

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Przedmowa .....                                                                    | 8         |
| <b>1. WSTĘP .....</b>                                                              | <b>9</b>  |
| <b>2. PRZYRZĄDY PÓŁPRZEWODNIKOWE .....</b>                                         | <b>21</b> |
| 2.1. Podstawowe właściwości fizyczne półprzewodnikowych struktur złączowych .....  | 23        |
| 2.1.1 Właściwości fizyczne materiałów półprzewodnikowych .....                     | 23        |
| 2.1.2. Złącze $p-n$ .....                                                          | 31        |
| 2.1.3. Złącze metal-półprzewodnik .....                                            | 34        |
| 2.1.4. Złącze energetyczne PiN .....                                               | 36        |
| 2.1.5. Wzajemne oddziaływanie złączy – bipolarny tranzystor złączowy (BJT) .....   | 41        |
| 2.1.6. Struktura trójjzłączowa – tyrystor .....                                    | 44        |
| 2.1.7. Zjawisko polowe złączowe – złączowy tranzystor polowy JFET .....            | 47        |
| 2.1.8. Zjawisko polowe powierzchniowe – tranzystor z izolowaną bramką MOSFET ..... | 49        |
| 2.1.9. Nowe materiały półprzewodnikowe .....                                       | 52        |
| 2.1.10. Kierunki rozwoju półprzewodnikowych struktur łączników mocy .....          | 55        |
| 2.2. Diody .....                                                                   | 58        |
| 2.2.1. Charakterystyki i parametry statyczne diody PiN .....                       | 58        |
| 2.2.2. Właściwości i parametry dynamiczne diody PiN .....                          | 64        |
| 2.2.3. Diody specjalne krzemowe i z węgla krzemu .....                             | 69        |
| 2.3. Bipolarne tranzystory złączowe (BJT) .....                                    | 73        |
| 2.3.1. Budowa, charakterystyki i parametry statyczne tranzystora bipolarnego ..... | 74        |
| 2.3.2. Właściwości dynamiczne tranzystora bipolarnego .....                        | 83        |
| 2.3.3. Tranzystor bipolarny z węgla krzemu .....                                   | 88        |
| 2.4. Tyrystory .....                                                               | 90        |
| 2.4.1. Tyrystor półsterowany .....                                                 | 91        |
| 2.4.2. Tyrystor wyłączalny (GTO) .....                                             | 99        |
| 2.4.3. Tyrystor komutowany bramką (GCT) .....                                      | 104       |
| 2.4.4. Przyrządy pokrewne tyrystorowi .....                                        | 107       |
| 2.5. Polowe tranzystory mocy .....                                                 | 112       |
| 2.5.1. Budowa i charakterystyki statyczne tranzystora MOSFET .....                 | 113       |
| 2.5.2. Właściwości dynamiczne tranzystora MOSFET .....                             | 121       |
| 2.5.3. Tranzystor polowy złączowy (JFET) .....                                     | 126       |
| 2.6. Tranzystory bipolarne z izolowaną bramką (IGBT) .....                         | 129       |
| 2.6.1. Budowa i charakterystyki statyczne .....                                    | 129       |
| 2.6.2. Właściwości dynamiczne .....                                                | 135       |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.7. Metody zabezpieczania przyrządów półprzewodnikowych .....               | 142        |
| 2.7.1. Zabezpieczenia przed zwarciami .....                                  | 143        |
| 2.7.2. Zabezpieczenia przed przepięciami .....                               | 158        |
| 2.7.3. Obwody odciażające tranzystory bipolarne i IGBT .....                 | 174        |
| 2.7.4. Obwody odciażające tyrystory .....                                    | 182        |
| 2.8. Zjawiska cieplne w przyrządach półprzewodnikowych .....                 | 184        |
| 2.8.1. Wiadomości wstępne .....                                              | 184        |
| 2.8.2. Wyznaczanie mocy strat w przyrządach półprzewodnikowych .....         | 187        |
| 2.8.3. Procesy chłodzenia wpływające na wartość rezystancji termicznej ..... | 190        |
| 2.8.4. Chłodzenie przyrządów półprzewodnikowych .....                        | 193        |
| 2.8.5. Zjawiska cieplne w stanach nieustalonych .....                        | 199        |
| <b>3. ELEMENTY MAGNETYCZNE .....</b>                                         | <b>212</b> |
| 3.1. Wprowadzenie .....                                                      | 212        |
| 3.2. Obwody magnetyczne .....                                                | 213        |
| 3.2.1. Dławiki .....                                                         | 216        |
| 3.2.2. Transformatory .....                                                  | 222        |
| 3.3. Materiały magnetyczne .....                                             | 231        |
| 3.3.1. Charakterystyki magnesowania .....                                    | 232        |
| 3.3.2. Straty mocy w obwodach magnetycznych .....                            | 238        |
| 3.3.3. Właściwości materiałów magnetycznych .....                            | 253        |
| 3.4. Uzwojenia elementów magnetycznych .....                                 | 267        |
| 3.4.1. Zjawisko naskórkowości .....                                          | 268        |
| 3.4.2. Zjawisko przylegania i prądy wirowe .....                             | 273        |
| 3.4.3. Rezystancja uzwojeń .....                                             | 278        |
| 3.4.4. Indukcyjność rozproszenia uzwojeń .....                               | 290        |
| 3.4.5. Pojemność uzwojeń .....                                               | 295        |
| 3.5. Zjawiska cieplne w elementach magnetycznych .....                       | 299        |
| 3.5.1. Przewodnictwo cieplne .....                                           | 302        |
| 3.5.2. Unoszenie (konwekcja) swobodne i wymuszone ciepła .....               | 303        |
| 3.5.3. Promieniowanie (radiacja) ciepła .....                                | 307        |
| 3.5.4. Modele cieplne elementów magnetycznych .....                          | 309        |
| 3.5.5. Uprozczone obliczenia cieplne elementów magnetycznych .....           | 316        |
| 3.5.6. Ciepłne stany nieustalone elementów magnetycznych .....               | 319        |
| 3.6. Elementy magnetyczne małej częstotliwości .....                         | 324        |
| 3.6.1. Transformatory jednofazowe małej mocy .....                           | 324        |
| 3.6.2. Transformatory sieciowe przekształtników .....                        | 333        |
| 3.6.3. Dławiki małej częstotliwości .....                                    | 341        |
| 3.7. Transformatory i dławiki średniej częstotliwości .....                  | 349        |
| 3.7.1. Transformatory o podwyższonej częstotliwości .....                    | 350        |
| 3.7.2. Transformatory przetwornic dwutaktowych .....                         | 368        |
| 3.7.3. Transformatory impulsowe .....                                        | 373        |
| 3.7.4. Dławiki w obwodach o podwyższonej częstotliwości .....                | 381        |
| 3.7.5. Dławiki specjalne .....                                               | 392        |
| 3.7.6. Dławiki bezrdzeniowe (powietrzne) .....                               | 394        |
| <b>4. KONDENSATORY .....</b>                                                 | <b>398</b> |
| 4.1. Wprowadzenie .....                                                      | 398        |
| 4.2. Budowa i właściwości kondensatorów .....                                | 401        |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.1. Kondensatory niespolaryzowane .....                                                    | 402        |
| 4.2.2. Kondensatory spolaryzowane .....                                                       | 413        |
| 4.3. Superkondensatory .....                                                                  | 419        |
| <b>5. INNE ELEMENTY UKŁADÓW ENERGEOELEKTRONICZNYCH .....</b>                                  | <b>426</b> |
| 5.1. Rezystory .....                                                                          | 426        |
| 5.2. Warystory .....                                                                          | 428        |
| 5.3. Odgromniki gazowe .....                                                                  | 434        |
| <b>6. PODSTAWOWE PRZEKSZTAŁTNIKI ENERGEOELEKTRONICZNE .....</b>                               | <b>438</b> |
| 6.1. Przekształtniki sieciowe niesterowane i sterowane fazowo .....                           | 439        |
| 6.1.1. Prostowniki i falowniki zależne .....                                                  | 439        |
| 6.1.2. Przekształtniki podwójne (nawrotne, rewersyjne) .....                                  | 460        |
| 6.1.3. Bezpośrednie przemienniki częstotliwości .....                                         | 462        |
| 6.1.4. Tyristorowe sterowniki i łączniki prądu przemiennego .....                             | 463        |
| 6.2. Impulsowe przekształtniki prądu stałego .....                                            | 468        |
| 6.2.1. Przekształtniki bezpośrednie .....                                                     | 469        |
| 6.2.2. Przekształtniki prądu stałego z pośredniczącymi obwodami transformatoro-<br>wymi ..... | 483        |
| 6.2.3. Układy quasi-rezonansowe .....                                                         | 492        |
| 6.3. Niezależne falowniki napięcia i prądu .....                                              | 499        |
| 6.3.1. Wprowadzenie .....                                                                     | 499        |
| 6.3.2. Falowniki napięcia .....                                                               | 504        |
| 6.3.3. Falowniki prądu .....                                                                  | 537        |
| 6.3.4. Falowniki z wyjściowym obwodem rezonansowym .....                                      | 544        |
| 6.4. Przekształtniki sieciowe o sterowaniu impulsowym .....                                   | 556        |
| 6.4.1. Prostowniki z obwodem wyjściowym napięcia lub prądu stałego .....                      | 556        |
| 6.4.2. Sterowniki impulsowe napięcia przemiennego .....                                       | 564        |
| 6.4.3. Przekształtniki matrycowe .....                                                        | 566        |
| <b>Bibliografia .....</b>                                                                     | <b>569</b> |