

# Spis treści:

<b>Przedmowa</b>	9
<b>Wykaz ważniejszych oznaczeń, indeksów i skrótów</b>	10
<b>1. Wstęp</b>	13
<b>2. Jakość zasilania odbiorców</b>	17
2.1. Wprowadzenie . . . . .	17
2.2. Zagadnienia prawne . . . . .	18
2.3. Jakość energii elektrycznej . . . . .	20
2.3.1. Charakterystyka zaburzeń elektromagnetycznych . . . . .	20
2.3.1.1. Zmiany częstotliwości napięcia zasilającego . . . . .	21
2.3.1.2. Długotrwałe (wolne) zmiany wartości skutecznej napięcia zasilającego . . . . .	23
2.3.1.3. Wahania (szybkie zmiany) napięcia . . . . .	26
2.3.1.4. Zniekształcenie przebiegu napięcia . . . . .	27
2.3.1.5. Asymetria napięcia . . . . .	31
2.3.2. Wskaźniki jakości energii elektrycznej . . . . .	34
2.3.3. Pomiar i ocena jakości energii . . . . .	37
2.4. Niezawodność dostawy energii do odbiorców . . . . .	39
2.4.1. Zapady napięcia i krótkie przerwy . . . . .	39
2.4.2. Przerwy w zasilaniu . . . . .	43
<b>3. Generacja rozproszona w sieciach dystrybucyjnych</b>	48
3.1. Uwagi ogólne . . . . .	48
3.2. Źródła energii . . . . .	49
3.2.1. Elektrownie wiatrowe . . . . .	49
3.2.1.1. Energia wiatru . . . . .	49
3.2.1.2. Budowa turbozespołów wiatrowych . . . . .	57
3.2.1.3. Układy regulacji turbin wiatrowych . . . . .	63
3.2.2. Źródła fotowoltaiczne . . . . .	65

3.2.2.1. Energia promieniowania słonecznego . . . . .	65
3.2.2.2. Ogniwa fotowoltaiczne . . . . .	67
3.2.2.3. Budowa systemów fotowoltaicznych . . . . .	71
3.2.3. Małe elektrownie wodne. . . . .	76
3.2.3.1. Energia wody . . . . .	76
3.2.3.2. Budowa małych elektrowni wodnych . . . . .	77
3.2.4. Elektrownie biogazowe . . . . .	80
3.2.4.1. Właściwości energetyczne biogazu . . . . .	80
3.2.4.2. Budowa elektrowni biogazowych . . . . .	82
3.3. Stan aktualny i perspektywy rozwoju źródeł rozproszonych. . . . .	86
3.4. Zagadnienia prawne OZE . . . . .	96

#### **4. Problemy integracji rozproszonych źródeł energii z siecią elektroenergetyczną** 99

---

4.1. Charakterystyka sieci dystrybucyjnych. . . . .	99
4.2. Przyłączenia źródeł do sieci elektroenergetycznej . . . . .	101
4.2.1. Wymagania przyłączeniowe . . . . .	101
4.2.2. Miejsce i sposób przyłączenia . . . . .	103
4.2.3. Sterowanie przekształtnikami przyłączeniowymi źródeł . . . . .	106
4.3. Wzajemne oddziaływanie źródeł i sieci zasilającej . . . . .	109
4.3.1. Wpływ źródeł na pracę sieci . . . . .	109
4.3.2. Oddziaływanie sieci zasilającej na źródła . . . . .	111
4.4. Zdolność przyłączeniowa sieci . . . . .	113
4.5. Wpływ przyłączenia źródeł na obciążenie sieci elektroenergetycznej . . . . .	116
4.5.1. Obciążalność sieci . . . . .	116
4.5.2. Straty mocy i energii . . . . .	121
4.5.3. Zwiększenie zdolności przyłączeniowej . . . . .	124

#### **5. Jakość napięcia zasilającego w sieciach z generacją rozproszoną** 126

---

5.1. Poziomy napięć w węzłach sieci . . . . .	126
5.1.1. Zdolność przyłączeniowa sieci według kryterium dopuszczalnych odchyłeń napięcia . . . . .	126
5.1.2. Regulacja napięcia . . . . .	131
5.1.2.1. Regulacja bezpośrednia . . . . .	132
5.1.2.2. Regulacja pośrednia . . . . .	133
5.1.2.3. Wpływ źródeł rozproszonych na pracę urządzeń regulacyjnych . . . . .	136
5.2. Wahania napięcia . . . . .	138
5.2.1. Ocena zaburzenia na etapie projektowania przyłączenia źródła . . . . .	139
5.2.2. Ocena zaburzenia na podstawie pomiarów . . . . .	143
5.3. Harmoniczne napięć i prądów . . . . .	146
5.3.1. Ocena stopnia zaburzenia na etapie projektowania przyłączenia . . . . .	148

5.3.2. Ocena zaburzenia na podstawie pomiaru . . . . .	150
5.4. Asymetria napięcia . . . . .	153
5.5. Zapady napięcia i przerwy w zasilaniu. . . . .	157

## **6. Tradycyjne środki stosowane do poprawy jakości zasilania** 161

---

6.1. Wprowadzenie . . . . .	161
6.2. Statyczne kompensatory równoległe . . . . .	163
6.2.1. Kompensatory typu SVC . . . . .	163
6.2.1.1. Układ FC/TCR . . . . .	164
6.2.1.2. Układ TCR/TSC . . . . .	166
6.2.2. Kompensatory typu STATCOM . . . . .	167
6.2.2.1. Zasada działania . . . . .	167
6.2.2.2. Układy wielopulsowe i wielopoziomowe ze sterowaniem techniką modulacji prostokątnej. . . . .	170
6.2.2.3. Kompensatory DSTATCOM . . . . .	171
6.3. Kompensacja odbioru w sieci SN. . . . .	173
6.3.1. Sterowanie kompensatorów SVC. . . . .	173
6.3.2. Sterowanie kompensatorów STATCOM. . . . .	175
6.4. Kompensacja zaburzeń wprowadzanych przez odbiory i źródła w sieci nN . . . . .	177
6.5. Kompensacja zaburzeń napięcia zasilającego za pomocą kompensatora DSTATCOM . . . . .	185
6.6. Statyczne kompensatory szeregowo . . . . .	188
6.6.1. Zasada działania . . . . .	188
6.6.2. Ograniczanie zapadów napięcia . . . . .	190
6.6.3. Poprawa jakości energii elektrycznej . . . . .	192
6.7. Podsumowanie . . . . .	194

## **7. Wykorzystanie źródeł i zasobników energii do poprawy jakości zasilania** 195

---

7.1. Technologie zasobnikowe . . . . .	195
7.1.1. Uwagi ogólne . . . . .	195
7.1.2. Baterie elektrochemiczne (akumulatory) . . . . .	196
7.1.3. Zasobniki kinetyczne (koła wirujące) . . . . .	199
7.1.4. Superkondensatory. . . . .	201
7.1.5. Porównanie zasobników . . . . .	202
7.2. Zastosowanie zasobników w sieciach z generacją rozproszoną. . . . .	204
7.3. Usługi pomocnicze generacji rozproszonej w zakresie jakości energii . . . . .	207
7.3.1. Uwagi ogólne . . . . .	207
7.3.2. Sterowanie inwertorów źródeł i zasobników energii . . . . .	208
7.3.2.1. Sterowanie prądowe . . . . .	208
7.3.2.2. Sterowanie napięciowe. . . . .	210
7.4. Inteligentne mikrosystemy elektroenergetyczne . . . . .	215

<b>8. Zakończenie</b>	217
-----------------------	-----

---

<b>Literatura</b>	221
-------------------	-----

---

Publikacje . . . . .	221
Projekty badawcze . . . . .	234
Normy i przepisy ogólne . . . . .	235
Strony internetowe . . . . .	237