

# Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CHAPITRE I : POLLUTION HARMONIQUE – NORME</b>                            | <b>1</b>  |
| <b>1 Charge linéaire</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 Charge non linéaire</b>  | <b>1</b>  |
| <b>3 La norme EN 61000-3-2</b>  | <b>2</b>  |
| <b>4 Redressement monophasé en pont tout diodes, filtrage capacitif</b>     | <b>3</b>  |
| 4.1 Oscillogrammes  | 3         |
| 4.2 Contraintes pour le réseau  | 4         |
| 4.3 Amélioration par un filtrage inductif et capacitif                      | 6         |
| 4.4 Conséquences sur la tension du réseau                                   | 8         |
| 4.5 Distribution triphasée alimentant des charges monophasées non linéaires | 8         |
| <b>5 Les solutions</b>  | <b>9</b>  |
| 5.1 Avantages   | 10        |
| 5.2 Description d'un prérégulateur PFC                                      | 10        |
| <br>  |           |
| <b>CHAPITRE II : HACHEUR PARALLÈLE</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>1 Hacheur parallèle (Boost)</b>  | <b>11</b> |
| 1.1 Structure   | 11        |
| 1.2 Conduction ininterrompue  | 11        |
| 1.3 Conduction interrompue  | 16        |
| 1.4 Régime dynamique  | 20        |
| 1.5 Dimensionnement   | 22        |
| 1.6 Chutes de tension et rendement  | 23        |
| <b>2 Hacheurs parallèles entrelacés</b>                                     | <b>24</b> |
| 2.1 Structure à deux voies  | 24        |
| 2.2 Structure à trois voies   | 25        |
| 2.3 Structure à quatre voies  | 26        |
| 2.4 Evolution de l'ondulation du courant d'entrée                           | 26        |
| <b>3 PFC à hacheur parallèle simple</b>                                     | <b>27</b> |
| 3.1 Différents modes de commande MLI  | 28        |
| 3.2 Mode TM   | 29        |
| 3.3 Mode FF-CCM   | 42        |
| 3.4 Mode FOT  | 51        |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| <b>4</b>   | <b>PFC à hacheurs entrelacés</b>                     | <b>53</b>  |
| 4.1.   | Mode TM  | 54         |
| 4.2.   | Mode CCM   | 57         |
| <b>CHAPITRE III : HACHEUR À ACCUMULATION INDUCTIVE</b> |  | <b>58</b>  |
| <b>1</b>   | <b>Hacheur à accumulation inductive (Buck-Boost)</b> | <b>58</b>  |
| 1.1.   | Structure  | 58         |
| 1.2.   | Conduction ininterrompue                             | 59         |
| 1.3.   | Conduction interrompue                               | 63         |
| 1.4.   | Régime dynamique                                     | 68         |
| 1.5.   | Dimensionnement                                      | 70         |
| 1.6.   | Chutes de tension et rendement                       | 71         |
| <b>2</b>   | <b>PFC à hacheur à accumulation inductive</b>        | <b>72</b>  |
| <b>CHAPITRE IV : HACHEUR FLYBACK</b>                   |  | <b>73</b>  |
| <b>1</b>   | <b>Hacheur Flyback</b>                               | <b>73</b>  |
| 1.1.   | Structure  | 73         |
| 1.2.   | Démagnétisation incomplète                           | 74         |
| 1.3.   | Démagnétisation complète                             | 77         |
| 1.4.   | Dimensionnement                                      | 82         |
| 1.5.   | Chutes de tension et rendement                       | 84         |
| <b>2</b>   | <b>PFC à hacheur Flyback</b>                         | <b>84</b>  |
| 2.1.   | Différents modes de commande MLI                     | 85         |
| 2.2.   | Mode TM  | 86         |
| 2.3.   | Fréquence constante – démagnétisation complète       | 103        |
| 2.4.   | Fréquence constante – démagnétisation incomplète     | 113        |
| <b>CHAPITRE V : HACHEURS SÉRIE ET FORWARD</b>          |  | <b>127</b> |
| <b>1</b>   | <b>Hacheur série (Buck)</b>                          | <b>127</b> |
| 1.1.   | Structure  | 127        |
| 1.2.   | Conduction ininterrompue                             | 128        |
| 1.3.   | Conduction interrompue                               | 131        |
| 1.4.   | Régime dynamique                                     | 135        |
| 1.5.   | Dimensionnement                                      | 136        |
| 1.6.   | Chutes de tension et rendement                       | 137        |

|  |   |            |
|--|---|------------|
| <b>2</b>   | <b>Hacheur Forward</b>  | <b>137</b> |
| 2.1.   | Structure   | 137        |
| 2.2.   | Limitation impérative du rapport cyclique                     | 138        |
| 2.3.   | Conduction ininterrompue                                      | 139        |
| 2.4.   | Conduction interrompue  | 143        |
| 2.5.   | Dimensionnement   | 148        |
| <b>3</b>   | <b>Hacheurs séries entrelacés</b>                             | <b>149</b> |
| 3.1.   | Structures à deux voies                                       | 150        |
| 3.2.   | Généralisation  | 151        |
| <b>4</b>   | <b>PFC à hacheur série ou Forward</b>                         | <b>151</b> |
| <b>CHAPITRE VI : HACHEUR À ACCUMULATION CAPACITIVE</b> |   | <b>152</b> |
| <b>1</b>   | <b>Hacheur à accumulation capacitive (C<sub>ùk</sub>)</b>     | <b>152</b> |
| 1.1.   | Structure   | 152        |
| 1.2.   | Conduction ininterrompue                                      | 153        |
| 1.3.   | Conduction interrompue du courant dans la diode D             | 159        |
| 1.4.   | Tension interrompue aux bornes du condensateur C <sub>K</sub> | 161        |
| 1.5.   | Limites entre les conductions ininterrompue et interrompues   | 163        |
| 1.6.   | Dimensionnement   | 166        |
| <b>2</b>   | <b>Hacheurs dérivés du hacheur à accumulation capacitive</b>  | <b>168</b> |
| 2.1.   | SEPIC   | 168        |
| 2.2.   | ZETA  | 169        |
| <b>CHAPITRE VII : REDRESSEURS MLI</b>                  |   | <b>171</b> |
| <b>1.</b>  | <b>Redresseur MLI monophasé</b>                               | <b>171</b> |
| 1.1.   | Loi d'évolution de la commande                                | 172        |
| 1.2.   | Ondulation du courant en ligne                                | 174        |
| 1.3.   | Caractérisation des courants                                  | 175        |
| 1.4.   | Ondulation de la tension de sortie                            | 177        |
| 1.5.   | Contraintes et dimensionnement des composants                 | 177        |
| <b>2.</b>  | <b>PFC à hacheurs parallèles sans pont redresseur</b>         | <b>182</b> |
| 2.1.   | Loi d'évolution de la commande                                | 185        |
| 2.2.   | Ondulation du courant en ligne                                | 185        |
| 2.3.   | Caractérisation des courants                                  | 186        |
| 2.4.   | Ondulation de la tension de sortie                            | 188        |
| 2.5.   | Contraintes et dimensionnement des composants                 | 188        |
| <b>3.</b>  | <b>Redresseurs MLI triphasés</b>                              | <b>193</b> |
| 3.1.   | Redresseur MLI triphasé sans isolation                        | 193        |
| 3.2.   | Redresseur MLI triphasé avec isolation                        | 195        |

---

|   |            |
|---|------------|
| <b>ANNEXES</b>  | <b>196</b> |
| ANNEXE 1 : Sources et charges   | 196        |
| ANNEXE 2 : Facteurs de forme et de dimensionnement                      | 197        |
| ANNEXE 3 : Rendement d'un pré-régulateur                                | 198        |
| ANNEXE 4 : Comparaison des différentes structures                       | 200        |
| ANNEXE 5 : Régime dynamique des hacheurs                                | 203        |
| ANNEXE 6 : Effet de peau  | 213        |
| ANNEXE 7 : Conduction inverse d'un MOSFET                               | 216        |
| <br>  |            |
| <b>EXERCICES RÉSOLUS</b>  | <b>222</b> |
| 1. Hacheur série. Etude de la traction électrique d'un de métro de Lyon | 222        |
| 2. Hacheur série à thyristors (BTS Electrotechnique 1979)               | 225        |
| 3. La locomotive passe frontières BB36000 (BTS Electrotechnique 2002)   | 230        |
| 4. PFC à hacheur Flyback en mode TM                                     | 242        |
| 5. PFC à hacheur parallèle en mode TM                                   | 243        |
| 6. PFC à hacheur parallèle à commande par hystérésis                    | 244        |
| 7. Hacheurs en cascade  | 246        |
| <br>  |            |
| <b>INDEX</b>  | <b>249</b> |
| <br>  |            |
| <b>BIBLIOGRAPHIE</b>  | <b>252</b> |