

RÉALISATIONS : DÉMARRAGE, VARIATION DE VITESSE, FREINAGE

les moteurs électriques

continu alternatif monophasé triphasé

EXPLIQUÉS AUX ÉLECTRONICIENS

Gérard Guihéneuf

NOUVEAU CHAPITRE : moteurs sans balais

Réalisation : banc d'essai pour moteurs pas à pas unipolaires



Sommaire

Introduction

11

Avertissement

12

1. Électronique appliquée au moteur à courant continu

1.1	Domaines d'utilisation des moteurs à courant continu	14
1.2	Constitution du moteur à courant continu	17
1.3	Fonctionnement du moteur à courant continu	21
1.4	Différents modes d'alimentation de l'induit et de l'inducteur	23
1.5	Principe de la variation de vitesse d'un moteur à courant continu ..	25
1.6	Variation de vitesse par convertisseur alternatif/continu (redresseurs commandés par des thyristors)	30
1.6.1	Pont redresseur à diode P1 sur charge RLE	30
1.6.2	Pont redresseur à diodes PD2 sur charge RLE	34
1.6.3	Pont redresseur commandé par des thyristors PD2 sur charge RLE	36
1.6.4	Conduction continue d'un pont redresseur à thyristors	36
1.6.5	Quadrants de fonctionnement de l'association variateur/moteur	39
1.7	Analyse fonctionnelle du schéma de mise en œuvre d'un variateur de vitesse industriel	43
1.8	Dimensionnement des constituants d'un système industriel (exemple)	46
1.8.1	Cahier des charges simplifié	46
1.8.2	Dimensionnement et choix du moteur	47
1.8.3	Dimensionnement et choix du variateur	50
1.8.4	Dimensionnement et choix des protections (fusibles)	53

1.9 Optimisation de l'association moteur/variateur (paramétrage d'un variateur de vitesse)	54
1.10 Évaluation intermédiaire (exercices E1 à E4)	58
E1 ♦ Questionnaire VRAI/FAUX (quiz)	58
E2 ♦ Questionnaire à choix multiples (QCM)	59
E3 ♦ Grue portuaire (calculs de grandeurs électriques complémentaires)	59
E4 ♦ Dimensionnement et choix des constituants d'un système (convoyeur)	60
1.11 Variation de vitesse par convertisseur continu/continu (hacheurs à transistors IGBT)	62
1.11.1 Hacheur série sur charge résistive	62
1.11.2 Commutation statique par transistor MOSFET ou IGBT	65
1.11.3 Hacheur série non réversible sur charge RLE (moteur à courant continu)	65
1.11.4 Hacheur réversible en courant (hacheur à deux quadrants)	68
1.11.5 Hacheur réversible à quatre quadrants	72
1.12 Évaluation intermédiaire (exercices E5 à E7)	75
E5 ♦ Questionnaire VRAI-FAUX (quiz)	75
E6 ♦ Questionnaire à choix multiples (QCM)	75
E7 ♦ Vélo à assistance électrique	76
1.13 Réalisation d'un variateur de vitesse pour mini-perceuse à courant continu	78
1.13.1 Cahier des charges	78
1.13.2 Obtention d'une vitesse variable	79
1.13.3 Analyse du schéma	79
1.13.4 Dimensionnement des résistances R3 et R4	80
1.13.5 Réalisation pratique	81
1.13.6 Liste des composants	84
1.13.7 Essais – Mise au point	84
1.14 Réalisation d'un variateur de vitesse pour train miniature	86
1.14.1 Cahier des charges	87
1.14.2 Analyse du schéma	87
Alimentation réglable	87
Hacheur série à transistors	90
Réalisation pratique	94
Liste des composants	95
Essais – Mise au point	95
1.15 Conclusion	99

2. Électronique appliquée aux moteurs monophasés	
2.1 Applications domestiques des moteurs monophasés	102
2.2 Moteur asynchrone monophasé à induction	104
2.2.1 Constitution	104
2.2.2 Fonctionnement du moteur asynchrone monophasé	106
2.2.3 Interprétation des informations du constructeur	110
2.2.4 Démarrage et inversion du sens de rotation	113
2.2.5 Conception d'un schéma et dimensionnement de constituants	118
Cahier des charges simplifié d'un portail électrique	119
Lecture commentée du schéma électrique	119
Dimensionnement et choix des composants électriques du circuit de puissance	123
2.3 Moteur asynchrone monophasé à bagues de déphasage	126
2.3.1 Constitution	126
2.3.2 Fonctionnement du moteur monophasé à bagues de déphasage	126
2.3.3 Caractéristiques et domaines d'utilisation	128
2.4 Moteur universel	129
2.4.1 Constitution	129
2.4.2 Fonctionnement du moteur universel – Inversion du sens de rotation	130
2.4.3 Caractéristiques et domaines d'utilisation	131
2.5 Variation de vitesse des moteurs asynchrones monophasés	134
2.5.1 Variation de vitesse du moteur universel	134
2.5.2 Variation de vitesse du moteur universel	137
2.6 Évaluation	139
E1 ♦ Questionnaire VRAI/FAUX (quiz)	139
E2 ♦ Questionnaire à choix multiples (QCM)	140
E3 ♦ Interprétation des informations mentionnées sur la plaque signalétique d'un moteur	141
E4 ♦ Maintenance du système électrique du portail semi-automatique	142
E5 ♦ Remplacement du moteur du système électrique du portail semi-automatique	142
E6 ♦ Variation de vitesse d'un moteur universel de perceuse	142
2.7 Démarrage à contacteur statique à deux points de commande pour moteur asynchrone monophasé à induction	143
2.7.1 Cahier des charges	143
2.7.2 Analyse du schéma électronique	145
2.7.3 Réalisation pratique	149

2.7.4	Liste des composants	151
2.7.5	Essais – Mise au point	151
2.8	Variateur de vitesse pour moteur universel	154
2.8.1	Cahier des charges et choix technologique retenu	154
2.8.2	Analyse du schéma électronique	155
2.8.3	Réalisation pratique	159
2.8.4	Liste des composants	160
2.8.5	Essais – Mise au point	161
2.9	Conclusion	164
3.	Électronique appliquée aux moteurs asynchrones triphasés	
3.1	Applications industrielles du moteur asynchrone triphasé	166
3.2	Caractéristiques couple/vitesse et puissance/vitesse des charges entraînées	169
3.3	Constitution et principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé	174
3.3.1	Constitution du moteur asynchrone triphasé	174
	Le stator	175
	Le rotor	176
3.3.2	Principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé	176
3.4	Interprétation des informations fournies par les constructeurs	181
3.4.1	Données techniques consultables dans le catalogue du constructeur	181
3.4.2	Informations techniques disponibles sur la plaque signalétique	184
3.4.3	Déduction de données complémentaires	184
3.5	Couplage de la plaque à bornes	188
3.6	Démarrateurs électromécaniques à contacteurs	190
3.6.1	Problématique	190
3.6.2	Démarrateur direct à contacteur (un seul sens de rotation)	191
3.6.3	Démarrateur direct inverseur (deux sens de rotation)	193
3.6.4	Démarrateur « Étoile – Triangle »	195
	Fonctionnement du démarreur « Étoile – Triangle » proposé par le constructeur SCHNEIDER	197
3.6.5	Démarrage par rhéostat électrolytique	197
	Moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné	200
	Principe du démarrage par rhéostat électrolytique	202
3.7	Incidences sur le moteur d'une variation de la tension d'alimentation	206
3.8	Temps de démarrage d'un moteur asynchrone triphasé	211
	Détermination du temps de démarrage	212
	Moment d'inertie de l'ensemble moteur-ventilateur centrifuge (J)	214
	Détermination du couple accélérateur moyen (Ma)	215
	Calcul du temps de démarrage	215
	Compatibilité avec la surintensité de démarrage du moteur	215
3.9	Alimentation d'un moteur asynchrone triphasé avec une tension monophasée	217
3.10	Évaluation intermédiaire (exercices E1 à E5)	219
E1	Questionnaire VRAI/FAUX (quiz)	219
E2	Questionnaire à choix multiples (QCM)	220
E3	Lecture d'une plaque signalétique	221
E4	Choix d'un rhéostat électrolytique (démarreur RLV)	222
E5	Détermination du temps de démarrage d'un moteur	222
3.11	Démarrateurs-ralentisseurs progressifs électroniques	222
3.11.1	Principe de fonctionnement	222
3.11.2	Démarrage et ralentissement progressifs avec le démarreur Altistart 01 (SCHNEIDER)	225
3.11.3	Possibilité de sous-calibrer un démarreur électronique	227
3.11.4	Mise en œuvre d'un contacteur de court-circuitage	228
3.11.5	Conséquences électromécaniques de l'association démarreur-moteur	231
3.12	Variation de vitesse des moteurs asynchrones triphasés	234
3.12.1	Moteur asynchrone triphasé à deux vitesses à enroulements séparés	236
3.12.2	Moteurs asynchrones triphasés à couplage de pôles (moteurs « Dahlander »)	236
3.12.3	Variateurs de vitesse ou convertisseurs de fréquence	240
	Facilité de mise en œuvre (simplicité des schémas préconisés par les constructeurs)	242
	Structure interne et fonctionnement des variateurs de vitesse (convertisseurs de fréquence)	246
	Commande MLI et conséquences électromécaniques de l'association variateur/moteur	252
3.13	Freinage des moteurs asynchrones triphasés	253
3.13.1	Solution mécanique : le moteur frein	255
3.13.2	Solution électrique : freinage par injection d'un courant continu	255
	Dimensionnement de certains constituants	257
3.13.3	Solution électronique : dissipation thermique dans une résistance de freinage	260

2.7.4	Liste des composants	151
2.7.5	Essais – Mise au point	151
2.8	Variateur de vitesse pour moteur universel	154
2.8.1	Cahier des charges et choix technologique retenu	154
2.8.2	Analyse du schéma électronique	155
2.8.3	Réalisation pratique	159
2.8.4	Liste des composants	160
2.8.5	Essais – Mise au point	161
2.9	Conclusion	164

3. Électronique appliquée aux moteurs asynchrones triphasés

3.1	Applications industrielles du moteur asynchrone triphasé	166
3.2	Caractéristiques couple/vitesse et puissance/vitesse des charges entraînées	169
3.3	Constitution et principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé	174
3.3.1	Constitution du moteur asynchrone triphasé	174
	Le stator	175
	Le rotor	176
3.3.2	Principe de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé	176
3.4	Interprétation des informations fournies par les constructeurs	181
3.4.1	Données techniques consultables dans le catalogue du constructeur	181
3.4.2	Informations techniques disponibles sur la plaque signalétique	184
3.4.3	Déduction de données complémentaires	184
3.5	Couplage de la plaque à bornes	188
3.6	Démarrateurs électromécaniques à contacteurs	190
3.6.1	Problématique	190
3.6.2	Démarrateur direct à contacteur (un seul sens de rotation)	191
3.6.3	Démarrateur direct inverseur (deux sens de rotation)	193
3.6.4	Démarrateur « Étoile – Triangle »	195
	Fonctionnement du démarreur « Étoile – Triangle » proposé par le constructeur SCHNEIDER	197
3.6.5	Démarrage par rhéostat électrolytique	197
	Moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné	200
	Principe du démarrage par rhéostat électrolytique	202

3.14 Évaluation intermédiaire (exercices E6 à E9)	263
E6 ⇨ Questionnaire VRAI/FAUX (quiz)	263
E7 ⇨ Questionnaire à choix multiples (QCM)	263
E8 ⇨ Station de pompage (association démarreur électronique/moteur asynchrone triphasé)	264
E9 ⇨ Variation de vitesse d'un groupe de ventilation	265
3.15 Démarreur inverseur statique pour moteur asynchrone triphasé ..	266
3.15.1 Cahier des charges	266
3.15.2 Relais statique à thyristors CX380D5R	268
3.15.3 Analyse du schéma	270
Sous-ensemble « Puissance »	270
Sous-ensemble « Commande »	270
3.15.4 Réalisation pratique	272
3.15.5 Liste des composants	278
3.15.6 Essais – Mise au point	278
Contrôle du fonctionnement de la partie « commande »	278
Contrôle de la partie « puissance »	280
3.15.7 Adjonction d'un contact au disjoncteur de moteur	282
3.16 Conclusion	285

4. Électronique appliquée aux moteurs sans balais

4.1 Applications des moteurs sans balais	289
4.2 Moteur synchrone triphasé	290
4.2.1 Constitution et principe de fonctionnement	290
4.2.2 Couple électromagnétique produit par le moteur	296
4.2.3 Modélisation du fonctionnement en charge du moteur synchrone triphasé	299
Préambule	299
Schéma équivalent d'un enroulement statorique du moteur	299
Détermination du facteur de puissance (cos(ϕ)) du moteur de 105 kW ..	300
Calcul et détermination graphique de la force contre-électromotrice E ..	301
Calcul du couple mécanique (méthode 1)	303
Calcul du couple mécanique (méthode 2) –	
Dédution de paramètres à réguler	304
Calcul du couple mécanique (méthode 3) –	
Dédution de paramètres à réguler	305

4.3 Principes d'autopilotage du moteur synchrone triphasé	307
4.3.1 Schéma de principe	307
4.3.2 Les différents capteurs de position	309
Codeurs incrémentaux	309
Codeurs absolus	312
4.3.3 Moteur synchrone alimenté par un onduleur de courant (commutateur de courant)	315
4.3.4 Moteur synchrone alimenté par un onduleur de tension	318
4.4 Évaluation intermédiaire (exercices E1 à E4)	321
E1 ⇨ Constitution d'un moteur synchrone triphasé –	
Questionnaire VRAI / FAUX (quiz)	321
E2 ⇨ Fonctionnement du moteur synchrone triphasé autopiloté –	
Questionnaire VRAI / FAUX (quiz)	322
E3 ⇨ Moteur synchrone triphasé à aimants permanents	322
E4 ⇨ Moteur synchrone triphasé	322
4.5 Moteur à courant continu sans balais (moteur BLDC)	323
4.5.1 Structure interne	323
4.5.2 Principe de fonctionnement – Autopilotage par capteurs à effet Hall ..	325
4.5.3 Autopilotage par la force contre-électromotrice des enroulements statoriques	331
4.5.4 Interprétation des informations du constructeur –	
Formules d'électrotechnique	334
4.6 Évaluation intermédiaire (exercices E5 à E7)	338
E5 ⇨ Constitution du moteur à courant continu sans balais –	
Questionnaire VRAI / FAUX (quiz)	338
E6 ⇨ Autopilotage du moteur à courant continu sans balais –	
Questionnaire VRAI/FAUX (quiz)	338
E7 ⇨ Détermination d'informations complémentaires à partir des données fournies par le constructeur	339
4.7 Moteurs pas à pas	339
4.7.1 Moteurs à aimants permanents	340
Constitution et différents types	340
Structures d'alimentation	343
Modes de commande	345
4.7.2 Moteurs à réluctance variable	356
4.7.3 Moteurs hybrides	360
4.7.4 Caractéristiques électromécaniques (courbes couple/fréquence)	366
4.8 Évaluation intermédiaire (exercices E8 à E12)	369
E8 ⇨ Constitution des moteurs pas à pas (quiz)	369
E9 ⇨ Modes de commande des moteurs pas à pas (quiz)	370
E10 ⇨ Résolution d'un moteur pas à pas à aimants permanents	370

E11	◇	Résolution d'un moteur pas à pas hybride	371
E12	◇	Conditions d'utilisation d'un moteur pas à pas	372
4.9		Moteurs linéaires	373
		Principe de fonctionnement d'un moteur linéaire triphasé ..	375
4.10		Réalisation électronique : banc d'essai pour moteurs pas à pas	
		unipolaires	378
4.10.1		Cahier des charges	378
4.10.2		Analyse du schéma électronique	379
4.10.3		Réalisation pratique	382
4.10.4		Liste des composants	386
4.10.5		Essais – Mise au point	387
		Procédure	388
4.11		Conclusion	390
		Conclusion générale	391
		Annexe 1 – Glossaire	392
		Annexe 2 – Conseils de sécurité	414
		Isolation en classes	414
		En pratique	414
		Accessoires	418
		Rude épreuve	419
		Transformateurs	420
		Annexe 3 – Liens	421
		Index	422

Gérard Guihéneuf

les moteurs électriques

EXPLIQUÉS AUX ÉLECTRONICIENS

DÉMARRAGE, VARIATION DE VITESSE, FREINAGE

Les hacheurs de puissance, les démarreurs-ralentisseurs progressifs et les variateurs de vitesse associés à des moteurs à CC ou CA de plusieurs dizaines de kW se sont démocratisés. Curieusement, alors que l'électronique et l'électrotechnique fusionnent dans des applications industrielles ou domestiques qui mettent en œuvre des moteurs, ces deux technologies demeurent des filières d'études distinctes. Ainsi chacun suit sa voie en se privant des progrès du voisin électronicien ou électrotechnicien ! Face à ce divorce, cet ouvrage s'adresse autant aux uns qu'aux autres. Les électroniciens découvriront le monde des moteurs tandis que les électrotechniciens admettront qu'électronique n'est pas synonyme de complexité. Trois chapitres s'appuient sur **une information accessible** : constitution, fonctionnement, caractéristiques, utilisation des moteurs, pour proposer aussi des **réalisations simples**.

Le chapitre 1 détaille les principes de variation de la vitesse des moteurs à CC : conversion alt./continu (redresseurs commandés par des thyristors) et conversion continu/continu (hacheurs à transistors IGBT). Mise en pratique immédiate avec un variateur pour mini-perceuse et un variateur de vitesse pour train miniature.

Les moteurs à alimentation alternative monophasée (à induction, à bagues de déphasage, universel) du 2^e chap. font appel à une électronique de puissance (exprimée en kW) : démarreur à contacteur statique à deux points de commande pour moteur asynchrone monophasé à induction et variateur de vitesse pour moteur universel.

Reste le moteur électrique le plus utilisé dans l'industrie : le moteur asynchrone triphasé et ses principes de démarrage, de variation de vitesse et de freinage : démarreur électromécanique à contacteurs, démarreur-ralentisseur, convertisseur de fréquence ou couplage des pôles pour la variation de vitesse, moteur frein, freinage par injection de courant... Construisez le démarreur inverseur statique pour moteur asynchrone triphasé et découvrez la proximité entre électronique et électrotechnique : portes NON-OU sous 12 V commandent la rotation d'un moteur d'1,5 kW sous 3×400 V.

Mesurez l'évolution de vos connaissances grâce à des questionnaires d'évaluation intermédiaire et aux corrigés à télécharger sur www.elektor.fr/moteurs.

Cette nouvelle édition s'enrichit d'un chapitre consacré aux moteurs sans balais (brushless), du moteur synchrone triphasé de plusieurs centaines de kW au moteur à courant continu de quelques centaines de watts, en passant par les moteurs pas à pas ou encore le surprenant moteur linéaire. Découvrez leurs modes de commande : codeurs incrémentaux ou absolus associés à un onduleur commandé en courant ou tension ou bien capteurs à effet Hall pour l'autopilotage, commande en pas entier, demi-pas, micro-pas... Réalisez un banc d'essai pour moteurs pas à pas unipolaires.

2^e édition augmentée
(nouveau chapitre de 100 pages)

www.elektor.fr/moteurs

Diff. Geodif - 46,50 €

