

*Fotowoltaika : urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne*  
Izabela Góralczyk, Ryszard Tytko

## Spis treści

Od autorów / 11

Perspektywy rozwoju fotowoltaiki w Polsce / 15

Wykaz wybranych oznaczeń, wielkości i ich jednostek / 18

Symbole graficzne wg PN-EN 60617 stosowane w schematach elektrycznych / 21

MODUŁ I Bezpieczeństwo i higiena pracy. Ochrona przeciwpożarowa / 33

1. Bezpieczeństwo i higiena pracy (BHP) / 33

2. Instrukcje BHP / 33

3. BHP a ergonomia / 33

4. Stanowisko pracy / 34

5. Elementy stanowiska pracy / 34

6. Zadania służb BHP / 35

7. Pierwsza pomoc / 35

8. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych / 36

9. Sprzęt ochronny / 37

10. Sposoby ratowania porażonych prądem elektrycznym / 38

11. Ochrona przeciwpożarowa / 40

12. Prewencja pożarowa / 40

13. Zapobieganie pożarom / 41

14. Sposoby ratowania osoby poszkodowanej w pożarze / 41

15. Czynności ratujące / 42

MODUŁ I Rysunek techniczny / 43

1. Znaczenie rysunku w przekazywaniu informacji / 43

2. Rodzaje rysunków technicznych / 44

3. Wymiary i kształt arkuszy rysunkowych / 44

4. Oramowanie / 45

5. Tabliczka rysunkowa / 45

6. Podziałki rysunków / 46

7. Rodzaje linii rysunkowych / 46

8. Rodzaje rzutów aksonometrycznych i ich zastosowanie / 47

9. Rzutowanie prostokątne / 47

10. Układ trzech rzutni / 48

11. Wymiarowanie / 50

12. Podstawowe zasady wymiarowania / 52

13. Wymiarowanie wg układu współrzędnych / 53

14. Przekroje / 54

15. Oznaczanie przekrojów / 55

16. Pismo techniczne / 55

17. Rysunki schematyczne / 55

18. Wykresy i odczytywanie wykresów / 56

## MODUŁ III Podstawy elektrotechniki / 57

1. Prąd stały / 57
  - 1.1. Prąd elektryczny / 57
  - 1.2. Napięcie elektryczne / 58
  - 1.3. Obwody elektryczne / 58
  - 1.4. Prawo Ohma / 59
  - 1.5. Obliczanie rezystancji / 59
  - 1.6. Łączenie rezystorów / 59
  - 1.7. Zależność rezystancji od temperatury / 60
  - 1.8. Źródła prądu stałego / 60
  - 1.9. Prawa obwodu elektrycznego / 61
    - 1.9.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa / 61
    - 1.9.2. Drugie prawo Kirchhoffa / 62
  - 1.10. Stany pracy źródeł energii elektrycznej / 62
  - 1.11. Moc prądu stałego / 62
  - 1.12. Energia prądu stałego / 63
  - 1.13. Prawo Joule'a – Lenza / 64
2. Prąd przemienny jednofazowy / 64
  - 2.1. Analiza obwodów zawierających elementy R, L, C. / 65
    - 2.1.1. Obwód elektryczny z rezystancją / 65
    - 2.1.2. Obwód elektryczny z cewką o indukcyjności L (reaktancją indukcyjną) / 66
    - 2.1.3. Obwód elektryczny z kondensatorem o pojemności C (reaktancją pojemnościową) / 67
    - 2.1.4. Obwód elektryczny szeregowy z elementami R, L, C / 68
    - 2.1.5. Obwód elektryczny równoległy z elementami R, L, C / 69
3. Kondensatory / 71
  - 3.1. Pojemność kondensatora / 71
  - 3.2. Łączenie kondensatorów / 72
4. Moc prądu przemiennego jednofazowego / 72
  - 4.1. Moc czynna / 72
  - 4.2. Moc bierna / 73
  - 4.3. Moc pozorna / 74
5. Układy trójfazowe / 74
  - 5.1. Układ połączeń odbiorników w gwiazdę / 74
  - 5.2. Układ odbiorników połączonych w trójkąt / 75
6. Pomiar mocy w układach 3 fazowych / 76
7. Pomiar energii w obwodach trójfazowych / 77
8. Zdjęcia przedstawiające autorów podręcznika w czasie zajęć laboratoryjnych z podstaw elektrotechniki z uczniami, studentami, słuchaczami w pracowni elektrycznej / 79

## MODUŁ IV Urządzenia i instalacje elektryczne / 81

1. Oznaczenia przewodów i zacisków / 81
  - 1.1. Wybrane oznaczenia kabli i przewodów według normy PN: 60446 / 83
  - 1.2. Przekroje przewodów / 84
  - 1.3. Wybrane przykłady oznaczeń przewodów / 84
  - 1.4. Podział przewodów ze względu na pełnioną funkcję / 85
  - 1.5. Oznaczenia przewodów i zacisków odbiorników / 85
2. Łączenie przewodów / 86
3. Wybrane zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych do 1 kV / 87
  - 3.1. Oddziaływanie prądu elektrycznego na organizm ludzki / 87

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2. Warunki środowiskowe /                                                                                                                                       | 88  |
| 3.3. Stopnie ochrony obudów urządzeń elektrycznych /                                                                                                              | 89  |
| 3.4. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych i elektronicznych /                                                                                                 | 90  |
| 3.5. Napięcia i układy sieciowe /                                                                                                                                 | 90  |
| 3.6. Układy sieci /                                                                                                                                               | 91  |
| 3.7. Charakterystyka układów sieciowych /                                                                                                                         | 92  |
| 4. Środki ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym przy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych /                                                         | 94  |
| 4.1. Rodzaje ochron przeciwporażeniowych /                                                                                                                        | 94  |
| 4.1.1. Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim /                                                                                              | 94  |
| 4.1.2. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona podstawowa) /                                                                                                 | 96  |
| 4.2. Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona dodatkowa) /                                                                                                       | 97  |
| 4.2.1. Ochrona przez zastosowanie samoczynnego wyłączenia zasilania /                                                                                             | 97  |
| 4.2.2. Wyłączniki nadmiarowo-prądowe /                                                                                                                            | 98  |
| 4.3. Urządzenia ochronne różnicowoprądowe /                                                                                                                       | 101 |
| 4.4. Ochrona przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie sieciowym TN /                                                             | 108 |
| 4.5. Ochrona przez zastosowanie urządzenia II klasy ochronności /                                                                                                 | 110 |
| 4.6. Ochrona przez zastosowanie izolowania stanowiska /                                                                                                           | 111 |
| 4.7. Ochrona przez zastosowanie separacji elektrycznej /                                                                                                          | 111 |
| 4.8. Ochrona przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych /                                                                               | 113 |
| 4.9. Połączenia wyrównawcze /                                                                                                                                     | 114 |
| 5. Przewody ochronne, ochronno-neutralne i wyrównawcze /                                                                                                          | 116 |
| 6. Uziomy i przewody uziemiające /                                                                                                                                | 117 |
| 6.1. Uziomy naturalne /                                                                                                                                           | 118 |
| 6.2. Uziomy sztuczne /                                                                                                                                            | 118 |
| 7. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi /                                                                                                  | 121 |
| 8. Przyłączanie urządzeń elektrycznych /                                                                                                                          | 124 |
| 9. Zasilanie budynku /                                                                                                                                            | 125 |
| 10. Instalacje elektryczne w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych /                                                                                              | 125 |
| 11. Wybrane zasady wykonania instalacji elektrycznej w budynku /                                                                                                  | 130 |
| 12. Eksploatacja instalacji elektrycznych /                                                                                                                       | 131 |
| 13. Pomiar ciągłości przewodów /                                                                                                                                  | 133 |
| 14. Pomiar rezystancji izolacji instalacji elektrycznej /                                                                                                         | 133 |
| 15. Pomiar rezystancji izolacji podłóg i ścian /                                                                                                                  | 135 |
| 16. Pomiar rezystancji uziomu /                                                                                                                                   | 136 |
| 17. Sprawdzenie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania /                                                             | 136 |
| 18. Sprawdzanie działania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych /                                                                                                | 139 |
| 19. Protokół odbiorczy /                                                                                                                                          | 139 |
| 20. Ogólne zasady eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych /                                                                                                   | 140 |
| 21. Dokumentacja techniczna /                                                                                                                                     | 141 |
| 22. Przyjmowanie urządzeń do eksploatacji /                                                                                                                       | 142 |
| 23. Prowadzenie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych /                                                                                                     | 142 |
| 24. Kontrola eksploatacji /                                                                                                                                       | 143 |
| 25. Zdjęcia przedstawiające autorów podręcznika w czasie zajęć laboratoryjnych z urządzeń elektrycznych z uczniami, studentami, słuchaczami w pracowni urządzeń / | 143 |

1. Kosztorysy – rodzaje i sposoby obliczeń / 145
  - 1.1. Kosztorys inwestorski / 146
  - 1.2. Kosztorys ofertowy / 146
  - 1.3. Kosztorys zamienny / 148
  - 1.4. Kosztorys powykonawczy / 148
  - 1.5. Rodzaje kalkulacji kosztorysowej / 149
    - 1.5.1. Kalkulacja uproszczona / 149
    - 1.5.2. Kalkulacja szczegółowa / 150
2. Oferty w postępowaniu o udzielenie zamówienia publicznego / 151
  - 2.1. Treść projektu oferty / 151
3. Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia (SIWZ) / 152
4. Przekazywanie SIWZ dla wykonawców / 153
5. Przykładowa specyfikacja wykonania i odbioru robót i materiałów instalacyjnych / 153
  - 5.1. Przedmiot zamówienia / 154
  - 5.2. Przedmiot i zakres robót instalacyjnych / 154
  - 5.3. Prace towarzyszące i roboty tymczasowe / 154
  - 5.4. Teren budowy / 154
    - 5.4.1. Organizacja robót / 154
    - 5.4.2. Harmonogram robót / 154
    - 5.4.3. Wprowadzenie na budowę / 155
    - 5.4.4. Koordynacja robót / 155
    - 5.4.5. Zabezpieczenie interesów osób trzecich / 156
    - 5.4.6. Ochrona środowiska i zdrowia ludzi / 156
    - 5.4.7. Bezpieczeństwo i higiena pracy / 157
    - 5.4.8. Zaplecze budowy / 157
    - 5.4.9. Organizacja ruchu / 158
    - 5.4.10. Ogrodzenie / 158
    - 5.4.11. Zabezpieczenie chodników i jezdni / 158
6. Wymagania dotyczące wyrobów instalacyjnych / 158
7. Wymagania dotyczące sprzętu i maszyn / 159
8. Wymagania dotyczące środków transportu / 159
9. Sposób wykonania robót instalacyjnych / 160
10. Kontrola oraz odbiór robót instalacyjnych / 160
11. Wymagania dotyczące przedmiaru i obmiaru robót / 162
12. Odbiór robót i przekazanie do użytku / 164
13. Sposób rozliczenia robót tymczasowych i prac towarzyszących / 165
14. Dokumenty normy i przepisy / 165

## MODUŁ VI Energetyka słoneczna / 167

1. Energia słoneczna / 167
2. Atmosfera Ziemi / 168
3. Oddziaływanie atmosfery z promieniowaniem / 168
4. Wielkość energii słonecznej na Ziemi / 169
5. Nasłonecznienie w Polsce / 170
6. Zalety promieniowania słonecznego jako źródła energii / 170
7. Wady promieniowania słonecznego jako źródła energii / 170
8. Sposoby produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem energii słonecznej / 171
  - 8.1. Metoda heli termiczna / 171
  - 8.2. Metoda helioelektryczna / 172
9. Wiadomości wstępne z optoelektroniki / 173

## MODUŁ VII Budowa, zasada działania fotoogniw (PV) / 175

1. Budowa i zasada działania ogniw krzemowych / 175
2. Podział ogniw PV / 176
3. Ogniw z krzemu monolitycznego / 176
  - 3.1. Budowa fotoogniwa / 176
  - 3.2. Technologia wytwarzania fotoogniwa / 177
  - 3.3. Przykłady krzemowych modułów fotowoltaicznych / 178
4. Ogniw polikrystaliczne / 182
  - 4.1. Budowa fotoogniwa / 182
  - 4.2. Rozwiązania konstrukcyjne fotomodułów płaskich polikrystalicznych / 182
5. Ogniw polikrystaliczne cienkowarstwowe / 184
  - 5.1. Budowa fotoogniwa / 184
  - 5.2. Technologia wytwarzania ogniw PV / 184
6. Ogniw z krzemu amorficznego / 185
  - 6.1. Budowa i technologia wytwarzania fotoogniwa / 185
7. Ogniw cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu / 187
  - 7.1. Budowa i technologia wytwarzania / 187
  - 7.2. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego / 188
8. Ogniw fotowoltaiczne z materiałów organicznych / 188
  - 8.1. Budowa i technologia wytwarzania / 188
  - 8.2. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne ogniw PV, na podłożu polimerowym / 189
  - 8.3. Parametry polimerowych ogniw PV / 191
  - 8.4. Sposoby produkcji / 192
9. Ogniw fotowoltaiczne uczulane barwnikiem / 192
  - 9.1. Zasada działania / 192
  - 9.2. Budowa, parametry ogniw / 192
10. Hybrydowe panele słoneczne / 193
  - 10.1. Zasada działania / 193
  - 10.2. Budowa urządzenia / 194
11. Dwustronne baterie słoneczne / 195
12. Utrata mocy fotoogniw funkcji czasu pracy / 195
  - 12.1. Dioda bocznikująca fotoogniwo (by-pass) / 195
13. Gorący punkt (hot spot) / 198
  - 13.1. Napięcie indukowane w module PID (Potential Induced Degradation) / 199

## MODUŁ VIII Analiza pracy fotoogniwa / 201

1. Podstawowe zależności / 201
2. Wpływ temperatury na parametry fotoogniwa / 203
3. Sposoby połączeń modułów PV / 205
4. Wpływ promieniowania słonecznego na parametry modułu fotowoltaicznego / 206
5. Wybrane wyniki badań modułów fotowoltaicznych / 207
6. Wybrane wyniki badań instalacji fotowoltaicznej „podążającej za słońcem” / 210
7. Zdjęcia przedstawiające autorów podręcznika w czasie zajęć laboratoryjnych z uczniami, studentami, słuchaczami / 212

## MODUŁ IX Parametry osprzętu instalacji PV / 221

1. Regulatory ładowania / 221
2. Przetwornice napięcia / 222
  - 2.1. Przykładowe rozwiązanie / 223

- 2.2. Parametry elektryczne pracy falownika 1-fazowego / 223
- 2.3. Falowniki 3-fazowe / 224
- 3. MPP tracker / 226
- 4. Modem komunikacyjny / 227
  - 4.1. Zasada działania / 227
  - 4.2. Charakterystyka urządzeń / 227
- 5. Sposób łączenia przewodów po stronie DC / 229
- 6. Mierniki instalacji fotowoltaicznych / 229

#### MODUŁ X Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych / 233

- 1. Rodzaje instalacji PV / 233
- 2. Mała instalacja fotowoltaiczna / 233
- 3. Wybrane układy połączeń fotoogniw / 236
  - 3.1. Sieć autonomiczna (wydzielona) / 236
  - 3.2. Praca elektrowni PV na sieć „sztywną” / 237

#### MODUŁ XI Wytyczne montażowe / 239

- 1. Etapy realizacji inwestycji / 239
- 2. Projekt techniczny / 239
- 3. Etapy budowy / 239
- 4. Zagadnienia techniczne montażu instalacji / 240
- 5. Sposób montażu ogniw PV w rzędach / 242
- 6. Ochrona odgromowa instalacji fotowoltaicznych / 244
  - 6.1. Ochrona odgromowa – rodzaje ochrony / 245
  - 6.2. Ochrona odgromowa – ochrona zewnętrzna / 245
  - 6.3. System ochronny instalacji PV bez zewnętrznej ochrony odgromowej (zwdów pionowych) – ochrona wewnętrzna / 247
- 7. Odbiór instalacji / 249

#### MODUŁ XII BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznej / 251

- 1. Zasady BHP przy montażu instalacji fotowoltaicznych / 251
- 2. Kompletność dostawy materiałów i urządzeń / 252
- 3. Transport i składowanie / 252
- 4. Dokumentacja techniczna / 253
- 5. Narzędzia i sprzęt dodatkowy / 253
- 6. Informacje ogólne / 253
- 7. Przepisy bezpieczeństwa / 253
- 8. Ochrona przeciwporażeniowa / 254
- 9. Ochrona przeciwpożarowa / 254
- 10. Bezpieczeństwo wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych / 254
- 11. Oznaczenia i symbole / 255

#### MODUŁ XIII Montaż instalacji fotowoltaicznej / 257

- 1. Systemy montażowe dla modułów skrzynkowych / 257
  - 1.1. Montaż na dachu spadzistym / 257
  - 1.2. Montaż ogniw PV na dachu płaskim lub płaszczyźnie poziomej / 259
  - 1.3. Sposób montażu modułów / 260
  - 1.4. Eliminacja prądów upływu i szczytkowego / 261
  - 1.5. Sposoby montażu fotoogniw polimerowych elastycznych na dachu płaskim / 261
  - 1.6. Montaż fotoogniw „podążających za słońcem” / 263

- 1.7. Inne rozwiązania techniczne montażu instalacji fotowoltaicznych / 264
2. Przykłady nieprawidłowego montażu modułów fotowoltaicznych / 265
3. Zdjęcia przedstawiające montaż modułów fotowoltaicznych na płaszczyźnie poziomej / 265
4. Przykład montażu modułu fotowoltaicznego na konstrukcji drewnianej w warunkach laboratoryjnych / 267
5. Zdjęcia przedstawiające autorów podręcznika z uczniami ZSE nr 1 w czasie wykonywania pomiarów parametrów energetycznych modułów fotowoltaicznych / 268
6. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim / 269
7. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym dachówką betonową / 272
8. Montaż instalacji fotowoltaicznej na konstrukcji aluminiowej na dachu płaskim pokrytym blachą falistą / 275
9. Montaż instalacji fotowoltaicznej na dachu spadzistym pokrytym blachodachówką / 276

#### MODUŁ XIV Eksploatacja instalacji fotowoltaicznych / 277

1. Wymiana uszkodzonego modułu / 277
2. Mycie instalacji fotowoltaicznej / 277
3. Sprawdzenie mocowania paneli / 277
4. Usuwanie śniegu / 278
5. Stan przewodów zasilających w instalacji prądu stałego (DC) / 278
6. Sprawdzenie stanu technicznego falownika / 279
7. Czynniki wpływające ujemnie na produkcję energii z elektrowni fotowoltaicznej / 279

#### MODUŁ XV Przykładowy projekt budowlano-wykonawczy / 281

Procedury formalno-prawne związane z budową instalacji fotowoltaicznej / 281

#### MODUŁ XVI Zanieczyszczenie środowiska i jego wpływ na klimat / 321

#### MODUŁ XVII Egzamin teoretyczny dla instalatorów instalacji fotowoltaicznych / 325

1. Przebieg testowania / 325
2. Przykładowy test wielokrotnego wyboru z jedną poprawną odpowiedzią, standaryzowany / 326
3. Przykładowa karta odpowiedzi / 333

#### MODUŁ XVIII Egzamin praktyczny dla instalatorów instalacji fotowoltaicznych / 335

1. Przebieg testowania / 335
2. Przykładowe tematy zadań praktycznych dotyczących montażu i eksploatacji instalacji fotowoltaicznych / 336
3. Przykładowa karta odpowiedzi / 339

#### Literatura / 341