

# Table des matières

|   |    |
|---|----|
| <b>Avant-propos</b> . . . . .   | 9  |
| <b>Chapitre 1. Capteurs en électronique de puissance</b> . . . . .  | 11 |
| 1.1. Généralités . . . . .  | 11 |
| 1.2. Capteurs de courant . . . . .  | 14 |
| 1.2.1. <i>Shunts</i> de mesure de courant . . . . .   | 15 |
| 1.2.1.1. La loi d'Ohm et ses complications . . . . .  | 15 |
| 1.2.1.2. Effet Seebeck . . . . .  | 16 |
| 1.2.1.3. Vieillessement . . . . .   | 18 |
| 1.2.1.4. Quelques technologies de résistance et notion de bruit . . . . .                                     | 18 |
| 1.2.1.5. Résistances CMS en couche mince . . . . .  | 19 |
| 1.2.1.6. <i>Shunt</i> à quatre bornes . . . . .   | 20 |
| 1.2.1.7. Intégration dans un convertisseur : mesure simple<br>ou différentielle . . . . .                     | 22 |
| 1.2.1.8. Un bilan : précision initiale, dérives en température<br>et dans le temps, et calibrations . . . . . | 32 |
| 1.2.2. Transformateurs de courant . . . . .   | 34 |
| 1.2.2.1. Principe physique . . . . .  | 34 |
| 1.2.2.2. Technologies . . . . .   | 36 |
| 1.2.3. Capteurs à effet Hall . . . . .  | 41 |
| 1.2.3.1. Principe physique . . . . .  | 41 |
| 1.2.3.2. Mesures en boucle ouverte . . . . .  | 43 |
| 1.2.3.3. Mesures en boucle fermée . . . . .   | 44 |
| 1.3. Capteurs de tension . . . . .  | 47 |
| 1.3.1. Les difficultés associées à une fonction simple . . . . .  | 47 |
| 1.3.2. Mesure non isolée . . . . .  | 47 |
| 1.3.3. Solutions pour l'isolation galvanique . . . . .  | 51 |
| 1.4. Capteurs de température . . . . .  | 53 |
| 1.4.1. Difficultés métrologiques . . . . .  | 53 |

|  |            |
|--|------------|
| 1.4.2. Les familles de capteurs de température . . . . .   | 54         |
| 1.4.3. Exemples de circuits de conditionnement . . . . .   | 56         |
| 1.4.4. Protection thermique des composants de puissance . . . . .                                | 58         |
| 1.5. Appareils de mesure . . . . .   | 59         |
| 1.5.1. Choix et qualité des mesures . . . . .  | 59         |
| 1.5.2. Choix et sûreté de fonctionnement . . . . .   | 63         |
| <b>Chapitre 2. Protections en électronique . . . . .</b>   | <b>67</b>  |
| 2.1. Introduction et définitions . . . . .   | 67         |
| 2.1.1. Généralités sur les défauts . . . . .   | 67         |
| 2.1.2. Protections et normes . . . . .   | 68         |
| 2.1.3. Durée des phénomènes . . . . .  | 71         |
| 2.1.3.1. Pics de tension, amplitudes et durées . . . . .   | 71         |
| 2.1.3.2. Appels de courant au démarrage d'appareils électriques<br>et électroniques. . . . .     | 74         |
| 2.2. Protection contre les surintensités . . . . .   | 82         |
| 2.2.1. Limitation d'appel de courant . . . . .   | 82         |
| 2.2.1.1. Résistances à coefficient de température négatif . . . . .                              | 82         |
| 2.2.1.2. Autres dispositifs . . . . .  | 86         |
| 2.2.2. Fusibles . . . . .  | 88         |
| 2.2.3. Fusibles réarmables . . . . .   | 92         |
| 2.2.4. Protections à semi-conducteurs . . . . .  | 94         |
| 2.3. Protections contre les surtensions . . . . .  | 94         |
| 2.3.1. Eclateurs à gaz . . . . .   | 95         |
| 2.3.2. Varistances . . . . .   | 97         |
| 2.3.3. Diodes Transil . . . . .  | 99         |
| 2.3.4. Circuits imprimés . . . . .   | 100        |
| 2.4. Matériel antidéflagrant . . . . .   | 101        |
| 2.4.1. Certification ATEX . . . . .  | 101        |
| 2.4.1.1. Les atmosphères explosives . . . . .  | 101        |
| 2.4.1.2. Le matériel ATEX . . . . .  | 102        |
| 2.4.1.3. Classes de température . . . . .  | 104        |
| 2.4.2. Notion d'indice de protection (IP) . . . . .  | 105        |
| <b>Chapitre 3. Systèmes de stockage – Principes, technologies<br/>et mise en œuvre . . . . .</b> | <b>109</b> |
| 3.1. Introduction . . . . .  | 109        |
| 3.2. Du condensateur au supercondensateur . . . . .  | 111        |
| 3.2.1. Condensateurs . . . . .   | 111        |
| 3.2.2. Eléments de physique sur la conductivité . . . . .  | 118        |
| 3.2.3. Quelques remarques sur le vieillissement . . . . .  | 123        |
| 3.2.4. Supercondensateurs . . . . .  | 125        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.3. De la pile à la batterie . . . . .                                  | 130        |
| 3.3.1. Historique . . . . .  | 130        |
| 3.3.2. Pile Daniell . . . . .  | 133        |
| 3.3.3. Technologies actuelles des piles . . . . .                        | 134        |
| 3.3.3.1. Piles salines . . . . .   | 134        |
| 3.3.3.2. Piles alcalines . . . . .                                       | 135        |
| 3.3.3.3. Autres technologies . . . . .                                   | 136        |
| 3.3.4. Piles du point de vue de l'utilisateur . . . . .                  | 137        |
| 3.3.5. Historique et principe des accumulateurs . . . . .                | 143        |
| 3.3.6. Comparatif des technologies d'accumulateurs . . . . .             | 145        |
| 3.3.7. Grandeurs-clés, définitions et vocabulaire . . . . .              | 148        |
| 3.3.8. Technologies d'accumulateurs . . . . .                            | 149        |
| 3.3.8.1. Batteries au plomb . . . . .                                    | 149        |
| 3.3.8.2. Batteries Ni-MH . . . . .                                       | 153        |
| 3.3.8.3. Batteries au lithium . . . . .                                  | 154        |
| 3.3.8.4. Une autre technologie Lithium : LMP . . . . .                   | 159        |
| 3.4. Monitoring des états de charge et de santé des composants . . . . . | 160        |
| 3.4.1. Batteries . . . . .   | 160        |
| 3.4.1.1. Caractéristique d'OCV . . . . .                                 | 160        |
| 3.4.1.2. Comptage coulombique . . . . .                                  | 161        |
| 3.4.1.3. Vue d'ensemble . . . . .  | 163        |
| 3.4.2. Circuits intégrés dédiés . . . . .                                | 163        |
| 3.4.3. Cas des condensateurs et supercondensateurs . . . . .             | 167        |
| 3.5. Circuits associés aux systèmes de stockage . . . . .                | 168        |
| 3.5.1. Condensateurs de découplage . . . . .                             | 168        |
| 3.5.1.1. Courant efficace . . . . .                                      | 168        |
| 3.5.2. Circuits d'équilibrage . . . . .                                  | 173        |
| 3.5.2.1. Objectifs . . . . .   | 173        |
| 3.5.3. Chargeurs de batterie . . . . .                                   | 177        |
| 3.5.3.1. Généralités . . . . .   | 177        |
| 3.5.3.2. Cas des batteries au plomb . . . . .                            | 178        |
| 3.5.3.3. Cas des batteries Ni-MH . . . . .                               | 179        |
| 3.5.3.4. Cas des batteries Li-Ion . . . . .                              | 180        |
| 3.5.3.5. A propos de l'effet mémoire . . . . .                           | 180        |
| 3.5.3.6. Circuits intégrés . . . . .                                     | 181        |
| <b>Annexe A. Calcul d'incertitudes . . . . .</b>                         | <b>185</b> |
| <b>Annexe B. Unités de mesures métriques et impériales . . . . .</b>     | <b>207</b> |
| <b>Bibliographie . . . . .</b>   | <b>215</b> |
| <b>Index . . . . .</b>   | <b>219</b> |