

PORTFOLIO:

Opracowanie koncepcji wdrożenia energooszczędnego układu obciążenia maszyny indukcyjnej dla przedsiębiorstwa diagnostyczno produkcyjnego.

(Odpowiedź na zapotrzebowanie zgłoszone przez przedsiębiorstwo Emag)

Autor: Tomasz Lerch, Tomasz Drabek

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl

Przedmiot opracowania

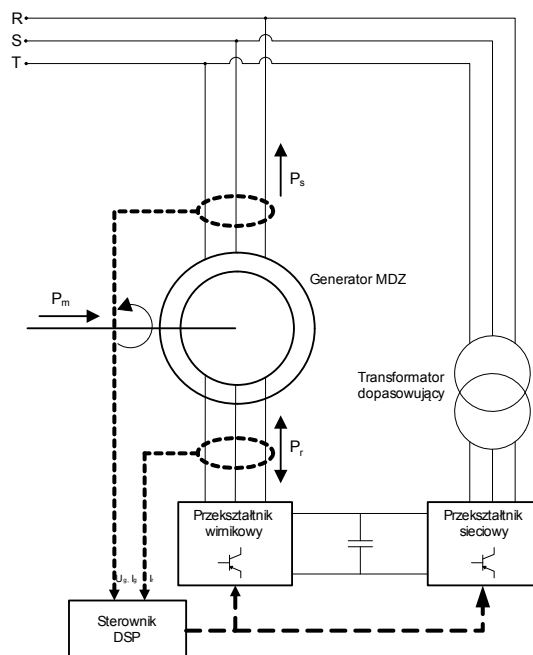
Celem podjętych działań było opracowanie systemu obciążania dużych silników indukcyjnych, o mocach znamionowych do 2MW, który umożliwiłby zwrot mocy obciążenia do sieci zasilającej silnik badany, celem ograniczenia wielkości mocy elektrycznej pobieranej z systemu elektroenergetycznego podczas prób obciążeniowych silnika. System przeznaczony jest do wykorzystania na stanowiskach badań silników elektrycznych, u producentów takich silników i w instytucjach świadczących takie usługi.

Geneza proponowanego rozwiązania technicznego

Zaproponowane rozwiązanie techniczne opiera się o wykorzystanie do obciążania maszyny badanej tzw. Maszyny Dwustronnie Zasilanej (MDZ), pracującej generatorowo. MDZ jest to maszyna indukcyjna pierścieniowa o wirniku zasilanym napięciem trójfazowym o regulowanej częstotliwości, tak sterowanej, aby była równa naturalnej częstotliwości napięć wirnika:

$$f_r = s * f_s$$

Do zasilania wirnika zaproponowano przekształtnik energoelektroniczny zbudowany z falownika wirnikowego i falownika sieciowego, połączonych obwodem prądu stałego – rysunek 1



Rys. 1 Schemat układu maszyny dwustronnie zasilanej

Zadaniem pierwszego falownika jest sterowanie prądem wirnika maszyny pierścieniowej, zaś drugi steruje prądem oddawanym lub pobieranym z sieci. Główną zaletą takiej wersji MDZ jest możliwość dwukierunkowego przepływu energii poślizgu przez przekształtnik, co pozwala na pracę zarówno silnikową, jak i generatorową, z prędkościami zarówno pod-, jak i nadsynchronicznymi. Dodatkowo, stosując zaawansowane algorytmy sterowania wektorowego, można zrealizować niezależne sterowanie mocą czynną i bierną wytwarzaną przez MDZ pracującą generatorowo, lub momentem elektromagnetycznym i mocą bierną przy jej pracy silnikowej. Obecnie w praktycznych zastosowaniach wykorzystuje się głównie MDZ z przekształtnikiem dwukierunkowym, zaś najczęściej układ ten stosowany jest jako generator elektryczny w elektrowniach wiatrowych.

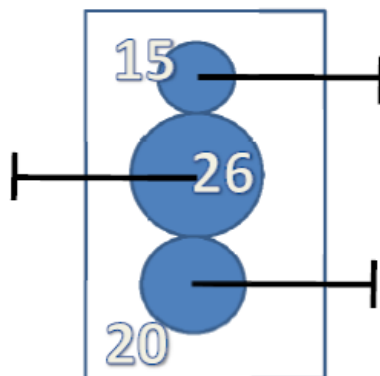
W zastosowaniu MDZ do obciążania silników badanych na stacjach prób przesądziły następujące czynniki:

1. Zwrot mocy obciążenia badanego silnika do sieci, co praktycznie oznacza, że silnik pobiera z sieci moc czynną równą sumie mocy dostarczonej przez MDZ i mocy pobranej z systemu elektroenergetycznego na pokrycie strat mocy w silniku i w MDZ. W ten sposób z systemu elektroenergetycznego pobierana jest tylko moc potrzebna na pokrycie strat mocy całego zespołu elektromaszynowego, która typowo nie przekracza 10% mocy obciążenia.
2. Wytwarzanie mocy biernej, która następnie pobierana jest przez badany silnik indukcyjny. W ten sposób z systemu elektroenergetycznego nie jest pobierana moc bierna – współczynnik mocy całego zespołu wynosi $\cos(\varphi) = 1$.
3. Możliwość płynnej regulacji mocy obciążenia badanego silnika i możliwość chwilowego przeciążenia MDZ, do poziomu mocy wynikającego z wartości momentu krytycznego silnika.

Układ obciążania silników indukcyjnych

Z uwagi na konieczność zapewnienia możliwości badania silników indukcyjnych o różnych prędkościach synchronicznych (750, 1000, 1500, 3000obr/min) zaproponowano 2 alternatywne układy obciążania, oba z MDZ o prędkości synchronicznej 1500obr/min ($2p = 4$) i z 2 różnymi przekładniami mechanicznymi i 2 różnymi przekształtnikami energoelektronicznymi, zasilającymi wirnik MDZ.

W układzie 1 użyto przekładni mechanicznej o 3 możliwych przełożeniach i 3 różnych prędkościach bazowych generatora MDZ, zarówno pod-, jak i nadsynchronicznych – rysunek 2, tabela 1.



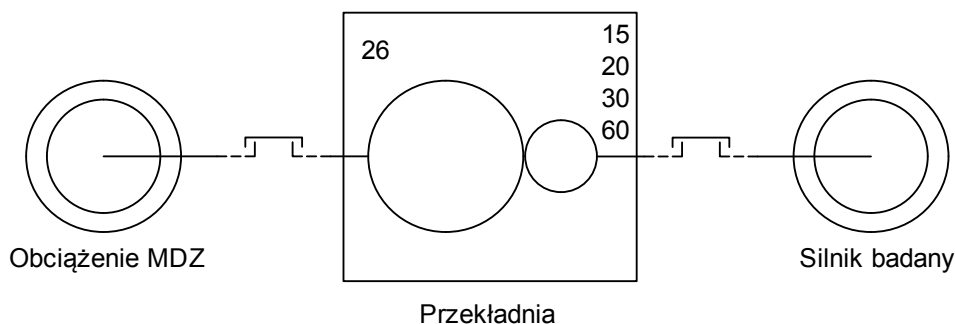
Rys. 2 Pierwszy wariant zastosowanej przekładni

	test motor	gear box	load machine
1	2p=8 750 rpm 2 MW 25,5 kNm	26:15 open end: 975 rpm	1300 rpm 2 MW 14,7 kNm I1= 220A, I2=880A, U2=260V PF= 0,98 cap., eta=96,2%
2	2p=6 1000 rpm 2 MW 19,1 kNm	26:20 open end: 1733 rpm	1300 rpm 2 MW 14,7 kNm I1= 220A, I2=880A, U2=260V PF= 0,98 cap., eta=96,2%
3	2p=4 1500 rpm 2 MW 12,7 kNm	26:20 open end: 2600 rpm	1950 rpm 2 MW 9,8 kNm I1= 150A, I2=630A, U2=530V PF= 0,98 cap., eta=96,3%
4	2p=2 3000 rpm 2 MW 6,4 kNm	15:26 open end: 2250 rpm	1730 rpm 2 MW 11,0 kNm I1= 167A, I2=691A, U2=269V PF= 0,98 cap., eta=96,7%

Tabela 1. Parametry układu obciążenia w wariantcie pierwszym

Ponieważ uzyskiwane prędkości bazowe MDZ są zarówno podsynchroniczne (1300obr/min), jak i nadsynchroniczne (1730obr/min, 1950obr/min), więc przekształtnik energoelektroniczny musi być przekształtnikiem dwukierunkowym, złożonym z 2 falowników tranzystorowych.

W układzie 2 użyto przekładni mechanicznej o 4 możliwych przełożeniach i 1 prędkości bazowej generatora MDZ – rysunek 3, tabela 2.

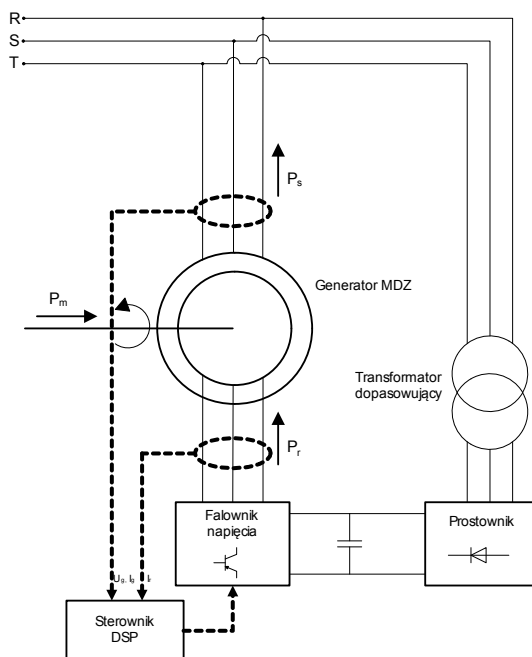


Rys. 3 Drugi wariant zastosowanej przekładni

	test motor	gear box	load machine
1	2p=8 750 rpm 2 MW 25,5 kNm	26:15	1300 rpm 2 MW 14,7 kNm I1= 220A, I2=880A, U2=260V PF= 0,98 cap., eta=96,2%
2	2p=6 1000 rpm 2 MW 19,1 kNm	26:20	1300 rpm 2 MW 14,7 kNm I1= 220A, I2=880A, U2=260V PF= 0,98 cap., eta=96,2%
3	2p=4 1500 rpm 2 MW 12,7 kNm	26:30	1300 rpm 2 MW 14,7 kNm I1= 220A, I2=880A, U2=260V PF= 0,98 cap., eta=96,2%
4	2p=2 3000 rpm 2 MW 6,4 kNm	26:60	1300 rpm 2 MW 14,7 kNm I1= 220A, I2=880A, U2=260V PF= 0,98 cap., eta=96,2%

Tabela 2. Parametry układu obciążenia w wariancie drugim

Ponieważ uzyskana prędkość bazowa MDZ jest prędkością podsynchroniczną (1300obr/min), więc przekształtnik energoelektroniczny może być przekształtnikiem jednokierunkowym, złożonym z falownika tranzystorowego i diodowego mostka prostownikowego. Schemat układu w takiej wersji przedstawia rysunek4.



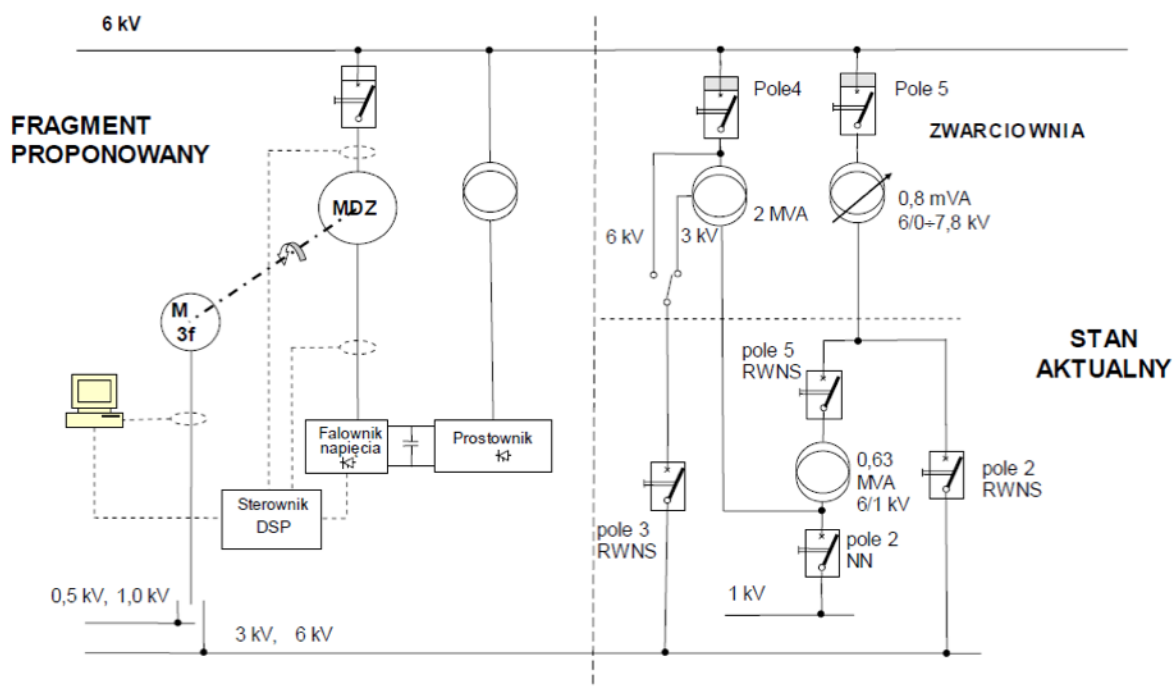
Rys. 1 Schemat układu maszyny dwustronnie zasilanej – wersja uproszczona

Obniża to jego koszt i upraszcza sterowanie zarówno jego, jak i całej MDZ. Dlatego rozwiązanie to można uznać za preferowane.

W obu układach przewidziano użycie jako MDZ generatora indukcyjnego o danych znamionowych:

power output	: 2000	[kW]	transformation ratio	: 3.669	
stator voltage	: 6000	[V]	locked rotor voltage	: 1581	[V]
stator current	: 221	[A]	rotor current	: 775	[A]
p f	: 0.90		stator connection	: star	
frequency	: 50.00	[1/s]	rotor connection	: star	
rules	: EN60034-1		no. of poles	: 4	
thermal class/rise	: 'F' / 'B'		speed	: 1488	[rpm]
duty type	: S1		mechanical torque	: 12833	[Nm]
altitude of site	: 1000	[m]	ref. temperature	: 95	[deg C]
			ref. impedance	: 15.639	[Ω]

Schemat blokowy całego układu obciążeniowego z MDZ przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5 Schemat całego układu stacji prób z zastosowaniem MDZ