

2-621-19-15/1

2-621-19-15/1

**TRAITÉ D'ÉLECTRICITÉ**

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE,  
PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE JACQUES NEIRYNCK

VOLUME XV

**ÉLECTRONIQUE  
DE PUISSANCE**

par Hansruedi Bühler



PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES



## TABLE DES MATIÈRES

|            |   |    |
|------------|---|----|
|            | INTRODUCTION .....  | v  |
| CHAPITRE 1 | INTRODUCTION À L'ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE  |    |
|            | 1.1 Evolution de l'électronique industrielle .....  | 1  |
|            | 1.2 Classification en électronique de puissance et en<br>électronique de réglage et de commande ..... | 2  |
|            | 1.3 Applications de l'électronique industrielle .....   | 4  |
|            | 1.4 Projet et réalisation d'une installation .....  | 7  |
|            | 1.5 Relations de l'électronique industrielle avec<br>d'autres disciplines .....                       | 10 |
|            | 1.6 Spécialisation de l'ingénieur travaillant dans<br>le domaine de l'électronique industrielle ..... | 11 |
| CHAPITRE 2 | INTRODUCTION À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE  |    |
|            | 2.1 Eléments de puissance .....   | 13 |
|            | 2.2 Classification selon le mode de commutation .....   | 15 |
|            | 2.3 Classification selon le mode de conversion .....  | 18 |
|            | 2.4 Classification selon le mode de commutation et<br>le mode de conversion .....                     | 23 |
| CHAPITRE 3 | CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES ÉLÉMENTS<br>DE PUISSANCE   |    |
|            | 3.1 Introduction .....  | 25 |
|            | 3.2 Choix de l'élément redresseur .....   | 25 |
|            | 3.3 Comportement thermique, refroidissement .....   | 27 |
|            | 3.4 Mise en parallèle ou en série des éléments<br>redresseurs .....                                   | 34 |
|            | 3.5 Protection contre des surintensités .....   | 37 |
|            | 3.6 Protection contre des surtensions .....   | 39 |
|            | 3.7 Disposition mécanique .....   | 43 |
| CHAPITRE 4 | VARIATEURS DE COURANT ALTERNATIF  |    |
|            | 4.1 Introduction .....  | 45 |
|            | 4.2 Variateur de courant monophasé .....  | 46 |
|            | 4.3 Variateur de courant triphasé .....   | 56 |

|                   |  |     |
|-------------------|--|-----|
| <b>CHAPITRE 5</b> | <b>CONVERTISSEURS DE COURANT :<br/>FONCTIONNEMENT IDÉALISÉ</b>   |     |
|                   | 5.1 Introduction . . . . .   | 65  |
|                   | 5.2 Montage étoile triphasé . . . . .  | 67  |
|                   | 5.3 Montage étoile monophasé . . . . .   | 69  |
|                   | 5.4 Montage étoile hexaphasé . . . . .   | 71  |
|                   | 5.5 Montage à bobine d'absorption . . . . .  | 73  |
|                   | 5.6 Montage en pont triphasé . . . . .   | 76  |
|                   | 5.7 Montage en pont monophasé . . . . .  | 80  |
|                   | 5.8 Montage en pont monophasé asymétrique . . . . .  | 83  |
|                   | 5.9 Tension continue et caractéristique idéale . . . . .   | 88  |
|                   | 5.10 Récapitulation . . . . .  | 93  |
| <b>CHAPITRE 6</b> | <b>CONVERTISSEURS DE COURANT :<br/>PHÉNOMÈNE D'EMPIÈTEMENT</b>   |     |
|                   | 6.1 Introduction . . . . .   | 95  |
|                   | 6.2 Phénomène d'empîement . . . . .  | 96  |
|                   | 6.3 Chute de tension inductive et caractéristique<br>de charge . . . . .   | 106 |
|                   | 6.4 Contraintes sur l'élément redresseur . . . . .   | 111 |
|                   | 6.5 Fonctionnement en onduleur . . . . .   | 114 |
| <b>CHAPITRE 7</b> | <b>CONVERTISSEURS DE COURANT :<br/>FONCTIONNEMENT RÉEL</b>   |     |
|                   | 7.1 Introduction . . . . .   | 119 |
|                   | 7.2 Allure du courant continu . . . . .  | 120 |
|                   | 7.3 Conduction intermittente . . . . .   | 130 |
|                   | 7.4 Charge purement ohmique . . . . .  | 137 |
| <b>CHAPITRE 8</b> | <b>TRANSFORMATEURS POUR CONVERTISSEURS<br/>DE COURANT</b>  |     |
|                   | 8.1 Introduction . . . . .   | 141 |
|                   | 8.2 Transformateur en couplage étoile-étoile<br>alimentant un convertisseur de courant en<br>montage étoile triphasé . . . . .   | 143 |
|                   | 8.3 Transformateur en couplage triangle-étoile<br>alimentant un convertisseur de courant en<br>montage étoile triphasé . . . . . | 145 |
|                   | 8.4 Transformateur en couplage étoile-zig-zag<br>alimentant un convertisseur de courant en<br>montage étoile triphasé . . . . .  | 149 |
|                   | 8.5 Transformateur alimentant un convertisseur<br>de courant en montage en pont triphasé . . . . .                               | 153 |
| <b>CHAPITRE 9</b> | <b>RÉACTION DES CONVERTISSEURS DE COURANT<br/>SUR LE RÉSEAU D'ALIMENTATION</b>   |     |
|                   | 9.1 Introduction . . . . .   | 155 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 9.2 | Courants de réseau                      | 155 |
| 9.3 | Influence sur la tension d'alimentation | 161 |
| 9.4 | Puissance active et réactive            | 164 |
| 9.5 | Commande à séquence                     | 168 |

#### CHAPITRE 10 CONVERTISSEURS DE COURANT BIDIRECTIONNELS

|      |                                      |     |
|------|--------------------------------------|-----|
| 10.1 | Introduction                         | 173 |
| 10.2 | Montages avec courant de circulation | 174 |
| 10.3 | Courant de circulation               | 178 |
| 10.4 | Montages sans courant de circulation | 187 |

#### CHAPITRE 11 CONVERTISSEURS DE FRÉQUENCE À COMMUTATION NATURELLE

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 11.1 | Introduction  | 191 |
| 11.2 | Convertisseurs de fréquence directs                                   | 193 |
| 11.3 | Convertisseurs de fréquence à circuit intermédiaire à courant continu | 198 |
| 11.4 | Convertisseurs de fréquence avec charge à circuit oscillant           | 204 |

#### CHAPITRE 12 VARIATEURS DE COURANT CONTINU : FONCTIONNEMENT IDÉALISÉ

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 12.1 | Introduction   | 209 |
| 12.2 | Variateur de courant continu à pulsation                     | 211 |
| 12.3 | Récupération par un variateur de courant continu à pulsation | 214 |
| 12.4 | Commutation à pulsation d'une résistance                     | 216 |
| 12.5 | Condensateur-tampon  | 220 |
| 12.6 | Ondulation du courant continu                                | 223 |
| 12.7 | Variation de la tension continue                             | 228 |

#### CHAPITRE 13 VARIATEURS DE COURANT CONTINU : COMMUTATION FORCÉE

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 13.1 | Introduction   | 233 |
| 13.2 | Phénomène de la commutation forcée                         | 233 |
| 13.3 | Dimensionnement du circuit d'extinction                    | 244 |
| 13.4 | Calcul exact du phénomène de la commutation forcée         | 246 |
| 13.5 | Influence de la commutation forcée sur la tension continue | 253 |

#### CHAPITRE 14 ONDULEURS À COMMUTATION FORCÉE : FONCTIONNEMENT IDÉALISÉ

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 14.1 | Introduction                           | 259 |
| 14.2 | Déduction du montage en pont           | 261 |
| 14.3 | Onduleurs monophasés                   | 263 |
| 14.4 | Onduleurs triphasés en montage en pont | 271 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
|             | 14.5 Onduleurs triphasés composés de <b>trois</b> onduleurs<br>monophasés . . . . .  | 274 |
|             | 14.6 Onduleurs triphasés en montage <b>en série</b> . . . . .  | 277 |
| CHAPITRE 15 | <b>ONDULEURS À COMMUTATION FORCÉE :<br/>PHÉNOMÈNE DE LA COMMUTATION</b>  |     |
|             | 15.1 Introduction . . . . .  | 281 |
|             | 15.2 Autres montages du circuit d'extinction . . . . .   | 281 |
|             | 15.3 Extinction individuelle . . . . .   | 284 |
|             | 15.4 Extinction par phase . . . . .  | 288 |
| CHAPITRE 16 | <b>CONVERTISSEURS DE FRÉQUENCE À COMMUTATION<br/>FORCÉE</b>  |     |
|             | 16.1 Introduction . . . . .  | 293 |
|             | 16.2 Convertisseurs de fréquence à circuit intermédiaire<br>à tension continue . . . . .   | 293 |
|             | 16.3 Convertisseurs de fréquence à circuit intermédiaire<br>à courant continu, onduleur avec pont d'extinction<br>auxiliaire . . . . .     | 296 |
|             | 16.4 Convertisseurs de fréquence à circuit intermédiaire<br>à courant continu, onduleur avec extinction par<br>séquence de phase . . . . . | 303 |
|             | <b>BIBLIOGRAPHIE</b> . . . . .   | 311 |
|             | <b>INDEX ANALYTIQUE</b> . . . . .  | 313 |
|             | <b>GLOSSAIRE</b> . . . . .   | 317 |