

Spis treści

1. Wstęp	6
1.1. Historia rozwoju energetyki wiatrowej	6
1.2. Podział elektrowni wiatrowych ze względu na typ generatora.....	8
1.3 Stan badań dynamiki elektrowni wiatrowej z maszyną dwustronnie zasilaną	9
1.4 Cel, zakres i teza pracy	9
2. Maszyna dwustronnie zasilana, własności w różnych rodzajach sterowania	11
2.1. Bilans mocy maszyny dwustronnie zasilanej	13
2.1.1. Praca silnikowa maszyny dwustronnie zasilanej	13
2.1.2. Praca generatorowa maszyny dwustronnie zasilanej	15
2.2. Metody sterowania MDZ w różnych wariantach zasilania wirnika	16
2.2.1. MDZ z wirnikiem zasilanym z niezależnego źródła napięcia.	17
2.2.2. MDZ z wirnikiem zasilanym z niezależnego źródła prądu.....	20
2.2.3. MDZ z wirnikiem zasilanym ze źródła napięcia o częstotliwości poślizgowej.....	22
2.2.4. MDZ z wirnikiem zasilanym ze źródła prądu o częstotliwości poślizgowej	25
3. Modelowanie elektrowni wiatrowej z maszyną dwustronnie zasilaną	28
3.1. Model turbiny wiatrowej	28
3.2. Sterowanie mocą elektrowni wiatrowej.....	32
3.3. Model układu mechanicznego elektrowni wiatrowej	34
3.4. Model generatora elektrycznego elektrowni wiatrowej.....	38
3.4.1 Model maszyny indukcyjnej pierścieniowej.....	38
3.4.2. Model przekształtnika energoelektronicznego	43
3.4.3. Model układu sterowania wektorowego mocą generatora.	44
3.4.4. Działanie MDZ z układem sterowania wektorowego.	51
3.4.5. Badanie stabilności MDZ z układem sterowania wektorowego mocą.	54
3.4.6. Model nadrzędnego układu sterowania mocą elektrowni.	58
3.5. Badanie symulacyjne poprawności działania modelu elektrowni wiatrowej z maszyną dwustronnie zasilaną	59

4. Współpraca elektrowni wiatrowej z mdz z systemem elektroenergetycznym	62
4.1. Sposób przyłączenia elektrowni do sieci energetycznej	62
4.2. Typowe zaburzenia w sieciach elektroenergetycznych w punktach przyłączenia elektrowni wiatrowych	63
4.3. Badania stanów dynamicznych elektrowni wiatrowej z MDZ z układem sterowania generatora stosowanym w elektrowniach wiatrowych	66
4.3.1. Parametry sieci łączącej poszczególne wiatraki z głównym punktem zasilającym (GPZ) ...	66
4.3.2. Symetryczny zapad napięcia $0,7U_N$ o czasie trwania 180[ms]	69
4.3.3. Niesymetryczny zapad napięcia $0,7U_N$ o czasie trwania 180[ms]	71
4.3.4. Praca elektrowni przy długotrwałej niesymetrii zasilania	73
4.3.5. Praca elektrowni przy zapadzie napięcia o maksymalnej dopuszczalnej głębokości i czasie trwania	76
4.3.6. Praca elektrowni przy chwilowym zaniku napięcia	77
5. Modyfikacja układu sterowania	79
5.1. Realizacja zmodyfikowanego układu sterowania mocą maszyny dwustronnie zasilanej	79
5.1.1. Działanie MDZ ze zmodyfikowanym układem sterowania	81
5.1.2. Badanie stabilności MDZ ze zmodyfikowanym układem sterowania mocą	83
5.1.3. Model nadrzędnego układu sterowania mocą elektrowni	86
5.2. Badanie symulacyjne poprawności działania modelu elektrowni wiatrowej z maszyną dwustronnie zasilaną	87
5.3. Badania stanów dynamicznych elektrowni wiatrowej z MDZ ze zmodyfikowanym układem sterowania generatora elektrycznego	88
5.3.1. Symetryczny zapad napięcia $0,7U_N$ o czasie trwania 180ms	89
5.3.2. Niesymetryczny zapad napięcia $0,7U_N$ o czasie trwania 180ms	90
5.3.3. Praca elektrowni przy niesymetrii zasilania	91
5.3.4. Praca elektrowni przy zapadzie napięcia o maksymalnej dopuszczalnej głębokości i czasie trwania	93
5.3.5. Praca elektrowni przy chwilowym zaniku napięcia	94
6. Badania laboratoryjne	98
6.1. Budowa stanowiska laboratoryjnego	98
6.1.1. Budowa układu mechanicznego modelu laboratoryjnego	99
6.1.2. Budowa przekształtnika wirnikowego MDZ	100
6.1.3. Budowa układu sterowania MDZ	100
6.1.4. Badanie poprawności działania modelu laboratoryjnego MDZ	103
6.2. Badania oddziaływania zaburzeń napięcia na pracę MDZ	106
6.2.1. Praca MDZ podczas symetrycznych zapadów napięcia	106
6.2.2. Praca MDZ podczas niesymetrii napięcia	108
6.2.3. Praca MDZ podczas chwilowej przerwy napięcia stojana	109

6.3. Badania oddziaływania zaburzeń napięcia na pracę MDZ ze zmodyfikowanym układem sterowania	110
6.3.1. Praca MDZ ze zmodyfikowanym układem sterowania podczas symetrycznych zapadów napięcia.....	111
6.3.2. Praca MDZ ze zmodyfikowanym układem sterowania podczas niesymetrii napięcia	112
6.2.3. Praca MDZ ze zmodyfikowanym układem sterowania podczas chwilowej przerwy napięcia stojana.....	113
6.4 Porównanie wyników badań symulacyjnych i laboratoryjnych	114
7. Analiza wyników i wnioski końcowe	116
Dodatek 1. Budowa przekształtnika wirnikowego MDZ	118
Literatura	121