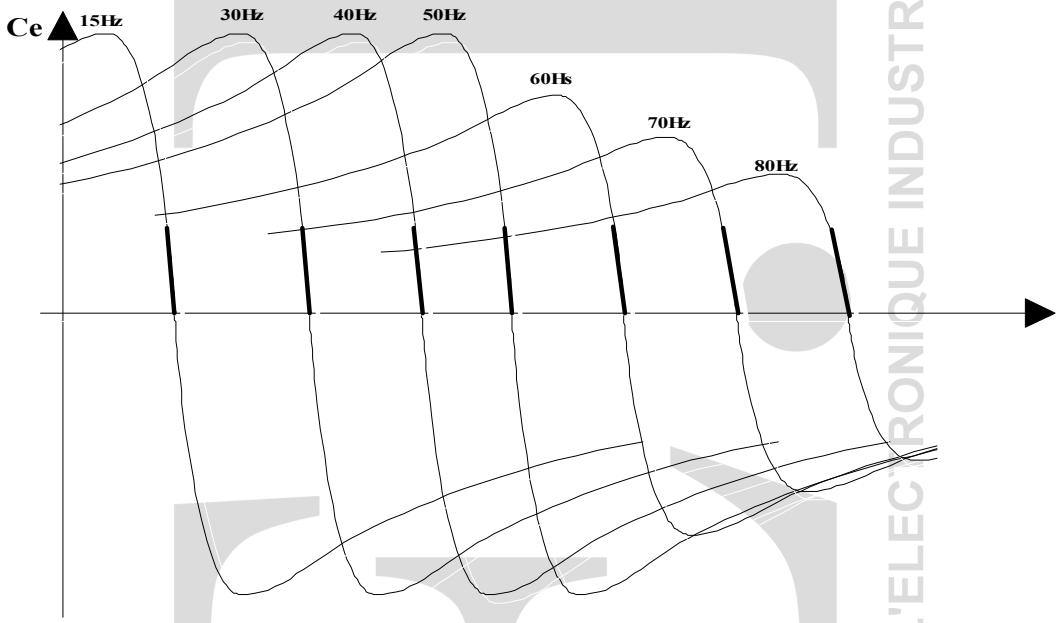
ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

- Maintenir l'état magnétique nominal de la machine en gardant Φs = V'/ω constant (en réglant la valeur de V en fonction de celle de ω et du couple résistant).

Caractéristiques Ce = f (Ω) correspondantes pour différentes fréquences.



Remarque : au delà de 50 Hz la valeur efficace de la tension d'alimentation de la machine ne croît plus, Φs = V'/ω n'est plus maintenu constant : la valeur maximale du couple décroît donc lorsque la fréquence d'alimentation croît au delà de 50 Hz.
Nota : Seules les grandeurs moyennes (Is et Ce) sont contrôlées pas les grandeurs instantanées. Les régimes à variation lente peuvent être envisagés avec cette approche, pour l'étude des variations rapides (démarrage, saut de fréquence) une approche avec les grandeurs instantanées est indispensable et mène à des résultats sensiblement différents.

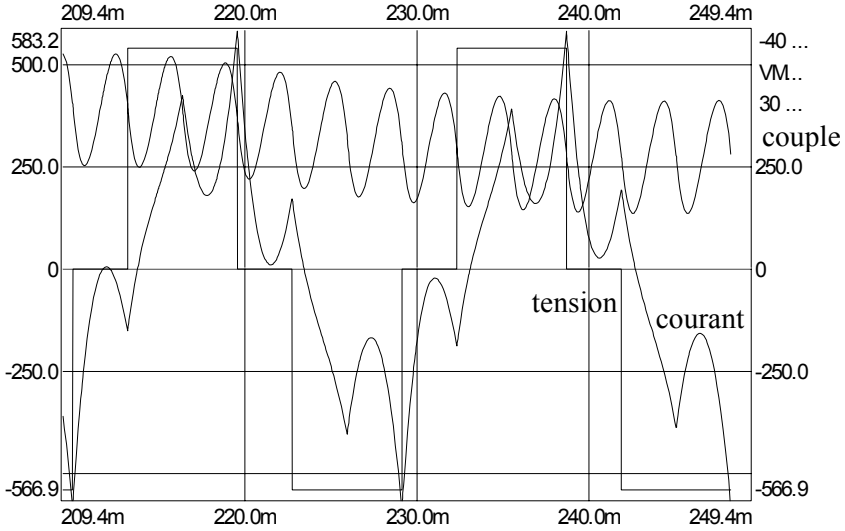
Forme d'onde obtenue en commande pleine onde.

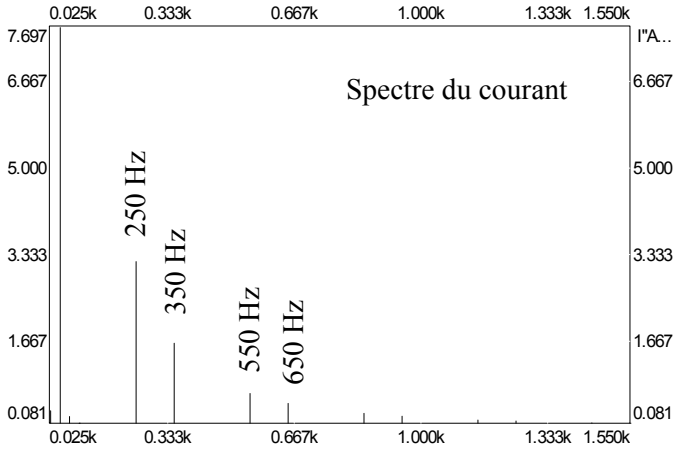
Sur le graphe ci-dessous le moteur est alimenté par des créneaux de trension 2/3, 1/3. Ceci permet d'obtenir un courant dont le spectre (voir graphe page suivante) laisse apparaître une forte présence des harmoniques de rang 5 et 7 et par conséquent une ondulation de couple à 6 f.

Le Site
ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

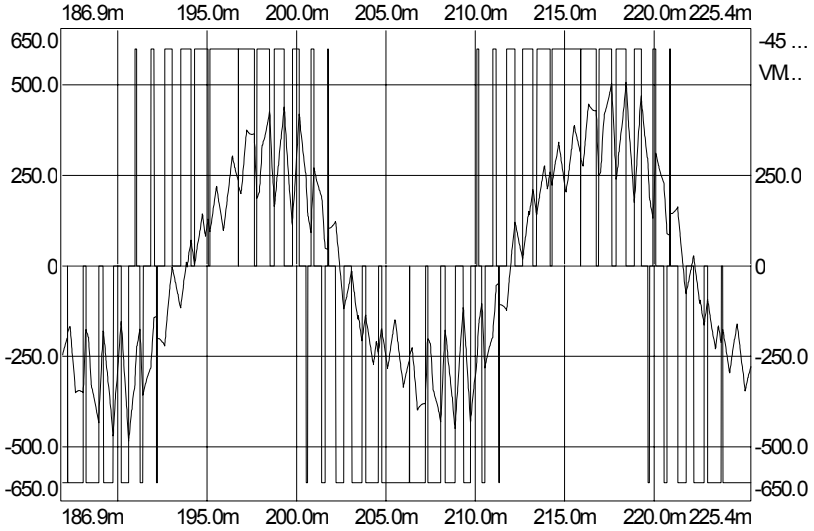
Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15





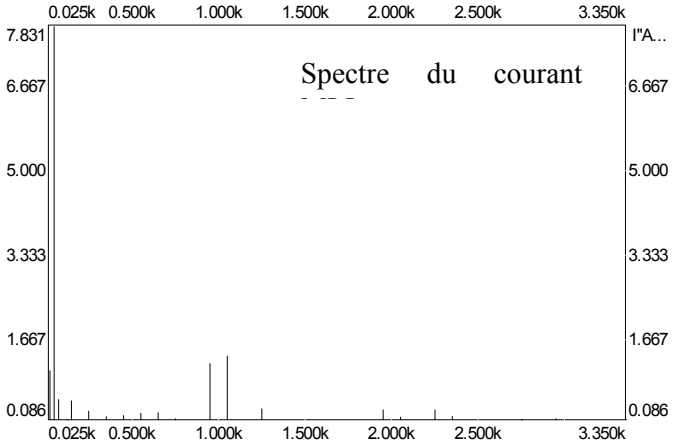
On peut être amené à chercher à repousser les harmoniques indésirables (génératrices de pertes joules et de couple pulsatoire dans la machine) vers des fréquences plus élevées. Cette objectif nous conduit à une alimentation en modulation de largeur d'impulsion (M.L.I.) dont un exemple est donné ci-dessous.



Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Le spectre du courant est donné ci-contre. Le premier harmonique se situe au rang 21 et il est d'importance moindre. Pour le maintien du rapport V'/f constant il est nécéssaire de faire varier la valeur efficace du fondamental de la tension appliquée aux enroulements statoriques. Ceci est possible soit en réglant la largeur de chaque impulsion proportionnellement à la valeur efficace désirée, soit en surmodulant à fréquence fixe et élevée (fonction hacheur) la forme d'onde M.L I. qui garde toujours le même gabari.



Le Site
ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

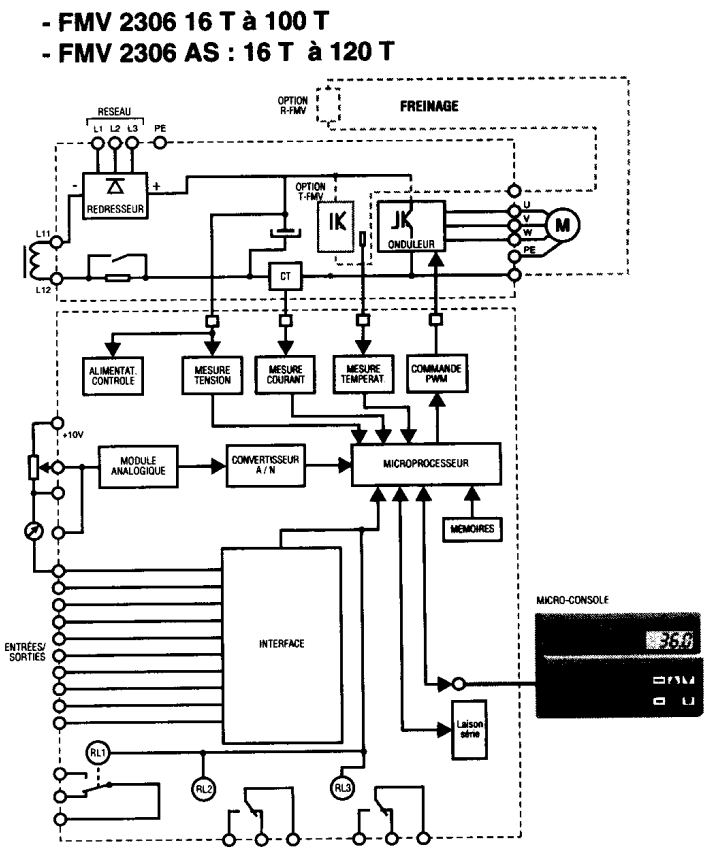
Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

1.2.Etude d'un exemple industriel

La vitesse de synchronisme d'un moteur asynchrone à cage est fonction de son nombre de paires de pôles et de la fréquence de son alimentation. Ces grandeurs sont liées par l'expression :

$$N = \frac{f}{p}$$

Ainsi, changer la fréquence revient à changer la vitesse de synchronisme d'un moteur donné. Cependant, changer la fréquence sans changer la tension d'alimentation fait varier la densité du flux magnétique dans le moteur. Aussi les modulateurs FMV 2306 et font varier simultanément TENSION et FREQUENCE de sortie. Ceci permet d'optimiser la courbe de couple du moteur et d'éviter son échauffement. Les modulateurs FMV 2306 alimentent le moteur par une tension générée à partir d'une tension interne continue et fixe. La tension est produite en modulation de largeur d'impulsions (M.L.I.). Il délivre au moteur un courant proche d'une sinusoïde avec peu d'harmoniques.



Le modulateur se compose de :

- UN REDRESSEUR de la tension du réseau.
- UN CONDENSATEUR DE FILTRAGE donnant une tension continue fixe.
- UN SYSTEME DE MISE SOUS TENSION limitant la pointe de courant à la mise sous tension.
- UN ONDULEUR convertissant la tension continue en une tension alternative modulée en tension et en fréquence.
- UNE CARTE ELECTRONIQUE DE CONTROLE comportant le microprocesseur, le circuit ASIC générateur de la MLI (PWM) et les circuits d'amplification des signaux de commande.
- UN MODULE DE FREINAGE permettant l'évacuation de l'énergie durant une phase de freinage
- UNE MESURE INTERNE DE COURANT pour une commande en couple moyen.
- DES ENTREES SORTIES LOGIQUES ET ANALOGIQUES pour contrôler le variateur.

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

- UNE MICRO-CONSOLE permettant le paramétrage, la lecture d'informations et le contrôle du modulateur.

Le Site 3E.I. ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Le tableau ci-dessous permet de faire un choix de variateur en association avec un moteur (la puissance utile de ce dernier permet de faire ce choix). Il ne faudra pas prendre en compte un éventuel déclassement du moteur pour faire le choix du convertisseur de fréquence. On prendra directement la puissance exprimée en sevice S1 dans des conditions normales d'exploitation.

1.3.1 - Caractéristiques électriques de sortie des modulateurs

- FMV 2306

FMV 2306	Capacité de sortie du modulateur (kVA)		* Puissance maximum utile moteur (4 pôles) (kW)		Intensité nominale permanente modulateur (sortie) (A)
	380 V 50 / 60 Hz	460 V 50 / 60 Hz	380 V 50 / 60 Hz	460 V 50 / 60 Hz	
1.5 T	1,4	1,7	0,75	0,9	2.1
2 T	1,8	2,2	1,1	1,3	2.8
2.5 T	2,5	3,0	1,5	1,8	3.8
3.5 T	3,7	4,5	2,2	2,7	5.6
5.5 T	6,2	7,6	4	4,8	9.5
8 T	7,9	9,6	5,5	6,7	12.0
11 T	10,5	12,7	7,5	9,1	16.0
16 T	16,5	19,9	11	13,3	25
22 T	20,4	24,7	15	18,2	31
27 T	25,0	30,3	18,5	22,4	38
33 T	30,2	36,6	22	26,6	46
40 T	38,8	47,0	30	36,3	59
50 T	50,0	60,5	37	44,8	76
60 T	59,9	72,5	45	54,5	91
75 T	72,4	87,6	55	66,6	110
100 T	98,7	119,5	75	90,8	150

- FMV 2306 AS

FMV 2306 AS	Capacité de sortie du modulateur (kVA)		* Puissance maximum utile moteur (4 pôles) (kW)		Intensité nominale permanente modulateur (sortie) (A)
	380 V 50 / 60 Hz	460 V 50 / 60 Hz	380 V 50 / 60 Hz	460 V 50 / 60 Hz	
1.5 T	1,4	1,7	0,75	0,9	2.1
2 T	1,8	2,2	1,1	1,3	2.8
2.5 T	2,5	3,0	1,5	1,8	3.8
3.5 T	3,7	4,5	2,2	2,7	5.6
5.5 T	6,2	7,6	4	4,8	9.5
8 T	7,9	9,6	5,5	6,7	12.0
11 T	10,5	12,7	7,5	9,1	16.0
16 T	16,5	19,9	11	13,3	25
22 T	21,0	25,5	15	18,2	32
27 T	25,0	30,3	18,5	22,4	38
33 T	30,2	36,6	22	26,6	46
40 T	40,8	49,4	30	36,3	62
50 T	46,0	55,8	37	44,8	70
60 T	59,9	72,5	45	54,5	91
75 T	72,4	87,6	55	66,6	110
100 T	94,8	114,7	75	90,8	144
120 T	118,5	143,4	90	108,9	180

* Vérifier toujours que l'intensité nominale du moteur est inférieure à l'intensité nominale permanente du modulateur.

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

1.3.2 - Caractéristiques et fonctions

Calibre	FMV 2306 1.5 T à 11 T FMV 2306 AS 1.5 T à 11 T	FMV 2306 16 T à 40 T FMV 2306 AS 16 T à 50 T	FMV 2306 50 T à 100 T FMV 2306 AS 60 T à 120 T
CARACTERISTIQUES TENSION RESEAU (Triphasé)	380 à 440V ±10 % - 50 Hz ± 2 Hz 380 à 480V ±10 % - 60 Hz ± 2 Hz	380 à 460V ±10 % - 50/60 Hz ± 2 Hz	
MODE DE REGULATION	Lois Tension/Fréquence		
REGULATION	Référence Fréquence. Référence " Couple " : régulation du courant dans le moteur. Régulation de la vitesse si utilisation d'un retour codeur sur le moteur		
LOIS Tension (U) / Fréquence (f)	Rapport U/f réglable par la fréquence de base. Courbe U/f fixe : couple constant, ou U/f dynamique : couple variable.		
FREQUENCE DE DECOUPAGE (Réglage)/ FREQUENCE DE SORTIE (Plage maximum)	Réglage / Plage maximum 2.9 kHz / 0 à 240 Hz 5.9 kHz / 0 à 480 Hz 8.8 kHz / 0 à 480 Hz 11.7 kHz / 0 à 960 Hz	Réglage / Plage maximum 2.9 kHz / 0 à 240 Hz 5.9 kHz / 0 à 480 Hz	Réglage / Plage maximum 2.9 kHz / 0 à 240 Hz
	La plage de fréquence, indiquée ci-dessus, peut être réduite pour une fréquence de découpage donnée : Ex. : 0 à 120 Hz pour f découpage = 11.7 kHz.		
PRECISION DE FREQUENCE	± 0.01 % de la plage maximum réglée pour une référence numérique.		
PRECISION DE VITESSE (AVEC CODEUR)	± 0,01 % de la plage maximum réglée pour une référence numérique.		
RESOLUTION DE LA FREQUENCE	Réglage par référence numérique * : 0,1 Hz. Sauf : - référence par micro-console > 100 Hz : 1 Hz, - Pr0, Pr1, Pr7, Pr10 à Pr15, Pr20 à Pr27 comme suit. 0.1 Hz, F_{sortie} = 0 à 120 Hz 0.2 Hz, F_{sortie} = 0 à 240 Hz 0.4 Hz, F_{sortie} = 0 à 480 Hz 0.8 Hz, F_{sortie} = 0 à 960 Hz	0.1 Hz, F_{sortie} = 0 à 120 Hz 0.2 Hz, F_{sortie} = 0 à 240 Hz 0.4 Hz, F_{sortie} = 0 à 480 Hz	0.1 Hz, F_{sortie} = 0 à 120 Hz 0.2 Hz, F_{sortie} = 0 à 240 Hz
RESOLUTION DE L'AFFICHAGE	0,1 Hz.		
COMPENSATION DE GLISSEMENT (Boucle ouverte)	Réglage : 0 à 5 Hz, $F_{sortie} \leq 120$ Hz 0 à 10 Hz, $F_{sortie} \leq 240$ Hz 0 à 20 Hz, $F_{sortie} \leq 480$ Hz 0 à 25 Hz, $F_{sortie} \leq 960$ Hz	Réglage : 0 à 5 Hz, $F_{sortie} \leq 120$ Hz 0 à 10 Hz, $F_{sortie} \leq 240$ Hz 0 à 20 Hz, $F_{sortie} \leq 480$ Hz	Réglage : 0 à 5 Hz, $F_{sortie} \leq 120$ Hz 0 à 10 Hz, $F_{sortie} \leq 240$ Hz
CAPACITE DE SURCHARGE	FMV 2306 : 150% I_N pendant 60 s.		
	FMV 2306 AS : 120% I_N pendant 180s.	FMV 2306 AS : 120% I_N pendant 60 s.	
FREINAGE	Freinage hypersynchrone : - modulateur seul, - avec options R - FMV et T - FMV. Freinage par injection de courant continu.		
COUPLE A BASSE FREQUENCE (Boost)	Réglage manuel ou automatique de la tension de sortie.		

* Référence numérique : par liaison série ou micro-console CDn - FMV.

REGULATION : le constructeur propose trois mode de commande de son convertisseur :

- Onduleur de tension controlé en fréquence (réglage aproximatif de la vitesse du moteur, le glissement n'est pas compensé et la vitesse dépend de la charge accouplée au moteur)
- Onduleur de tension controlé en courant statorique(réglage du couple moyen du moteur, la vitesse dépend de la charge accouplée au moteur)
- Onduleur de tension controlé en fréquence avec boucle de régulation de vitesse (réglage précis de la vitesse du moteur avec capteur de vitesse necéssaire, la vitesse est indépendante de la charge)

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

LOI U/f : le constructeur propose deux types de loi U/f :

- Le rapport U/f est constant (mais réglable) ce qui permet de travailler à couple maximal constant (et réglable) sur une plage de fonctionnement donnée. Si l'on souhaite élargir la plage à couple maximal constant il est possible de réduire la valeur U/f par rapport à la valeur nominale, cependant le couple maximal se trouve lui aussi réduit par rapport à sa valeur nominale. C'est le mode de commande le plus utilisé.
- Le rapport U/f est automatiquement réglé en fonction de la charge ce qui permet d'économiser de l'énergie et de réduire le bruit de fonctionnement pour les faibles charges. Ce mode n'est possible que pour les charges à caractéristique de couple quadratique $C = k.N^2$

FREQUENCE DE DECOUPAGE : le constructeur vous indique cette valeur

- C'est la fréquence à laquelle est réalisée la modulation de largeur d'impulsions, plus la fréquence est élevée plus les harmoniques indésirables sont à fréquence élevée mais les pertes en commutation croissent elles aussi avec la fréquence.

Le Site ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Calibre	FMV 2306 1.5 T à 11 T FMV 2306 AS 1.5 T à 11 T	FMV 2306 16 T à 40 T FMV 2306 AS 16 T à 50 T	FMV 2306 50 T à 100 T FMV 2306 AS 60 T à 120 T
PILOTAGE PILOTAGE MODULATEUR	Par la micro-console CDn-FMV (débrochable). Par le bornier. Par la liaison série.		
REFERENCE FREQUENCE (REFERENCE VITESSE SI RETOUR CODEUR)	Consigne analogique : – 0 à +10 Vcc (impédance d'entrée 110 kΩ) : source de tension ou potentiomètre de 2,2 kΩ, – -10 à +10 Vcc (impédance d'entrée 110 kΩ) : source de tension extérieure, – 4 à 20 mA – 20 à 4 mA – 0 à 20 mA } Impédance d'entrée 100 Ω. Consigne numérique : – programmable par la micro-console CDn-FMV, – programmable par la liaison série.		
REFERENCE COUPLE	Consigne analogique : 0 à +10 Vcc (impédance d'entrée 27 kΩ) : source de tension ou potentiomètre 10 kΩ. Consigne numérique : programmable par la liaison série.	Consigne analogique : 0 à + 10 Vcc (impédance d'entrée 110 kΩ) : source de tension ou potentiomètre 10 kΩ. Consigne numérique : programmable par la liaison série.	
COMMUTATION DE REFERENCE FREQUENCE LOCALE / DISTANCE	Par borne 16 : - Locale : en tension borne 5, - Distance : en courant borne 8 suivant b11.	Par borne 16 : - Locale : en tension borne 5, - Distance : en courant borne 8 ou en tension borne A7 suivant b11.	
RETOUR CODEUR	Régulation de la vitesse réelle en boucle fermée par codeur : 15 impulsions par pôle moteur par tour. Impédance maximum du codeur 20Ω.		
MARCHE AVANT / ARRIERE	Par le bornier borne 15 Marche Avant, borne 17 Marche Arrière. Par la liaison série.		
FONCTIONNEMENT RAMPES ACCELERATION/ DECELERATION	Réglages séparés de 0.2 à 600 s : courbe linéaire.		
VITESSES PREREGLEES	Soit : 3 vitesses programmables (plus la consigne) + fonction marche par impulsions. Soit : 7 vitesses programmables (plus la consigne).		
RAMPES ACCELERATION/ DECELERATION AVEC LES VITESSES PREREGLEES	Chaque vitesse préréglée a ses propres rampes d'accélération et de décélération, ou utilise les rampes de la référence.		
LIMITATION DE LA FREQUENCE Minimum / Maximum	0 Hz ≤ F min ≤ F max ≤ F plage maximum.		
SAUT DE FREQUENCE	3 sauts de fréquence avec largeur de saut réglable, pour éviter les phénomènes de résonance mécanique.		
FONCTIONNEMENT MARCHE PAR IMPULSIONS	Vitesse réglable : 0 à 15 Hz. Rampes d'accélération et de décélération séparées : 0.2 à 600 s.		
MODE D'ARRET	Arrêt roue libre : arrêt instantané de l'alimentation moteur. Freinage sur rampe (suivant 2 modes). Freinage par injection de courant continu.		

Le Site ENSEIGNER L'ELECT

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Calibre	FMV 2306 1.5 T à 11 T FMV 2306 AS 1.5 T à 11 T	FMV 2306 16 T à 40 T FMV 2306 AS 16 T à 50 T	FMV 2306 50 T à 100 T FMV 2306 AS 60 T à 120 T
FONCTIONNEMENT FREINAGE PAR INJECTION DE COURANT CONTINU	Couple de freinage : - FMV 2306 : 40 à 150 % I_N. - FMV 2306 AS : 40 à 120 % I_N. Freinage jusqu'à l'arrêt du moteur et couple de maintien pendant 1 seconde.		
REDEMARRAGE AUTOMATIQUE	Mise sous tension : démarrage après 120 ms. Coupure d'alimentation : redémarrage après 120 ms. Après un défaut : - attendre 1 seconde pour l'acquittement (RESET), - redémarrage immédiat après le RESET. Après un ordre " STOP " : redémarrage dès l'ordre de marche.		
REPRISE A LA VOLEE	Possibilité de démarrer le modulateur lorsque le moteur tourne.		
DEFAUTS PERTE DE REFERENCE COURANT (4-20 / 20-4 mA)	Valeur de la consigne < 3,5 mA.		
DEFAUT UNITE CENTRALE	Défaut interne modulateur dès la mise sous tension.		
DEFAUT EXTERNE	Défaut forcé via le bornier ou via la liaison série.		
SURCHARGE (I x t)	Relais thermique électronique.		
TEMPERATURE AMBIANTE HORS PLAGE	_	-10 °C > $T_{ambiante}$ +50°C < $T_{ambiante}$	
SURCHAUFFE MODULATEUR	Protection du modulateur par sondes thermiques sur le refroidisseur.		
SURCHAUFFE MOTEUR	• Sonde CTP Déclenchement pour résistance CTP > 3 kΩ (moteur trop chaud). Remise à zéro pour résistance CTP = 1,8 kΩ. • Sonde PTO		
SURINTENSITE	185 % du courant nominal.		
COURT-CIRCUIT PHASE - PHASE PHASE - TERRE	Protections contre les courts-circuits entre phases et les mises à la terre.		
DEFAUT MANQUE PHASE / DESEQUILIBRE DE PHASE	Tension sur une phase au moins inférieure à 380V - 15 % ou déséquilibre de phase.		
AVERTISSEMENT BAISSE RESEAU	Alimentation < 380V -15 % : freinage sur la rampe. Mise en défaut (manque phase) si la tension n'est pas revenue supérieure à 380V -15 % avant que le moto-modulateur n'atteigne la vitesse nulle.		
DEFAUT SOUS TENSION	Tension bus continu en dessous de sa plage de fonctionnement.		
DEFAUT SURTENSION	Pour un temps de décélération inadapté ou pour un réseau d'alimentation trop élevé.		
DEFAUT ALIMENTATION INTERNE	Surveillance des alimentations internes du modulateur.		
EFFACEMENT DES DEFAUTS	Acquittement des défauts : touche " STOP / RESET " de la micro-console ou borne 13 du bornier, suivant le mode de commande.		
SIGNALISATIONS AFFICHAGE	Sur la microconsole CDn-FMV : - fréquence de sortie en Hz, ou - courant de sortie en % du courant nominal I_N.		

FREINAGE PAR INJECTION DE COURANT CONTINU : lors d'une phase de freinage on associe deux mode de freinage :

- Pour les fréquences élevées on alimente le stator à une fréquence légèrement inférieure à p (nombre de paires de pôles) fois la vitesse de rotation angulaire du rotor ce qui revient à faire fonctionner la machine en géneratrice hypersynchrone. Ce mode de freinage reste valable jusqu'à quelques Hertz.

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

- Pour la fin du freinage on crée un champ fixe dans la machine en injectant du courant continu. L'onduleur fonctionne alors en hacheur.

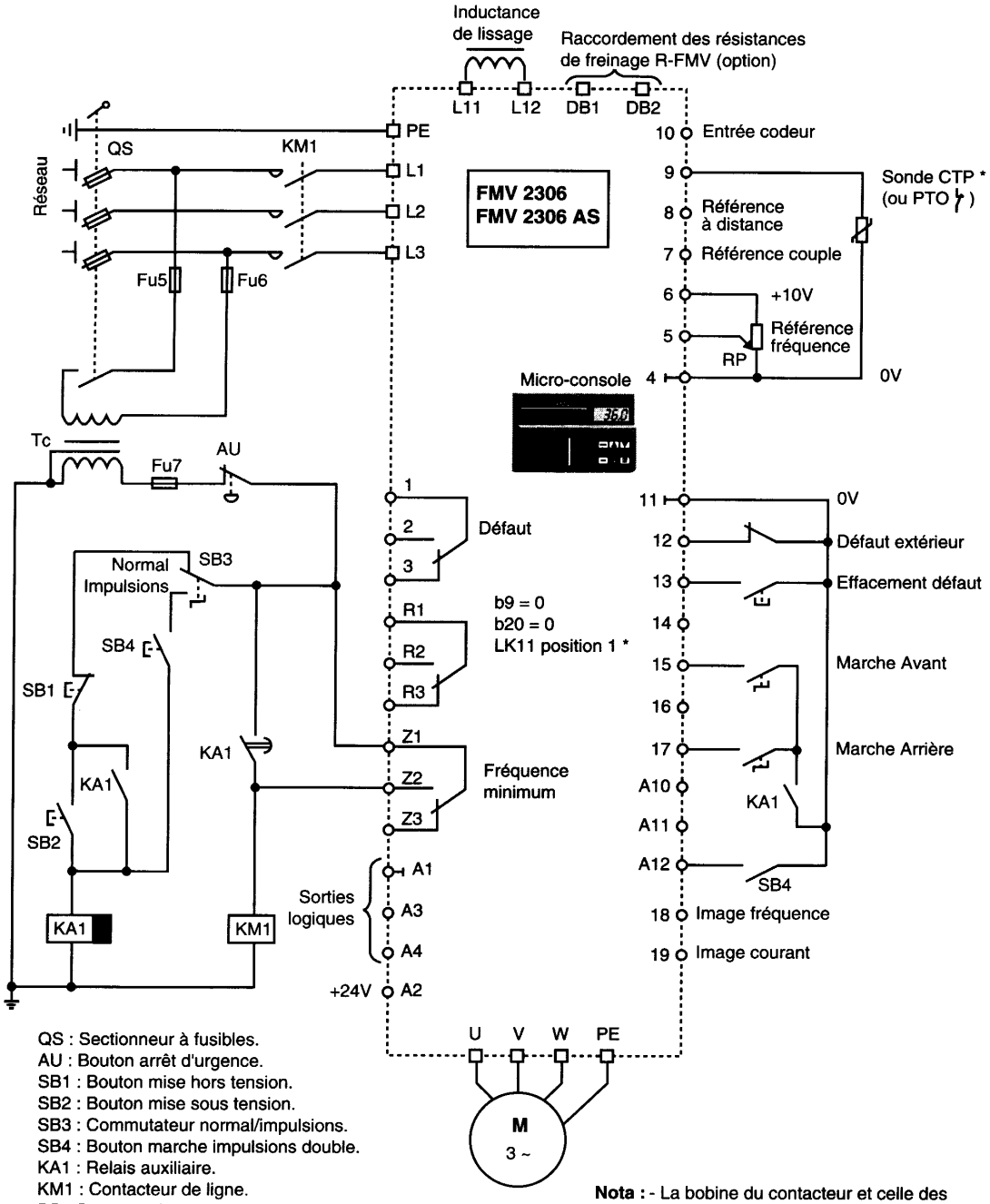
Calibre	FMV 2306 1.5 T à 11 T FMV 2306 AS 1.5 T à 11 T	FMV 2306 16 T à 40 T FMV 2306 AS 16 T à 50 T	FMV 2306 50 T à 100 T FMV 2306 AS 60 T à 120 T
SIGNALISATIONS RELAIS AFFECTABLE	Relais 240 VAC - 7A (charge résistive).		
	Activé lorsque : –le modulateur n'est pas en défaut, ou –la fréquence est supérieure à la fréquence minimum (Pr0).	Activé lorsque : – le modulateur est en marche, ou – la fréquence est atteinte.	
RELAIS FREQUENCE MINIMUM	Voir RELAIS AFFECTABLE	240 VAC - 7A (charge résistive). Activé lorsque la fréquence est supérieure à la fréquence minimum.	
RELAIS D'ETAT MODULATEUR	Voir RELAIS AFFECTABLE	240 VAC - 7A (charge résistive). Activé lorsqu'il n'y a pas de défaut.	
SORTIE LOGIQUE AFFECTABLE	Collecteur ouvert : – 50 mA, source interne 24V, – 250 mA, source externe à partir du 0V.		
	Activé lorsque : - le modulateur est en marche, ou - la fréquence est supérieure à la fréquence minimum.	Activé lorsque : - il y a alarme surcharge, ou - le modulateur n'est pas en défaut.	
IMAGE DE LA FREQUENCE : SIGNAL NUMERIQUE	–	Collecteur ouvert + 24 / 0 V ±10 mA Signal carré de fréquence égale à la fréquence de sortie.	
IMAGE DE LA FREQUENCE : SIGNAL ANALOGIQUE	0 à +10V, 5 mA, précision ± 2 %, 0V = la fréquence nulle, 10V = la fréquence maximum réglée.		
IMAGE DU COURANT MOTEUR : SIGNAL ANALOGIQUE	0 à ± 10 V, 5 mA, précision ± 10 % pour des vitesses supérieures à 15 Hz. 0 V : courant nul. +10 V : FMV 2306 150 % I_N (charge entraînée), FMV 2306 AS 120 % I_N (charge entraînée). -10 V : FMV 2306 150 % I_N (moteur entraîné), FMV 2306 AS 120 % I_N (moteur entraîné).		
DIAGNOSTIC	Les 10 derniers défauts sont mémorisés.		
LIAISON SERIE	Communication : automate, PC, etc… RS 485 et RS 422. Protocole ANSI x 3.28 - 2.5 - A4.		
OPTIONS FILTRES ATTENUATEURS DE RADIO-PERTURBATIONS FLT - FMV	FLT - FMV 11 Ce filtre s'intègre à l'intérieur du modulateur.	FLT - FMV 22, 33 et 40 Ce filtre est extérieur au modulateur. FLT - FMV / FMV 2306 / FMV 2306 AS 22 / 16T et 22T / 16T et 22T 33 / 27T et 33T / 27T à 40T 40 / 40T / 50T	FLT - FMV 75 et 100 Ce filtre est extérieur au modulateur. FLT - FMV / FMV 2306 / FMV 2306 AS 75 / 50T à 75T / 60T et 75T 100 / 100T / 100T et 120T
SELFS MOTEURS POUR ATTENUATION DES COURANTS DE FUITE	SELF MC 3.5T SELF MC 11T	SELF MC 27T SELF MC 50T	SELF MC 50T SELF MC 75T SELF MC 120T
FREINAGE SUR RESISTANCES (4 QUADRANTS) T - FMV R - FMV	Transistor à l'extérieur du modulateur : T - FMV 30, T - FMV 32 Boîtier de résistances à l'extérieur du modulateur : R - FMV 320 à R - FMV 2000.	Transistor à l'intérieur du modulateur : T - FMV 25, T - FMV 50, T - FMV 75. Boîtier de résistances à l'extérieur du modulateur : R - FMV 320 à R - FMV 4000.	Transistor à l'intérieur du modulateur : T - FMV 150. Boîtier de résistances à l'extérieur du modulateur : R - FMV 1000 à R - FMV 4000.
MODULES DE LEVAGE	Boîtier extérieur LT - FMV + résistance R - FMV	Boîtier extérieur L - FMV + transistor T - FMV interne au FMV + résistance R - FMV.	
DEPORT DE LA MICRO-CONSOLE	CD - CORD 1.5, CD - CORD 3, CD - CORD 5 permettent de connecter à distance la micro-console du modulateur à respectivement 1,5m, 3m et 5m (sur demande jusqu'à 100m).		

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

1.3.Mise en œuvre d'un exemple industriel

3.8.4 - FMV 2306 16T à 100T et FMV 2306 AS 16T à 120T
Commande à partir du bornier :
- marche avec arrêt contrôlé,
- marche par impulsions.



QS : Sectionneur à fusibles.
AU : Bouton arrêt d'urgence.
SB1 : Bouton mise hors tension.
SB2 : Bouton mise sous tension.
SB3 : Commutateur normal/impulsions.
SB4 : Bouton marche impulsions double.
KA1 : Relais auxiliaire.
KM1 : Contacteur de ligne.
RP : Potentiomètre 2,2kΩ.
Tc : Transformateur de télécommande.
* Sans sonde CTP ou PTO : LK11 position 2.

Nota : - La bobine du contacteur et celle des relais et contacteurs seront équipées de RC.
- Blinder les raccordements de l'électronique de contrôle.

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Explications du schéma proposé par le constructeur

Partie puissance

Le raccordement du moteur au variateur de fréquence se fait directement (sans relais thermique) la fonction de protection thermique du moteur est souvent incluse dans le convertisseur. Pour les cas délicats il est necéssaire de contrôler la température directement dans les enroulements moteur. Des sondes CTP ou autres sont logées dans ces enroulements et reliées au variateur (bornes 4-9) qui contrôle donc en permanence la température moteur et peut, en cas d'échauffement anormal, couper son alimentation pour le laisser refroidir et prévenir l'environement du défaut (bornes 1-2-3)

L'ensemble convertisseur/moteur doit être relié sur le réseau par l'intermédiaire d'un dispositif de sectionnement (sectionneur + fusibles, disjoncteur magnéto-thermique…) incluant ou non les protections contre les court-circuits (fusibles type Gl ou disjoncteur courbe C) permettant toute intervention sur l'installation. Il est aussi quelque fois indispensable de prévoir un dispositif de commande (contacteur) pour assurer un arrêt certain que l'électronique ne garantie pas seule.

Partie commande

La référence fréquence est donnée par une tension appliquée entre les bornes 4 (-) et 5 (+) comprise entre 0 et 10 V DC. Il en serait de même pour une référence couple entre les bornes 4 (-) et 7 (+). L'entrée codeur permet d'avoir un retour vitesse par l'intermédiaire d'un codeur incrémental (16 impulsions par pôle machine) pour un mode de fonctionnement avec régulation de vitesse.

En l'absence de défaut externe (bornes 11-12 reliées) le système démarre en avant (bornes 11-15 reliées) ou en arrière (bornes 11-17 reliées) grace à la fermeture de KA1 (enclenché par SB2 et automaintenu si SB3 est en position normal) enclenchant la fermeture de KM1. La montée en vitesse se fait suivant une rampe programmée.

En cas de demande d'arrêt (appui sur SB1) KA1 est aussitôt désalimenté mais un contact temporisé au repos de KA1 laisse au variateur le temps de ralentir suivant une rampe programmée. Ce système est doublé d'un contact de contrôle du variateur s'ouvrant lorsque la fréquence de sortie est au dessous d'un seuil programmé (Z1-Z2).

Pour un fonctionnement impulsionnel le variateur doit être informé (bornes 11-A12 reliées). SB3 est en position impulsion, il n'y a donc pas d'automaintien possible sur KA1. Le fonctionnement est en tout point identique à ce qui à été dit aux deux chapitre précédent mais sans automaintien.

On notera la présence des deux fusible type Am (Fu5 et Fu6 un par phase) de protection contre les court-circuits phase-phase et phase-terre en amont du transformateur Tc. On remarque également la présence d'un pôle de précoupure toujours en amont du transformateur Tc. Ce transformateur Tc, avec écran d'antiparasitage relié à la terre, reforme un régime de neutre TT grace à la liaison d'une de ces bornes de sortie à la terre. Il est lui même protégé par un fusible (Fu7) de type Gl.

En cas de manœuvre de Qs en charge ou d'arrêt d'urgence (AU) le variateur est immédiatement mis hors tension et l'arrêt du moteur est libre.

Le site de l'ENSEIGNEMENT ELECTROTECHNIQUE ET INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

2. Onduleur de tension à contrôle du couple instantané

2.1. Entraînement à vitesse variable

Pour bien comprendre ce qu'est un entraînement à vitesse variable, il faut au préalable comprendre que sa fonction de base est de réguler le débit d'énergie entre le réseau d'alimentation électrique et l'application.
L'énergie est transmise à l'application par l'intermédiaire de l'arbre mécanique du moteur. Deux grandeurs physiques décrivent l'état de l'arbre moteur : le couple et la vitesse de rotation. Pour contrôler et réguler le débit d'énergie, il faut par conséquent agir sur ces deux grandeurs. Dans la pratique, on agit sur une de ces deux variables, et on parle alors de "régulation de couple" ou de "régulation de vitesse". Dans un entraînement à vitesse variable fonctionnant en mode régulation de couple, la vitesse est fonction de la charge. Inversement, lorsqu'il fonctionne en mode régulation de vitesse, le couple est également fonction de la charge. A l'origine, seuls les moteurs à courant continu étaient utilisés pour les entraînements à vitesse variable car ils permettaient d'obtenir la vitesse et le couple requis sans recourir à des dispositifs électroniques complexes. Cependant, le développement des variateurs de vitesse à courant alternatif résulte en partie de la volonté d'obtenir les niveaux de performances très élevés des moteurs à courant continu (en termes de temps de réponse en régulation de couple et de précision en régulation de vitesse) avec des moteurs à courant alternatif, réputés pour leur robustesse, leur coût plus abordable et leur simplicité de maintenance.

2.2. Comparaison des différentes techniques de commande des moteurs

Entraînements à courant continu

Les spécificités :

- Orientation du flux assurée par un ensemble mécanique (collecteur et balais).
- Les variables de commande sont le courant d'induit et le courant d'inducteur, mesurés DIRECTEMENT sur le moteur.
- La régulation de couple est directe.

Les avantages :

- Régulation de couple précise et rapide.
- Précision dynamique élevée en régulation de vitesse.
- Simplicité de la technique de commande.

Les inconvénients :

- Fiabilité des moteurs.
- Contraintes de maintenance.
- Coût d'achat élevé des moteurs.
- Surcoûts des capteurs.

Entraînements à courant alternatif

Les spécificités (commande en fréquence) :

- Les variables de commande sont la tension et la fréquence.
- Simulation de la tension c.a. sinusoïdale par un modulateur.
- Contrôle de flux avec rapport U/f constant.
- Entraînement en boucle ouverte.
- Le couple est fonction de la charge.

Les avantages :

- Faible encombrement.
- Robustesse, légéreté et compacité.
- Coût réduit.
- Maintenance réduite.
- Simplicité du fait de l'absence de capteur.

Les inconvénients :

- L'état électromagnétique du moteur n'est pas pris en compte.
- Pas de contrôle, ni de régulation de couple.

Le site ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

- Temps de réponse plus longs du fait du modulateur.

Entraînements à courant alternatif

Les spécificités (contrôle vectoriel modulation MLI) :

- Contrôle indirect de l'orientation du flux comme pour un entraînement c.c.
- Modélisation des caractéristiques électriques du moteur.
- Entraînement en boucle fermée.
- Régulation INDIRECT du couple.

Les avantages :

- Faible encombrement.
- Robustesse, légéreté et compacité.
- Maintenance réduite.
- Temps de réponse courts en régulation de couple.
- excellente précision en régulation de vitesse et de position.
- Couple maxi à vitesse nulle.
- Performances comparables à celles des entraînements c.c.

Les inconvénients :

- Utilisation obligatoire d'un capteur de position angulaire.
- Technique coûteuse.

Le Site ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Entraînements à courant alternatif

Les spécificités (contrôle et modulation vectoriel) :

- Contrôle direct de l'orientation du flux comme pour un entraînement c.c.
- Modélisation des caractéristiques électriques du moteur.
- Entraînement en boucle fermée.
- Régulation DIRECT du couple.

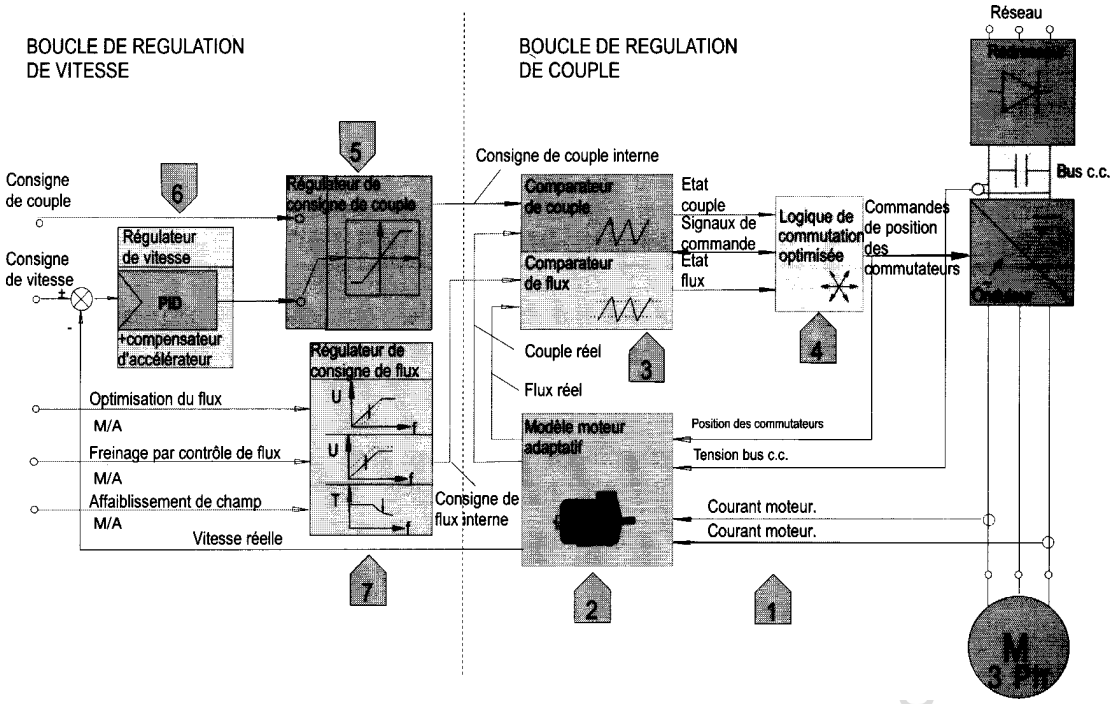
Les avantages :

- Faible encombrement.
- Robustesse, légéreté et compacité.
- Maintenance réduite.
- Simplicité du fait de l'absence de capteur.
- Temps de réponse extrèmement courts en régulation de couple.
- bonne précision en régulation de vitesse et de position. (excellente avec codeur)
- Couple maxi à vitesse très faible. (à vitesse nulle avec codeur)
- Capteur de position angulaire facultatif. (nécessaire pour positionnement ou grande précision sur la vitesse)

Les inconvénients :

- Technique très coûteuse.

2.3.Structure d'un exemple industriel ABB Direct Tork Control



Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

1 Mesure de la tension et du courant

En mode de fonctionnement normal, seuls le courant sur deux phases du moteur et la tension du bus c.c. sont rélevés, ainsi que la position des commutateurs de l'onduleur.

2 Modèle Moteur Adaptatif

Les valeurs rélevées sur le moteur sont fournies au Modèle Moteur Adaptatif. La modélisation mathématique du fonctionnement du moteur permet de calculer de manière très précise les données du moteur. Lors de la mise en service du variateur DTC, le Modèle Moteur collecte des données en exécutant la fonction d'identification du moteur. Il s'agit d'un véritable auto-calibrage au cours duquel des grandeurs telles que la résistance statorique, l'inductance mutuelle et les coefficients de saturation sont relevées ainsi que l'inertie du moteur. Aucun capteur de position ou de vitesse n'est nécessaire si un niveau de précision statique de vitesse avec une erreur de vitesse de 0,5 % est requis, comme l'exige la plupart des applications industrielles.

3 Comparateur de couple et comparateur de flux

Les signaux de commande des commutateurs (composants de puissance) sont élaborés dans les comparateurs de couple et de flux. Les valeurs estimés de couple et de flux sont transmises aux comparateurs où elles sont comparées, toutes les 25 microsecondes, à une consigne de couple et une consigne de flux. Ces signaux sont ensuite transmis à la logique de commutation optimisée.

4 Logique de commutation optimisée

Le bloc de la logique de commutation optimisée intègre un processeur numérique du signal de 40 MHz (technologie DSP) et un circuit ASIC dont la fonction est de déterminer la séquence de commutation de l'onduleur. Par ailleurs, tous les signaux de commande sont transmis par liaisons optiques, garantie d'une transmission à très grande vitesse. Le recours à ces technologies les plus avancées et à de telles vitesses de traitement et de communication permet d'optimiser, toutes les 25 micro-secondes, la séquence de commutation des semiconducteurs de l'onduleur, et ainsi générer ou maintenir le couple moteur très précisément. La séquence de commutation optimale est ainsi établie à chaque cycle de commande de telle sorte qu'il n'y a pas de séquence prédéterminée. Ce taux d'actualisation est un élément fondamental des performances de la technologie DTC ; en effet, les principales variables de commande du moteur sont actualisées 40.000 fois par seconde. D'une part, c'est ce qui permet d'agir très rapidement au niveau de l'arbre moteur et, d'autre part, de telles capacités de traitement sont nécessaires au Modèle Moteur pour actualiser ces variables. C'est cette vitesse de traitement qui est principalement à l'origine des performances de la technologie DTC, notamment l'erreur statique de vitesse en régulation de vitesse, sans capteur, inférieure à 0,5 % et le temps de montée du couple inférieur à 2 ms.

5 Régulateur de consigne de couple

Au sein du régulateur de consigne de couple, la valeur du signal de sortie de la régulation de vitesse est limitée par les limites de couple et la tension du bus c.c. Il inclut également une régulation de vitesse pour les applications où un signal de couple externe est utilisé. La consigne de couple interne issue de ce bloc est envoyée au comparateur de couple.

6 Régulateur de vitesse

Le bloc du régulateur de vitesse est constitué d'un régulateur PID et d'un compensateur d'accélérateur. Le signal de consigne de vitesse externe est comparé à la valeur du signal de vitesse issu du Modèle Moteur. La valeur d'écart est ensuite transmise à la fois au régulateur PID et au compensateur d'accélérateur. La valeur finale correspond à la somme des valeurs de sortie de ces deux derniers.

7 Régulateur de consigne de flux

Une valeur absolue de flux statorique peut être fournie par le régulateur de consigne de flux au bloc "comparateur de flux". C'est l'aptitude à contrôler et à modifier cette valeur absolue qui

ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

permet de réaliser de nombreuses fonctions du variateur, notamment l'optimisation du flux, le freinage par contrôle de flux et l'affaiblissement de champ.

Le Site 3E.I ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Travail personnel

1. Mise en œuvre et programmation d'un convertisseur en U/f pour machine asynchrone.

NOTE

LEROY-SOMER se réserve le droit de modifier les caractéristiques de ses produits à tout moment pour y apporter les derniers développements technologiques. Les informations contenues dans ce document sont donc susceptibles de changer sans avis préalable.
LEROY-SOMER ne donne aucune garantie contractuelle quelle qu'elle soit en ce qui concerne les informations publiées dans ce document et ne sera tenu pour responsable des erreurs qu'il peut contenir, ni des dommages occasionnés par son utilisation.

IMPORTANT

Les actionneurs électroniques de puissances (variateurs de vitesse, démarreurs) ne peuvent pas être utilisés comme des dispositifs de coupure (encore moins de sectionnement) au sens de la norme EN 60204 - 1 de 1992, chapitre 5.
Si un démarrage intempestif de l'installation présente un risque pour les personnes ou les machines entraînées, il est indispensable d'alimenter l'appareil à travers un dispositif de sectionnement et un dispositif de coupure (contacteur de puissance) commandable par une chaîne de sécurité extérieure (arrêt d'urgence, détection d'anomalies sur l'installation).
Pour la sécurité de l'utilisateur, ce modulateur doit être relié à une mise à la terre réglementaire (borne ⏚).
AVANT TOUTE INTERVENTION, TANT SUR LA PARTIE ÉLECTRIQUE QUE SUR LA PARTIE MÉCANIQUE DE L'INSTALLATION OU DE LA MACHINE :
- vérifier que l'alimentation du modulateur a bien été coupée (sectionneur à fusibles ou disjoncteur) et verrouillée manuellement, **attendre 5 minutes avant toute intervention,**
- contrôler que la tension des condensateurs est nulle.

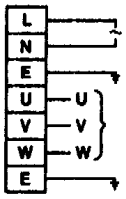
En cas de non respect de ces dispositions, LEROY-SOMER décline toute responsabilité de quelque nature que ce soit.

1 - CARACTERISTIQUES GENERALES

Tension d'alimentation (entrée monophasée)	210 à 240V ± 10 %,50/60Hz ± 2Hz
Intensité absorbée en ligne (entrée)	4,6A
Intensité nominale permanente du modulateur (sortie)	2A
Puissance nominale moteur utile	0,37 kW
Surcharge admissible	150 % de I nominal pendant 30s
Température de fonctionnement	0° à 40°C
Pertes	40W
Encombrement : l x h x p	80 x 136 x 175 mm
Masse	1 kg
Indice de protection	IP 20
Fixation : - par rail DIN centré à 36 mm du haut et 100mm du bas, ou - par support : entraxe vertical 152 mm, Ø5.	

2 - RACCORDEMENTS

2.1 - Bornier de puissance



Borne	Fonction
L - N	Alimentation monophasée du modulateur 210 à 240V ± 10 % **Protection par fusible gl 6A**
E	Raccordement de la terre (réseau)
U - V - W	Alimentation moteur *
E	Raccordement de la terre du moteur

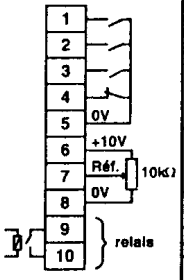
* Pour être conforme aux normes de compatibilité électromagnétique, il est recommandé de blinder les câbles moteurs et de connecter le blindage à la borne E.

LEROY SOMER

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

2.2 - Bornier de contrôle



Borne	Fonction	Caractéristiques
1	Programmable (b10 - b12) : - effacement défaut, ou - vitesse préréglée.	Impulsion 0V = effacement défaut ou Liaison 0V = vitesse préréglée
2	Sélection sens de rotation Avant/Arrière	Liaison au 0V = arrière Non connecté = Avant
3	Marche/Arrêt	Liaison au 0V = marche Non connecté = arrêt
4	Programmable (b10 - b12) : - défaut extérieur, ou - vitesse préréglée.	Ouverture du 0V = défaut extérieur ou Liaison 0V = vitesse préréglée
5	0V commun borne 8	0V flottant
6	Alimentation potentiomètre	10VDC
7	Entrée référence vitesse	0 à 10VDC ou 0 - 20, 4 - 20, 20 - 4 mA
8	0V commun borne 5	0V flottant ou retour 4 - 20 mA
9 - 10	Relais programmable (b5 - b6)	24VDC - 1 A, 120VAC - 0,5A résistif

3 - PARAMETRAGE DU MODULATEUR

3.1 - Utilisation du clavier

1 - A la mise sous tension, ***rdY*** s'affiche. La fréquence moteur apparaît si celui-ci est en fonctionnement.
2 - Appuyer sur MODE pour visualiser le numéro du paramètre, puis sa valeur.
3 - Les touches [△] et [▽] permettent le défilement des paramètres.
4 - Pour modifier un paramètre, l'afficher, presser MODE, utiliser [△] et [▽] pour changer sa valeur, presser MODE pour revenir en visualisation.
5 - L'afficheur revient à l'étape 1 après 8 secondes si aucune touche n'est pressée.

3.2 - Les paramètres

Paramètre	Description	Plage de réglage	Unité	Réglage usine
Pr0	Fréquence minimum ou " vitesse préréglée 2 ".	0 à Pr1	Hz	0
Pr1	Fréquence maximum ou " vitesse préréglée 3 ".	Pr0 à LFm (LFm = limite de la fréquence maximum)	Hz	50
Pr2	Rampe d'accélération.	0,2 à 600	s	5,0
Pr3	Rampe de décélération.	0,2 à 600	s	10,0
Pr4	Non utilisé	-	-	-
Pr5	Intensité maximum permanente.	10 à 105	% I_N	100
Pr6	Couple à basse vitesse (BOOST).	0 à 25,5	% U_N	9,8
Pr7	" vitesse préréglée 1 ".	0 à LFm	Hz	0
Pr8	Durée du freinage par injection de courant continu.	0 à 16	s	1

LEROY SOMER
Le S ENSEIGNE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

3.2 - Les paramètres

Paramètre	Description	Plage de réglage	Unité	Réglage usine
Pr9	Sur-fluxage de moteur non standard **	0 à 99	-	11
PrA	Dernier défaut.	Code de défauts (voir § 5)	-	Et
Prb	Code de : - par le clavier, sécurité - par la liaison série.	100 à 255 0 à 255	- -	0 0
b0	Sélection : effacement défaut automatique ou commandé.	b0 = 0 : commandé b0 = 1 : automatique	-	0
b1	Commande effacement défaut	b1 = 0 : effacement défaut	-	1
b2 - b7	Sélection : mode d'arrêt	b2 = 0 ou 1 ; b7 = 0 ou 1	-	b2 = 0 b7 = 0

b2	b7	Mode d'arrêt
0	0	Arrêt sur rampe ou allongement de la rampe si la limite de tension haute du bus continu est atteinte.
0	1	Arrêt en roue libre.
1	0	Injection de courant continu.
1	1	Arrêt sur rampe sans contrôle de tension.

b3	Sélection référence de vitesse *	b3 = 0 : tension (0 à +10V) b3 = 1 : courant (en mA)	-	0
b4	Sélection de Pr0	b4 = 1: Pr0 = fréquence minimum b4 = 0 : Pr0 = vitesse préréglée 2	-	1
b5 - b6	Affectation du relais programmable (bornes 9 et 10)	b5 = 0 ou 1 b6 = 0 ou 1	-	b5 = 1 b6 = 1

b5	b6	Relais activé (fermé)
0	0	Le modulateur a atteint la vitesse demandée.
0	1	Le modulateur est au dessus de la fréquence minimum.
1	0	Le modulateur est en fonctionnement (déverrouillé).
1	1	Le modulateur n'est pas en défaut (mise sous tension).
b5	**b6**	**Relais désactivé (ouvert)**
0	0	Le modulateur n'a pas atteint la vitesse demandée.
0	1	Le modulateur est à la fréquence minimum.
1	0	Le modulateur n'est pas en fonctionnement (verrouillé).
1	1	Le modulateur est en défaut ou hors tension.

b8	Sélection : affichage - fréquence de sortie ou courant.	b8 = 0 : fréquence (Hz) b8 = 1 : courant (% In)	-	0
b9	Sélection : commande par le clavier ou bornier.	b9 = 0 : clavier b9 = 1 : bornier	-	1

* Régler d'abord b11.
** Attention : Pr9 > 52 = échauffement du moteur.

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

<table>
<tr><th>Paramètre</th><th>Description</th><th>Plage de réglage</th><th>Unité</th><th>Réglage usine</th></tr>
<tr><td>b10
b12</td><td>Affectation des bornes 1 et 4
<table>
<tr><th>b10</th><th>b12</th><th>Borne 1</th><th>Borne 4</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>Entrée effacement défaut</td><td>Entrée défaut extérieur</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>Entrée effacement défaut</td><td>Vitesse préréglée 1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>Vitesse préréglée 1</td><td>Entrée défaut extérieur</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td colspan="2">Sélection des références fréquence suivant l'état des bornes 1 et 4 (par rapport au 0V).
<table>
<tr><th>Borne 1</th><th>Borne 4</th><th>Référence fréquence</th></tr>
<tr><td>Ouvert</td><td>Ouvert</td><td>Borne 7</td></tr>
<tr><td>Fermé</td><td>Ouvert</td><td>Vitesse 1</td></tr>
<tr><td>Ouvert</td><td>Fermé</td><td>Vitesse 2</td></tr>
<tr><td>Fermé</td><td>Fermé</td><td>Vitesse 3</td></tr>
</table></td></tr>
</table></td><td>b10 = 0 ou 1
b12 = 0 ou 1</td><td>-</td><td>b10 = 0
b12 = 0</td></tr>
<tr><td>b11</td><td>Sélection de la référence analogique.
b11 = Ur : 0 à + 10V ; b11 = 4.20 : 4 à 20 mA ;
b11 = 20.4 : 20 à 4 mA ; b11 = 0.20 : 0 à 20 mA</td><td></td><td></td><td>Ur</td></tr>
<tr><td>b13</td><td>Sélection des paramètres d'origine (réglages usine).</td><td>b13 = 0 : inactif
b13 = 1 : réglages usine</td><td>-</td><td>0</td></tr>
<tr><td>b14</td><td>Sélection : Fréquence de découpage et LFm (limite de la fréquence maximum de sortie).
Fdécoupage/LFm
b14 = 2.9/120 ou 240 ; b14 = 5.9/120 ou 240 ou 480
b14 = 8.8/120 ou 240 ou 480 ; b14 = 11.7/120 ou 240 ou 480 ou 960</td><td></td><td>kHz/Hz</td><td>2.9/120</td></tr>
<tr><td>Prc</td><td>Fréquence de base, point nominal</td><td>50 à LFm</td><td>Hz</td><td>50</td></tr>
</table>

4 - SIGNALISATION PAR AFFICHEUR

4.1 - Etat modulateur

Affichage	Description
" rdY "	Moteur à l'arrêt, sortie modulateur inactive.
Valeur numérique	Moteur en fonctionnement - fréquence de sortie (Hz), ou - courant de sortie (% I_N) suivant b8, ou - consigne de fréquence (Hz) (si b9 = 0).
" dcb "	Freinage par injection de courant est actif. (Voir b2, b7).
" Inh "	Le moteur s'arrête en roue libre, la sortie du modulateur n'est pas active. (Voir b2, b7).
Les points décimaux clignotent	Le modulateur est en surcharge I x t. (Voir Pr5).

4.2 - Messages de défaut

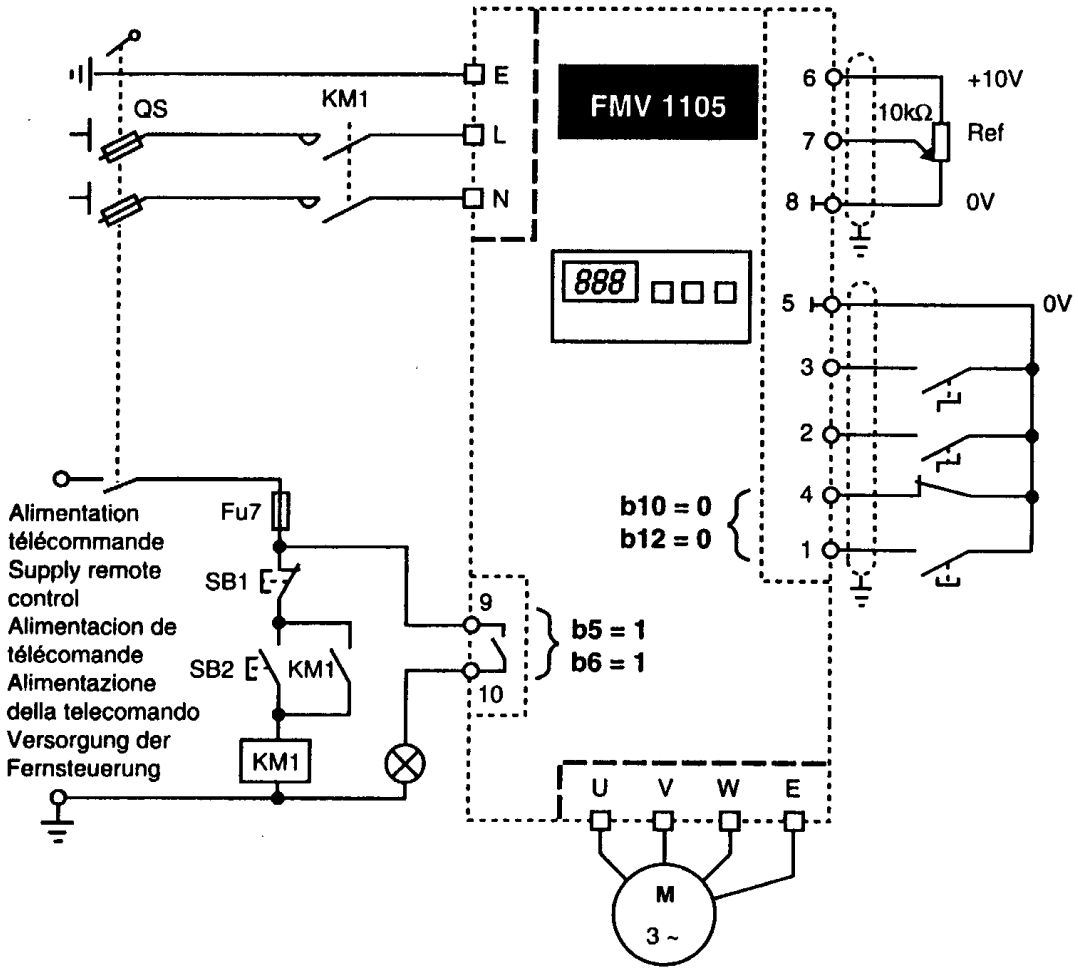
Mnémonique afficheur	Raison du défaut
cL	Perte de la référence en courant
Err	Défaut de " HARD " à la mise sous tension.
Et	Défaut externe forcé.
It	Défaut surcharge I x t.
PS	Défaut alimentation interne.
OI	Surintensité instantanée.
OU	Surtension bus continu.
UU	Sous tension bus continu.
to	Défaut persistant après 3 effacements défaut automatiques

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

5 - SCHEMAS - DIAGRAMS - ESQUEMAS - SCHEMA DI COLLEGAMENTO - SCHALTBILDER

5.1 - Schéma standard de commande par le bornier et relais défaut
- Standard connection diagram for terminal block control and fault relay
- Esquema standard de mando mediante el terminal y relé de defecto
- Collegamento standard per comando tramite la morsettiera e relais di guasto
- Steuerung über die Klemmenleiste und Betriebsanzeige

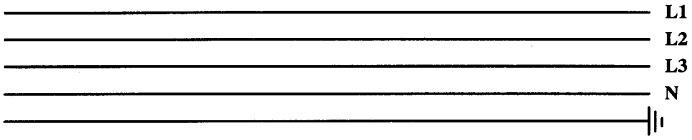


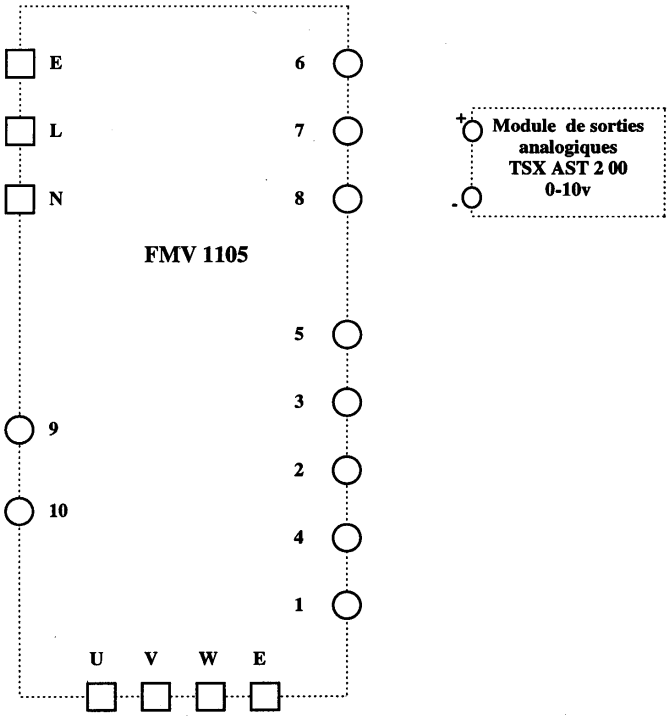
Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

1. Donner le schéma de raccordement du variateur ci-dessous à partir du reseau 3 x 400V 50 Hz

- Un voyant signalera un défaut ou une mise hors tension du variateur (allumé sur défaut)
- Prise en compte d'un défaut extérieur (contact no et nc disponible)
- Un bouton poussoir (no) situé sur le pupitre permet l'effacement du défaut
- Un seul sens de rotation est utile : Avant
- Le variateur est toujours en marche c'est la consigne en 7 qui permet l'arrêt (0 VDC)
- La consigne fréquence est donnée par un module de sortie analogique 0 – 10 VDC
- Les rampes d'accélération et de décélération ont une durée de 5s et 7s respectivement
- L'arrêt se fait avec contrôle de la tension du bus continu
- Contacteur avec bobine 24V 50 Hz
- Préciser les types et calibres des protection





Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

2. Compléter le document de paramétrage

Paramètre	Réglage	Commentaires
Pr0	0	fréquence mini
Pr1	50	fréquence maxi
Pr2		
Pr3		
Pr4	-	non utilisé
Pr5	100	courant permanent
Pr6	9.8	Boost
Pr7	0	vitesse préréglée 1
Pr8	1	durée freinage
Pr9	11	sur-fluxage
PrA	Et	code dernier défaut
Prb	0	code de sécurité
b0	0	effacement défaut commandé
b1	1	pas d'effacement défaut
b2 - b7		
b3		
b4	1	Pr0 = fréquence mini
b5 - b6		
b8	0	affichage fréquence
b9	1	commande par bornier
b10 - b12		
b11		
b13	0	inactif
b14	2.9/120	fréquence de découpage
Prc	50	fréquence nominale

2. Mise en œuvre d'un convertisseur en U/f pour machine asynchrone avec automate programmable industriel.

A partir du schéma de mise en œuvre proposé par le constructeur pour le FMV 2306 et des explications de fonctionnement (II.1.3) :

1. Donner les modifications à apporter au schéma de mise en œuvre du FMV 2306 pour une commande par automate programmable (complêter le schéma donné) :
   Entrées automate programmable
   - Bp Marche
   - Bp Arrêt
   - Bp Marche impulsionnelle
   - Bp Arrêt d'Urgence

   Sorties automate programmable
   - Logiques autant que nécessaire
   - Analogique pour donner la consigne fréquence (les rampes sont gérées par l'API)
2. Donner les GRAFCET correspondant à ce schéma de mise en œuvre :
   - GRAFCET Marche Normale
   - GRAFCET Marche Impulsionnelle
   - GRAFCET Arrêt d'Urgence

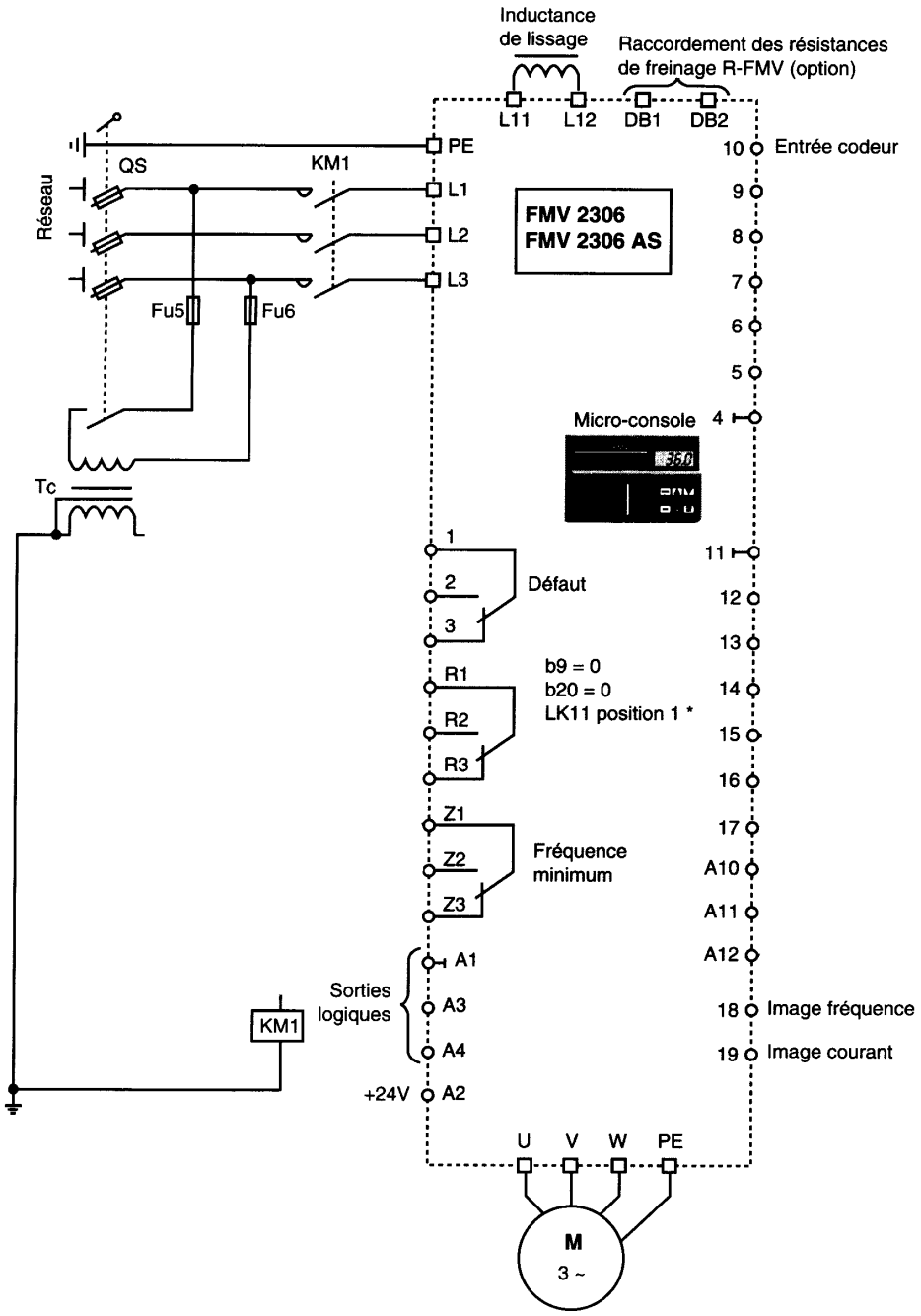
ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Schéma à complêter

3.8.4 - FMV 2306 16T à 100T et FMV 2306 AS 16T à 120T
Commande à partir du bornier :
- marche avec arrêt contrôlé,
- marche par impulsions.



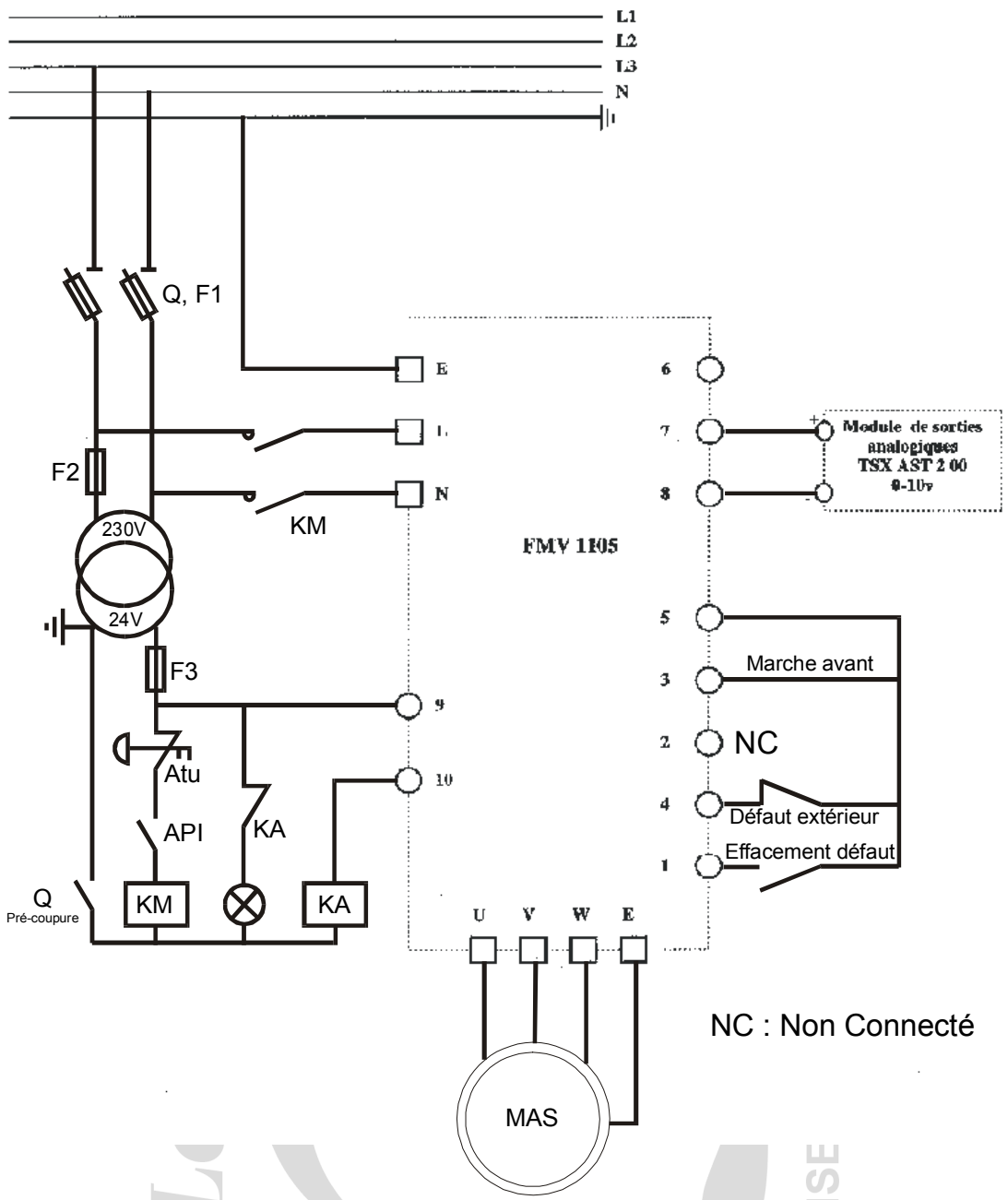
Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

Autocorrection

1. Mise en œuvre et programmation d'un convertisseur en U/f pour machine asynchrone.

1. Donner le schéma de raccordement du variateur ci-dessous à partir du reseau 3 x 400V 50 Hz



Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

2. Compléter le document de paramétrage

Paramètre	Réglage	Commentaires
Pr0	**0**	**fréquence mini**
Pr1	**50**	**fréquence maxi**
Pr2	5	Rampe d'accélération : 5s
Pr3	7	Rampe de décélération : 7s
Pr4	**-**	**non utilisé**
Pr5	**100**	**courant permanent**
Pr6	**9.8**	**Boost**
Pr7	**0**	**vitesse préréglée 1**
Pr8	**1**	**durée freinage**
Pr9	**11**	**sur-fluxage**
PrA	**Et**	**code dernier défaut**
Prb	**0**	**code de sécurité**
b0	**0**	**effacement défaut commandé**
b1	**1**	**pas d'effacement défaut**
b2 - b7	0 - 0	Arrêt sur rampe avec contrôle du bus continu
b3	0	Référence vitesse en tension 0 - 10 V DC
b4	**1**	**Pr0 = fréquence mini**
b5 - b6	1 - 1	Relais ouvert si défaut ou hors tension
b8	**0**	**affichage fréquence**
b9	**1**	**commande par bornier**
b10 - b12	0 - 0	4 défaut extérieur, 1 effacement défaut
b11	Ur	Référence analogique 0 -10 V
b13	**0**	**inactif**
b14	**2.9/120**	**fréquence de découpage**
Prc	**50**	**fréquence nominale**

Le Site ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE

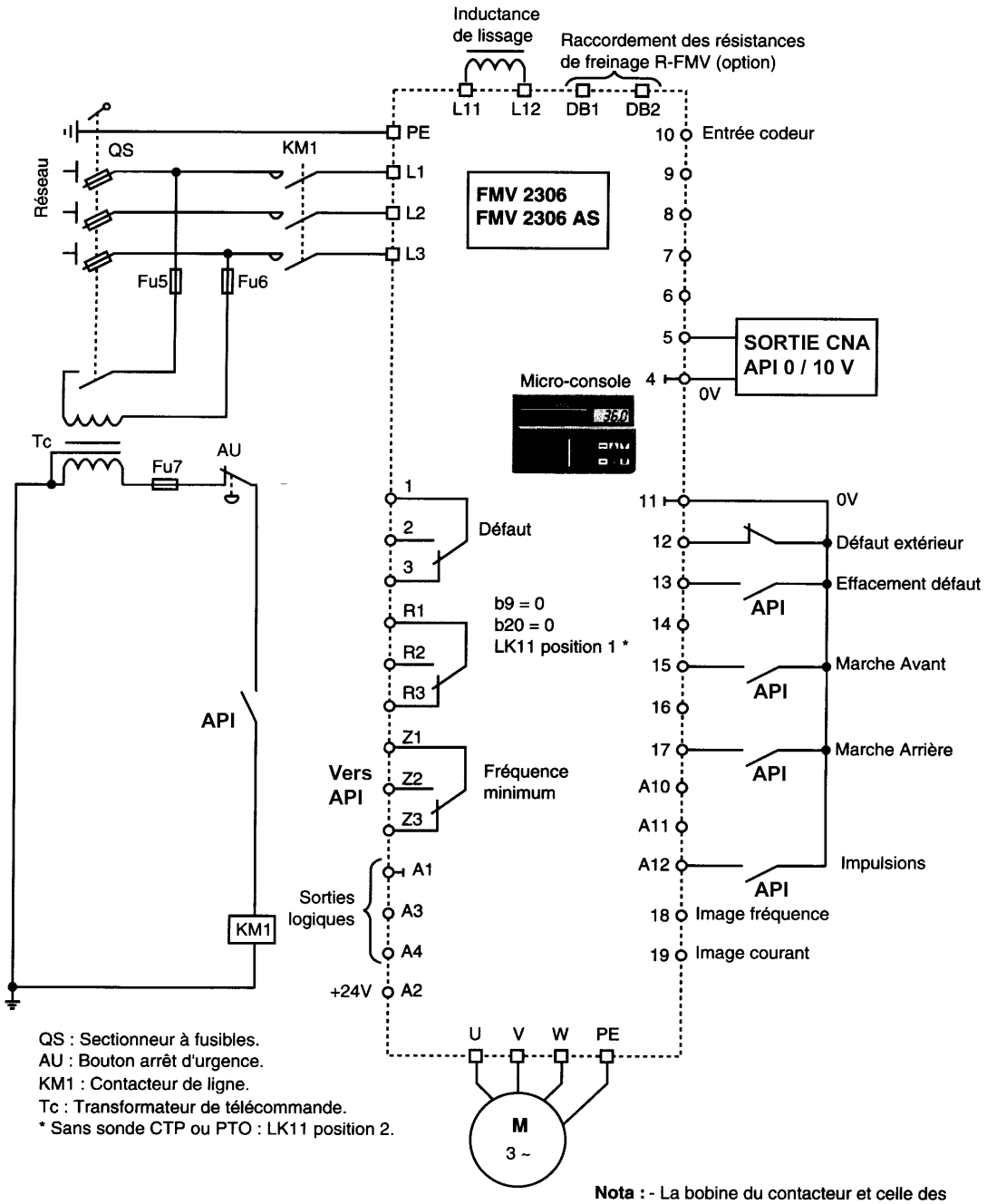
Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

2. Mise en œuvre d'un convertisseur en U/f pour machine asynchrone avec API.

1. schéma de mise en œuvre du FMV 2306 pour une commande par automate programmable

3.8.4 - FMV 2306 16T à 100T et FMV 2306 AS 16T à 120T
Commande à partir du bornier :
- marche avec arrêt contrôlé,
- marche par impulsions.



QS : Sectionneur à fusibles.
AU : Bouton arrêt d'urgence.
KM1 : Contacteur de ligne.
Tc : Transformateur de télécommande.
* Sans sonde CTP ou PTO : LK11 position 2.

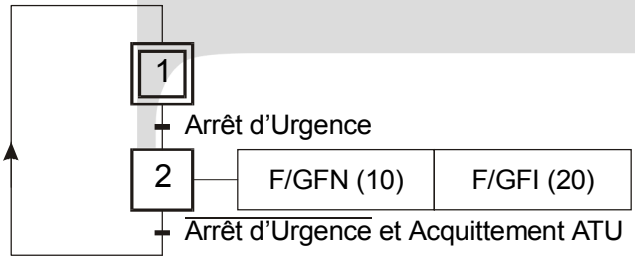
Nota : - La bobine du contacteur et celle des relais et contacteurs seront équipées de RC.
- Blinder les raccordements de l'électronique de contrôle.

Philippe LE BRUN
Lycée Louis ARMAND
173 Bd de Strasbourg
94736 NOGENT sur Marne

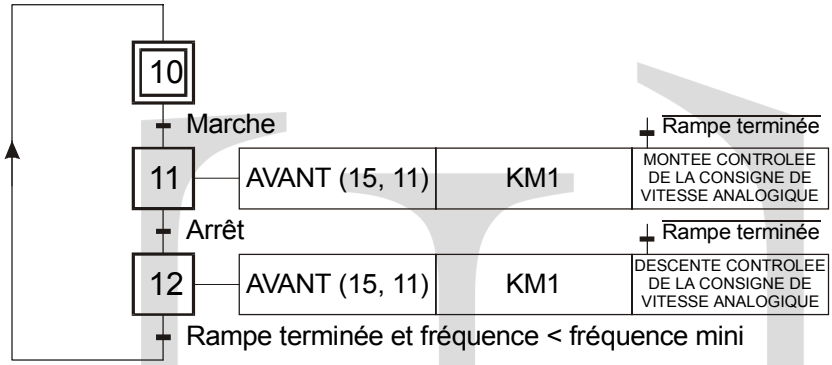
Florence.vadee@wanadoo.fr
☎ : 01 45 14 28 28
🖷 : 01 48 73 63 15

2. Donner les GRAFCET correspondant à ce schéma de mise en œuvre :

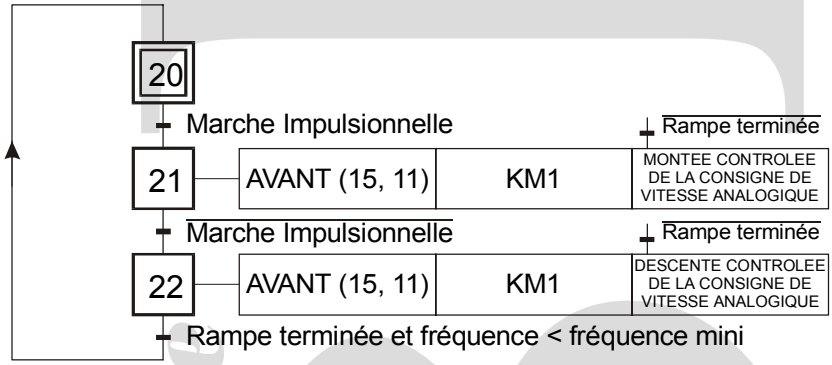
GRAFCET Arrêt d'Urgence



GRAFCET Fonctionnement Normal (GFN)



GRAFCET Fonctionnement Impulsionnel (GFI)



Le Site ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE