



**Guy Séguier  
Francis Labrique  
Philippe Delarue**

# Électronique de puissance

**Structures, fonctions de base,  
principales applications**

**9<sup>e</sup> édition**

**Cours et exercices corrigés**

Master  
Écoles d'ingénieurs

**DUNOD**

# Table des matières

<b>Avant-propos</b>	<b>V</b>
<b>CHAPITRE 1 • INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>1.1 L'électronique de puissance ne peut être qu'une électronique de commutation</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Le fonctionnement en commutation conduit à des modes de calcul et de raisonnement particuliers</b>	<b>3</b>
1.2.1 Nature des régimes permanents	3
1.2.2 Procédés de calcul	3
1.2.3 Procédé d'étude d'un montage à semiconducteurs	3
<b>1.3 L'électronique de puissance est la technique des modifications de la présentation de l'énergie électrique</b>	<b>5</b>
1.3.1 Les principales fonctions	5
1.3.2 Les variateurs de vitesse	6
1.3.3 Autres convertisseurs. Autres applications	6
<b>CHAPITRE 2 • SEMICONDUCTEURS DE PUISSANCE. INTERRUPTEURS. COMMUTATIONS</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Rappels sur les interrupteurs à semiconducteurs</b>	<b>8</b>
2.1.1 Semiconducteurs disponibles	9
2.1.2 Association de composants semiconducteurs	15
<b>2.2 Commutations</b>	<b>18</b>
2.2.1 Caractérisation des générateurs et des récepteurs	18
2.2.2 Règles de connexions	22
2.2.3 Cellule élémentaire de commutation	23
2.2.4 Les deux commutations types	24

<b>2.3 Adoucissement des commutations</b>	<b>28</b>
2.3.1 Cas des interrupteurs à fermeture OU ouverture commandée	29
2.3.2 Cas des interrupteurs à fermeture ET ouverture commandées	32
<i>Exercices</i>	34
<b>CHAPITRE 3 • RAPPELS SUR LES SIGNAUX DE L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE</b>	<b>37</b>
<b>3.1 Rappels sur les régimes transitoires</b>	<b>37</b>
3.1.1 Circuits du premier ordre. Règles générales	38
3.1.2 Premier ordre. Exemples d'applications	39
3.1.3 Circuits du second ordre. Règles générales	49
3.1.4 Second ordre. Exemple d'application	51
<b>3.2 Rappels sur les grandeurs périodiques non sinusoïdales</b>	<b>54</b>
3.2.1 Valeurs d'une grandeur périodique	54
3.2.2 Puissance	54
3.2.3 Développement en série de Fourier	55
3.2.4 Relations entre valeur efficace, puissance et développement en série	58
3.2.5 Application aux tensions redressées	60
<i>Exercices</i>	63
<b>CHAPITRE 4 • LES HACHEURS</b>	<b>71</b>
<b>4.1 Hacheurs directs</b>	<b>71</b>
4.1.1 Hacheur série	72
4.1.2 Hacheur parallèle	76
4.1.3 Hacheur réversible en courant	79
4.1.4 Hacheur en pont	82
4.1.5 Hacheurs multiniveaux	88
4.1.6 Commande des interrupteurs. Réglage du courant débité	90
<b>4.2 Hacheurs à liaison indirecte</b>	<b>96</b>
4.2.1 Hacheur à stockage inductif	97
4.2.2 Hacheur à stockage capacitif	99
<b>4.3 Hacheurs à interrupteurs résonnants</b>	<b>101</b>
4.3.1 Hacheur série à interrupteur résonnant fonctionnant en mode ZCS	101
4.3.2 Hacheur série à interrupteur résonnant fonctionnant en mode ZVS	104
4.3.3 Remarques sur les hacheurs quasi-résonnants	106
<i>Exercices</i>	108

<b>CHAPITRE 5 • LES ONDULEURS</b>	<b>117</b>
<b>5.1 Onduleurs de tension monophasés à un créneau par alternance</b>	<b>118</b>
5.1.1 Onduleur en demi-pont	119
5.1.2 Onduleur en pont	125
<b>5.2 Onduleur de tension triphasé à un créneau par alternance</b>	<b>129</b>
5.2.1 Relations générales	130
5.2.2 Application à la commande pleine onde	133
<b>5.3 Onduleurs de courant à un créneau par alternance</b>	<b>136</b>
5.3.1 Onduleur monophasé en pont	137
5.3.2 Onduleur triphasé en pont	139
5.3.3 Propriétés des onduleurs de courant	142
<b>5.4 Onduleurs de tension monophasés à modulation de largeur d'impulsions</b>	<b>144</b>
5.4.1 Onduleur en demi-pont : modulation sinus-triangle	145
5.4.2 Onduleur en pont : modulation sinus-triangle	151
5.4.3 Autres procédés de modulation	154
<b>5.5 Onduleur de tension triphasé à modulation de largeur d'impulsions</b>	<b>156</b>
5.5.1 Commande par demi-pont	156
5.5.2 Modulation vectorielle	161
<b>5.6 Onduleur de courant triphasé à modulation de largeur d'impulsions</b>	<b>163</b>
5.6.1 Modulations intersectives	164
5.6.2 Modulation calculée	167
5.6.3 Modulation vectorielle	167
<i>Exercices</i>	<i>169</i>
<b>CHAPITRE 6 • LES REDRESSEURS</b>	<b>181</b>
<b>6.1 Redresseurs à diodes : introduction</b>	<b>182</b>
6.1.1 Les commutateurs	182
6.1.2 Les montages	183
6.1.3 Hypothèses simplificatrices	186
<b>6.2 Redresseurs à diodes du type parallèle</b>	<b>187</b>
6.2.1 Les montages usuels	187
6.2.2 Étude des tensions	190
6.2.3 Étude des courants	192
6.2.4 Chute de tension en fonctionnement normal	200
6.2.5 Utilisations	206

<b>6.3 Redresseurs à diodes du type parallèle double</b>	<b>206</b>
6.3.1 Les montages usuels	207
6.3.2 Étude des tensions	209
6.3.3 Étude des courants	210
6.3.4 Chute de tension en fonctionnement normal	213
6.3.5 Utilisations	215
<b>6.4 Redresseurs à diodes du type série</b>	<b>215</b>
6.4.1 Étude des tensions	215
6.4.2 Étude des courants	221
6.4.3 Chute de tension en fonctionnement normal	224
6.4.4 Utilisations	227
<b>6.5 Les groupements de redresseurs à diodes</b>	<b>227</b>
6.5.1 Groupement en série	227
6.5.2 Groupements en parallèle	229
<b>6.6 Redresseurs à thyristors du type parallèle</b>	<b>233</b>
6.6.1 Fonctionnement. Étude des tensions	234
6.6.2 Étude des courants. Diagramme des puissances	240
6.6.3 Étude des chutes de tension	242
6.6.4 Précautions à prendre dans la marche en onduleur	245
<b>6.7 Redresseurs à thyristors du type parallèle double ou série</b>	<b>246</b>
6.7.1 Redresseurs tout thyristors du type parallèle double	247
6.7.2 Redresseurs mixtes du type parallèle double	248
6.7.3 Redresseurs tout thyristors du type série	253
6.7.4 Redresseurs mixtes du type série	254
6.7.5 Comparaison et choix des redresseurs à thyristors	255
6.7.6 Commande des redresseurs à thyristors	256
<b>6.8 Notes sur les redresseurs à diodes débitant sur une « source de tension »</b>	<b>260</b>
6.8.1 Redresseur alimenté en monophasé	260
6.8.2 Redresseur alimenté en triphasé	262
<i>Exercices</i>	265
<b>CHAPITRE 7 • LES GRADATEURS</b>	<b>271</b>
<b>7.1 Marche en interrupteur</b>	<b>271</b>
7.1.1 Principe	271
7.1.2 Avantages et inconvénients	273
7.1.3 Variantes unipolaires. Triacs	274
7.1.4 Interrupteurs tripolaires	275

<b>7.2 Marche en gradateur monophasé</b>	<b>275</b>
7.2.1 Cas d'un récepteur purement résistant	276
7.2.2 Cas d'un récepteur résistant et inductif	277
7.2.3 Caractéristiques	281
<b>7.3 Les gradateurs triphasés</b>	<b>284</b>
7.3.1 Le gradateur triphasé tout thyristors	284
7.3.2 Le groupement en triangle de trois gradateurs monophasés	293
7.3.3 Le gradateur triphasé mixte	294
<i>Exercices</i>	296
<b>CHAPITRE 8 • LES VARIATEURS DE VITESSE</b>	<b>303</b>
<b>8.1 Variateurs pour moteurs à courant continu</b>	<b>303</b>
8.1.1 Le moteur à courant continu	304
8.1.2 Convertisseurs utilisés	307
<b>8.2 Variateurs pour moteurs synchrones</b>	<b>310</b>
8.2.1 Le moteur synchrone	310
8.2.2 Variateurs à onduleurs de tension fonctionnant en MLI	313
8.2.3 Variateurs à cycloconvertisseurs	318
8.2.4 Moteur synchrone autopiloté	321
8.2.5 Moteur à courant continu sans balais	328
<b>8.3 Variateurs pour moteurs asynchrones</b>	<b>330</b>
8.3.1 Le moteur asynchrone triphasé	330
8.3.2 Variateurs à onduleurs MLI de tension ou à cycloconvertisseurs	337
8.3.3 Variateurs à onduleurs de courant	340
8.3.4 Autres variateurs	341
<i>Exercices</i>	346
<b>CHAPITRE 9 • AUTRES CONVERTISSEURS</b>	<b>353</b>
<b>9.1 Onduleurs à résonance</b>	<b>353</b>
9.1.1 Onduleur série	354
9.1.2 Onduleur parallèle	362
<b>9.2 Redresseurs MLI</b>	<b>366</b>
9.2.1 Redresseur MLI de courants	367
9.2.2 Redresseur MLI de tensions	370
9.2.3 Remarques	372
<b>9.3 Convertisseurs matriciels</b>	<b>374</b>

<b>CHAPITRE 10 • AUTRES APPLICATIONS</b>	<b>377</b>
<b>10.1 Alimentations à découpage</b>	<b>377</b>
10.1.1 Introduction	377
10.1.2 Montages sans transformateur	378
10.1.3 Montages avec transformateur	382
10.1.4 Montages symétriques	388
<b>10.2 Alimentations à résonance</b>	<b>391</b>
10.2.1 Alimentation à résonance série	391
10.2.2 Alimentation à résonance série-parallèle	394
<b>10.3 FACTS et filtres actifs</b>	<b>396</b>
10.3.1 Réglage des échanges de puissance dans les réseaux de transport d'énergie	396
10.3.2 FACTS à thyristors	399
10.3.3 Montages commandés en MLI	403
10.3.4 Filtres actifs	406
<b>Index alphabétique</b>	<b>409</b>

-  MATHÉMATIQUES
-  PHYSIQUE
-  CHIMIE
-  SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
-  INFORMATIQUE
-  SCIENCES DE LA VIE
-  SCIENCES DE LA TERRE

Guy Séguier ■ Francis Labrique ■ Philippe Delarue

## Électronique de puissance

### Structures, fonctions de base, principales applications

**L'électronique de puissance** est la branche de la physique appliquée qui traite de l'utilisation des semi-conducteurs de puissance pour modifier la présentation de l'énergie électrique.

Cet ouvrage donne une définition de l'électronique de puissance, de son vocabulaire, de ses méthodes de calcul et de raisonnement. Les principaux types de convertisseurs, redresseurs, gradateurs, hacheurs et onduleurs autonomes, font l'objet d'une étude quantitative, les diverses structures étant comparées et les applications précisées.

Régulièrement remis à jour au cours des éditions successives, ce livre reste irremplaçable pour les étudiants (Master et écoles d'ingénieurs) et les praticiens. Cette nouvelle édition tient compte des évolutions en électronique de puissance (composants, structures, commandes) et les exercices de fin de chapitre ont été renouvelés.

9<sup>e</sup> édition

#### Guy Séguier

Professeur émérite  
à Lille 1.

#### Francis Labrique

Professeur à  
l'université de Louvain.

#### Philippe Delarue

Maître de conférences  
à Lille 1, Polytech Lille.



9 782100 567010  
6929038  
ISBN 978-2-10-056701-0

