

# Table des matières

AVANT-PROPOS . . . . .	1
<i>Chapitre 1</i> : INTRODUCTION - PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE . . . . .	3
1.- Principe des divers types d'onduleurs . . . . .	4
1.1. Les onduleurs (autonomes) de tension . . . . .	5
1.2. Les onduleurs (autonomes) de courant . . . . .	8
1.3. Les onduleurs à résonance) . . . . .	10
2.- Semi-conducteurs utilisables. Imperfections de la source et de la charge. Filtrés. . . . .	13
2.1. Les semi-conducteurs utilisables . . . . .	13
2.2. L'imperfection de la source continue. Le filtre d'entrée . . . . .	18
2.3. L'imperfection du récepteur alternatif. Le filtre de sortie . . . . .	22
2.4. Remarques sur la réversibilité . . . . .	26
3.- Les principales applications. Conséquences sur l'étude. . .	30
3.1. Réalisation d'alimentations à tension et fréquence constantes . . . . .	31
3.2. La variation de vitesse des moteurs à courant alternatif . . . . .	34
3.3. Emplois des onduleurs à résonance. . . . .	37
<i>Chapitre 2</i> : LES ONDULEURS DE TENSIONS À UN CRÉNEAU PAR ALTERNANCE . . . . .	39
1.- Onduleur monophasé avec transformateur à point milieu . . .	40
1.1. Principe . . . . .	40
1.2. Caractéristiques . . . . .	43
2.- Onduleur monophasé en demi-pont . . . . .	48
2.1. Principe . . . . .	48
2.2. Caractéristiques . . . . .	53
3.- Onduleur monophasé en pont. . . . .	54
3.1. Principe . . . . .	54
3.2. Caractéristiques . . . . .	62
3.3. Comparaison des trois onduleurs de tension monophasés.	71

4.- Onduleur triphasé en pont . . . . .	73
4.1. Fonctionnement en régime équilibré . . . . .	74
4.2. Caractéristiques en régime équilibré . . . . .	77
4.3. Couplage en triangle de la charge alternative. . . . .	82
4.4. Fonctionnement sur charge déséquilibrée. . . . .	85
5.- Filtre d'entrée . . . . .	89
5.1. Harmoniques du courant d'entrée et de la tension de sortie . . . . .	90
5.2. Application aux divers onduleurs . . . . .	92
5.3. Remarque sur l'utilisation du diviseur de l'onduleur en demi-pont comme élément du filtre d'entrée. . . . .	95
6.- Filtre de sortie. . . . .	96
6.1. Relations générales. . . . .	97
6.2. Effets du filtre sur le fondamental. . . . .	98
6.3. Effets du filtre sur les harmoniques . . . . .	101
6.4. Choix de L et C. . . . .	102
6.5. Notes sur les autres filtres . . . . .	110
6.6. Notes sur les récepteurs alimentés à fréquence variable . . . . .	111

*Chapitre 3* : LES ONDULEURS DE TENSION À MODULATION DE  
LARGEUR D'IMPULSIONS . . . . . 119

1.- Onduleur monophasé en demi-pont . . . . .	120
1.1. Commande des "interrupteurs". Formes d'ondes . . . . .	120
1.2. Etude de la tension de sortie. . . . .	122
1.3. Etude des courants . . . . .	133
1.4. Remarques sur le calage de la commande et sur la modulation asynchrone. . . . .	136
2.- Onduleur triphasé en pont . . . . .	139
2.1. Commande des "interrupteurs". Formes d'ondes . . . . .	140
2.2. Référence sinusoïdale. . . . .	142
2.3. Injection d'harmonique 3 dans la référence . . . . .	145
2.4. Autres modifications de la loi de commande . . . . .	149
3.- Onduleur monophasé en pont complet. . . . .	150
3.1. Commande des "interrupteurs". Formes d'ondes . . . . .	152
3.2. Etude de la tension de sortie. . . . .	154
3.3. Etude des courants . . . . .	157
3.4. Numérisation de la référence . . . . .	159
4.- Modulation calculée . . . . .	160
4.1. Caractérisation de la tension de sortie. . . . .	161
4.2. Elimination des premiers harmoniques de la tension de sortie . . . . .	162
4.3. Minimisation du taux d'harmonique pondérés . . . . .	168
4.4. Commande de l'onduleur en pont par déphasage des tensions des deux demi-ponts . . . . .	177

*Chapitre 4* : LES COMMUTATIONS DANS LES ONDULEURS DE TENSION 181

1.- Commutations du transistor bipolaire ; onduleur fonction- nant sans M.L.I. . . . .	181
1.1. Déroulement de la commutation avec circuit R C . . . . .	182
1.2. Calcul des pertes. . . . .	186

2.-	Commutations du transistor bipolaire ; onduleur avec M.L.I.	187
2.1.	Commutation à la fermeture . . . . .	190
2.2.	Commutation à l'ouverture. . . . .	198
2.3.	Puissance dissipée dans les résistances. . . . .	203
2.4.	Remarques sur la conduction inverse du transistor. . .	212
3.-	Commutations du thyristor GTO . . . . .	214
3.1.	Commutation à la fermeture . . . . .	215
3.2.	Commutation à l'ouverture. . . . .	222
3.3.	Puissance dissipée dans la résistance. . . . .	226
4.-	Commutations du transistor à effet de champ . . . . .	229
4.1.	Commutation à la fermeture . . . . .	229
4.2.	Commutation à l'ouverture. . . . .	231
<i>Chapitre 5 : LES ONDULEURS-COMMUTATEURS DE COURANT</i> . . . . .		233
1.-	Onduleurs monophasés. . . . .	234
1.1.	Onduleur avec transformateur à point milieu. . . . .	234
1.2.	Onduleur en pont à un créneau par alternance . . . . .	239
1.3.	Onduleur en pont commandé en Modulation de Largeur d'Impulsions . . . . .	245
1.4.	Remarques sur la Modulation de Largeur d'Impulsions et les onduleurs de courant . . . . .	246
2.-	Onduleur triphasé en pont . . . . .	248
2.1.	Commande pleine onde . . . . .	249
2.2.	Commande en Modulation de Largeur d'Impulsions avec modulation sinusoïdale . . . . .	255
2.3.	Commande en Modulation de Largeur d'Impulsions avec modulation calculée. . . . .	265
3.-	Fonctionnement sur récepteur inductif . . . . .	268
3.1.	Onduleur de courant à thyristors avec pont auxiliaire de commutation . . . . .	270
3.2.	Onduleur de courant à thyristors autocommuté . . . . .	285
3.3.	Onduleur de courant à GTO avec circuit de "clamping" .	293
4.-	Notes sur les montages à indice de pulsation supérieur à 6.	299
4.1.	Montage d'indice à pulsation égal à 12 . . . . .	299
4.2.	Montage d'indice à pulsation égal à 18 . . . . .	300
5.-	Notes sur le calcul du filtre d'entrée de l'onduleur de courant . . . . .	301
<i>Chapitre 6 : LES ONDULEURS À RÉSONANCE.</i> . . . . .		303
1.-	Onduleur série. . . . .	303
1.1.	Réponse du circuit résonnant série à une tension formée de créneaux rectangulaires. . . . .	304
1.2.	Méthode du "premier harmonique". . . . .	310
1.3.	Fonctionnement et commande de l'onduleur . . . . .	311
1.4.	Caractéristiques . . . . .	314
1.5.	Mise en route. Protections . . . . .	319
1.6.	Variantes. . . . .	321
2.-	Onduleur parallèle. . . . .	325
2.1.	Réponse du circuit résonnant parallèle à un courant formé de créneaux rectangulaires . . . . .	325
2.2.	Fonctionnement et commande de l'onduleur . . . . .	327
2.3.	Caractéristiques . . . . .	329
2.4.	Mise en route. Protections . . . . .	331
2.5.	Variantes. . . . .	333

3.- Alimentations à résonance. . . . .	334
3.1. Alimentation avec onduleur à résonance série. . . . .	335
3.2. Alimentation avec onduleur à résonance série- parallèles. . . . .	349
3.3. Alimentations à "double résonance". . . . .	347
APPENDICES . . . . .	349
A.- Filtre d'entrée des onduleurs de tension . . . . .	351
A.1. Onduleurs à deux "interrupteurs" par phase. . . . .	352
A.2. Onduleur monophasé en pont complet. . . . .	360
B.- Les onduleurs de tension "sinusoïdaux". . . . .	364
B.1. Forme d'onde des tensions . . . . .	365
B.2. Réalisation des formes d'ondes optimisées . . . . .	367
B.3. Variation de la valeur des tensions de sortie . . . . .	370
B.4. Montage le plus usuel . . . . .	371
C.- L'extinction forcée des thyristors dans les onduleurs de tension. . . . .	373
C.1. Commutation parallèle par circuit oscillant . . . . .	373
C.2. Commutation parallèle par capacité. . . . .	384
C.3. Commutation série . . . . .	388
D.- Redresseur à Modulation de Largeur d'Impulsions. . . . .	390
D.1. La structure étudiée. . . . .	391
D.2. Le convertisseur seul . . . . .	393
D.3. Le convertisseur avec son filtre d'entrée . . . . .	396
D.4. Le convertisseur entre ses filtres d'entrée et de sortie. . . . .	401
E.- Utilisation du hacheur quatre quadrants en redresseur MLI . . . . .	403
E.1. Commandes des interrupteurs . . . . .	404
E.2. Harmoniques du courant pris à la source . . . . .	408
SYMBOLES UTILISÉS . . . . .	409
INDEX ALPHABÉTIQUE . . . . .	413