

Spis treści

Przedmowa	XI
Oznaczenia	XV
1. Wiatr jako źródło energii	1
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
2. Elektrownie wiatrowe	31
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

3. Praca elektrowni wiatrowych w systemie elektroenergetycznym	90
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
4. Farmy wiatrowe	130
4.1. Farmy wiatrowe – struktura	130
4.2. Układy sterowania farm wiatrowych	136
4.3. Automatyka zabezpieczeniowa farm wiatrowych	140
5. Praca farm wiatrowych w systemie elektroenergetycznym	158
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
6. Regulacja napięcia i mocy biernej w systemie elektroenergetycznym	194
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
7. Regulacja częstotliwości i mocy czynnej w systemie elektroenergetycznym	262
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
8. Obrona i odbudowa systemu elektroenergetycznego.....	314
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
9. Wymagania stawiane farmom wiatrowym	327
Bibliografia.....	340
Skorowidz	345

- starzenie się jednostek wytwórczych, skutkującego zmniejszaniem się mocy instalacji tych jednostek lub ich zamykaniem;
- zamykanie części elektrowni przemysłowych ze względów ekonomicznych lub technologicznych;
- zamykanie jednostek wytwórczych w elektrociepłowniach, co wynika ze zmniejszania się zapotrzebowania na ciepło dzięki wdrożeniu nowoczesnych technologii term izolacyjnych zmniejszających straty ciepła w budynkach, rurociągach itp. oraz technologii energooszczędnych w procesach produkcyjnych;
- wprowadzenia limitów emisji zanieczyszczeń dla elektrowni, co będzie w kolejnych latach prowadziło do konieczności ograniczenia ilości produkowanej energii do poziomu wynikającego z przyznanych elektrowniom limitów emisji zanieczyszczeń.

Ocenia się, że w krajowym systemie elektroenergetycznym w najbliższych latach konieczne jest instalowanie rocznie nowych źródeł o mocy równej około 1000 MW. Jest to dużo, a możliwości spełnienia tego warunku nie wydają się zbyt optymistyczne.

Wzrost mocy zainstalowanej w systemie elektroenergetycznym realizowany może być (i jest) poprzez następujące działania: