

# Spis treści

<b>Przedmowa</b> .....	<b>XI</b>
<b>Oznaczenia</b> .....	<b>XV</b>
<b>1. Wiatr jako źródło energii</b> .....	<b>1</b>
1.1. Wiatr i jego zmienność .....	1
1.2. Zasoby energetyczne wiatru .....	5
1.3. Wykorzystanie energii wiatru .....	11
1.4. Analiza ekonomiczna opłacalności inwestycji w farmę wiatrową .....	20
<b>2. Elektrownie wiatrowe</b> .....	<b>31</b>
2.1. Elektrownie wiatrowe – konstrukcja .....	31
2.2. Turbiny wiatrowe .....	40
2.2.1. Moc strumienia wiatru .....	40
2.2.2. Moc mechaniczna uzyskiwana z wiatru .....	41
2.2.3. Regulacja mocy przez sterowanie kątem nachylenia łopat .....	47
2.2.4. Regulacja mocy przez wykorzystanie efektu przeciągania .....	48
2.2.5. Dynamika turbiny wiatrowej .....	49
2.2.6. Układ przeniesienia napędu .....	52
2.3. Układy sterowania elektrowni wiatrowych .....	56
2.3.1. Ogólna struktura układu sterowania elektrowni wiatrowej .....	56
2.3.2. Sterowanie nadrzędne elektrowni wiatrowej .....	68
2.3.3. Sterowanie turbiną elektrowni wiatrowej .....	70
2.3.4. Sterowanie generatorem elektrowni wiatrowej .....	72
2.3.4.1. Generator asynchroniczny ze sterowaną rezystancją w obwodzie wirnika .....	72
2.3.4.2. Generator asynchroniczny z kaskadą nadsynchroniczną .....	75
2.3.4.3. Generator asynchroniczny dwustronnie zasilany .....	77
2.3.4.4. Generator synchroniczny .....	81
2.4. Automatyka zabezpieczeniowa elektrowni wiatrowych .....	84

<b>3. Praca elektrowni wiatrowych w systemie elektroenergetycznym .....</b>	<b>90</b>
3.1. Wstęp .....	90
3.2. Elektrownia wiatrowa w systemie elektroenergetycznym .....	92
3.3. Lokalizacja elektrowni wiatrowej w systemie elektroenergetycznym .....	101
3.4. Wahania napięcia .....	103
3.5. Migotanie światła .....	116
3.6. Harmoniczne prądów i napięć .....	123
3.7. Straty mocy .....	124
<b>4. Farmy wiatrowe .....</b>	<b>130</b>
4.1. Farmy wiatrowe – struktura .....	130
4.2. Układy sterowania farm wiatrowych .....	136
4.3. Automatyka zabezpieczeniowa farm wiatrowych .....	140
<b>5. Praca farm wiatrowych w systemie elektroenergetycznym .....</b>	<b>158</b>
5.1. Zmiany strukturalne systemów elektroenergetycznych .....	158
5.2. Lokalizacja farmy wiatrowej w systemie elektroenergetycznym .....	162
5.3. Farma wiatrowa w systemie elektroenergetycznym .....	165
5.4. Przesłanianie elektrowni wiatrowych w farmie .....	171
5.5. Wpływ farmy wiatrowej na jakość energii .....	174
5.6. Stabilność systemu elektroenergetycznego z farmami wiatrowymi .....	181
5.7. Minimalizacja wahań mocy czynnej na wyjściu farmy wiatrowej .....	188
<b>6. Regulacja napięcia i mocy biernej w systemie elektroenergetycznym .....</b>	<b>194</b>
6.1. System elektroenergetyczny jako obiekt sterowania .....	194
6.2. Regulacja napięcia .....	196
6.2.1. Wprowadzenie .....	196
6.2.2. Regulacja generatorami synchronicznymi .....	198
6.2.3. Regulacja transformatorami .....	205
6.3. Nadrzędna regulacja napięcia i mocy biernej .....	208
6.3.1. Wprowadzenie .....	208
6.3.2. Nadrzędna regulacja węzła elektrownianego .....	210
6.3.3. Nadrzędna regulacja węzła transformatorowego .....	215
6.4. Koncepcja wykorzystania farm wiatrowych w procesie regulacji napięcia i mocy biernej .....	218
6.5. Farmy wiatrowe w procesie regulacji napięć i mocy biernej .....	221
6.5.1. Zjawiska napięciowe w farmie wiatrowej .....	221
6.5.2. Obszar dopuszczalnych stanów pracy farmy wiatrowej .....	229
6.5.3. Stabilność napięciowa w systemie z farmą wiatrową .....	237
6.5.4. Algorytm sterowania farmą wiatrową .....	251
6.6. Farmy wiatrowe w układach regulacji nadrzędnej .....	256
6.6.1. Wprowadzenie .....	256
6.6.2. Farmy wiatrowe w układzie nadrzędnej regulacji węzłów elektrownianych .....	257
6.6.3. Farmy wiatrowe w układzie nadrzędnej regulacji węzłów sieciowych .....	260
<b>7. Regulacja częstotliwości i mocy czynnej w systemie elektroenergetycznym .....</b>	<b>262</b>
7.1. Wprowadzenie .....	262
7.2. Wahania mocy czynnej i częstotliwości w systemie elektroenergetycznym .....	263

---

7.3. Regulacja pierwotna.....	267
7.3.1. Charakterystyka częstotliwościowa systemu elektroenergetycznego.....	267
7.3.2. Praca równoległa systemów elektroenergetycznych.....	274
7.3.3. Wahania częstotliwości w systemie z elektrowniami wiatrowymi.....	276
7.3.4. Realizacja techniczna procesu regulacji pierwotnej.....	278
7.4. Regulacja wtórna.....	285
7.4.1. Realizacja procesu regulacji wtórnej.....	285
7.4.2. Regulator centralny częstotliwości i mocy wymiany.....	286
7.4.3. Regulacja częstotliwości w połączonych systemach elektroenergetycznych..	289
7.5. Wymagania UCTE w zakresie regulacji częstotliwości.....	292
7.6. Koncepcja wykorzystania farm wiatrowych w procesie regulacji częstotliwości i mocy czynnej.....	296
7.7. Farmy wiatrowe w procesie regulacji częstotliwości i mocy czynnej.....	301
7.7.1. Algorytm sterowania farmą wiatrową.....	301
7.7.2. Udział farm wiatrowych w ramach regulacji pierwotnej i wtórnej.....	305
<b>8. Obrona i odbudowa systemu elektroenergetycznego.....</b>	<b>314</b>
8.1. Udział farm wiatrowych w awariach systemowych.....	314
8.2. Koncepcja wykorzystania farm wiatrowych w obronie systemu elektroenergetycznego.....	319
8.3. Farmy wiatrowe w obronie systemu elektroenergetycznego.....	322
<b>9. Wymagania stawiane farmom wiatrowym.....</b>	<b>327</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>340</b>
<b>Skorowidz.....</b>	<b>345</b>