

Piotr BOGUSŁAWSKI
Eugeniusz ŁOWIEC

MODEL UKŁADU ZASILANIA POMPOWNI Z GENERATOREM WIATROWYM

STRESZCZENIE *Scharakteryzowano pompownię melioracyjną jako odbiornik energii elektrycznej oraz przedstawiono model energo-elektronicznego układu zasilania agregatu pompowego z przekształtnikami i wspomagającym generatorem wiatrowym w zautomatyzowanej pompowni. Przedstawiono układ przekształtnika optymalizującego pozyskiwanie mocy z sieci i źródła odnawialnego, symulacje systemu wiatrowego oraz zbudowany model laboratoryjny.*

Słowa kluczowe: *silnik wiatrowy, generator synchroniczny, przekształtnik AC/DC, pompownia melioracyjna, zużycie energii.*

1. CHARAKTERYSTYKA POMPOWNI MELIORACYJNEJ

Energię wiatru do odwadniania obszaru Żuław Wiślanych wykorzystywano już w XIII wieku [1]. Obecnie do regulacji poziomów wód na terenach depresyjnych stosowane są zautomatyzowane przepompownie zasilane energią elektryczną. Energia ta dla pompowni zlokalizowanych na terenie Żuław stanowi istotny składnik kosztów utrzymania systemów melioracyjnych. Jedną z możliwości ich redukcji jest zastosowanie małej elektrowni wiatrowej jako dodatkowego, lokalnego źródła energii elektrycznej.

mgr inż. Piotr BOGUSŁAWSKI
e-mail: piotr.boguslawski@iel.gda.pl

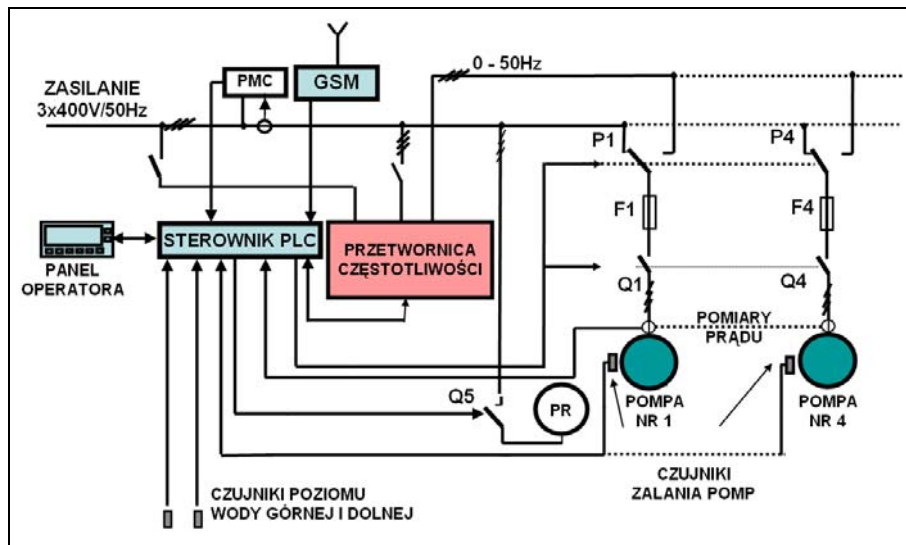
dr inż. Eugeniusz ŁOWIEC
e-mail: eugeniusz.lowiec@iel.gda.pl

Institut Elektrotechniki, Oddział w Gdańsku

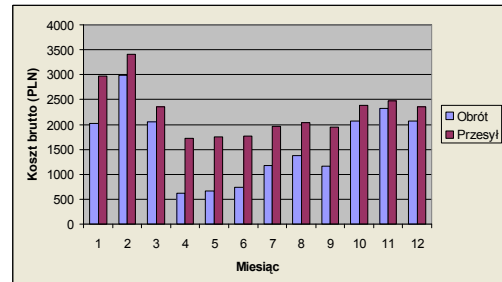
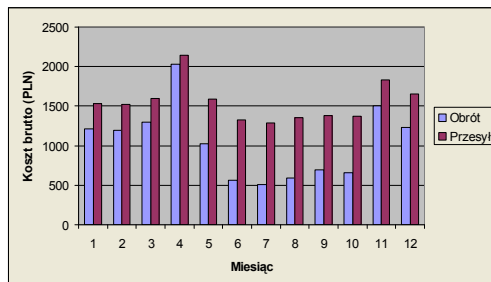
PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 249, 2011

Do realizacji podstawowego zadania – odprowadzania nadmiaru wód z odwadnianego obszaru (polderu) – wykorzystuje się regulowane napędy pomp pozwalające na uzależnienie wydatku pompy od chwilowej hydraulicznej wysokości podnoszenia, sterowniki logiczne i układy telemetryczne [2]. Schemat blokowy takiej pompowni przedstawiono na rysunku 1a.

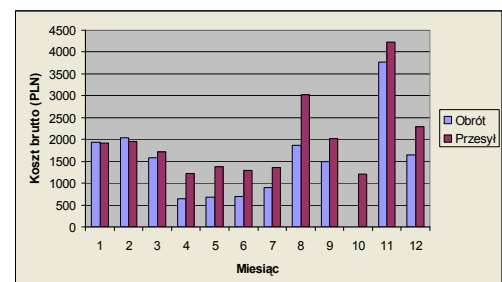
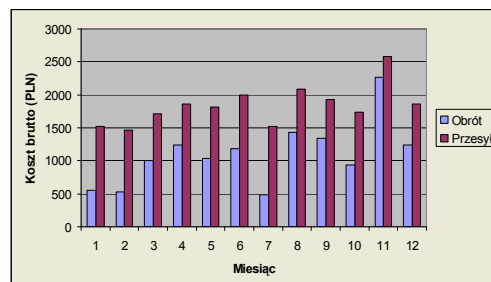
a)



b)



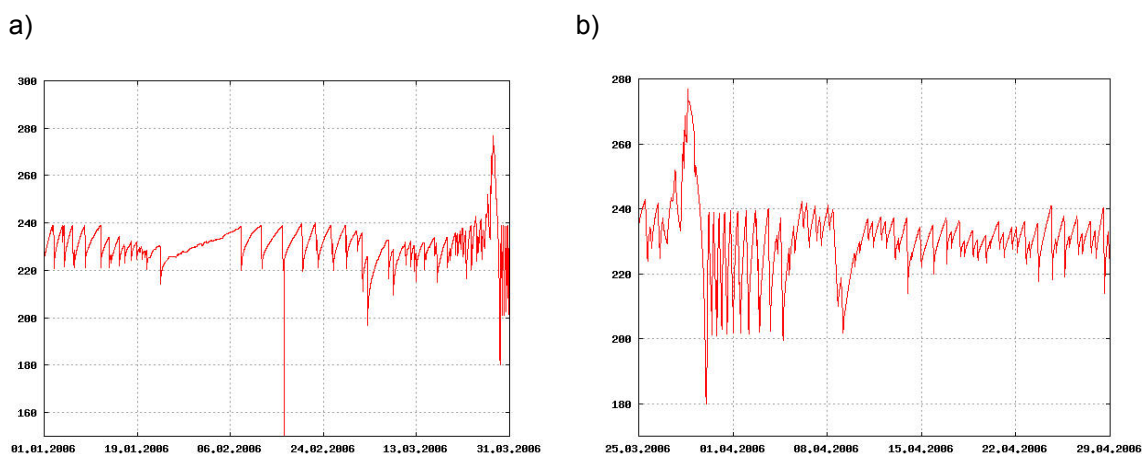
c)



Rys. 1. Charakterystyka pompowni melioracyjnej oraz struktura kosztów zasilania (2006-2007):
a) schemat blokowy stacji (stacja Juradowo), b) koszty energii elektrycznej – stacja Juradowo,
c) koszty energii elektrycznej – stacja Nowe Dolno

Dla pompowni średnich wielkości widoczna jest silna zależność kosztu zużytej energii elektrycznej (obrót) i kosztu przesyłu od pory roku (rys. 1b, c). Charakterystyczną cechą tego rozkładu jest występowanie zwiększonego zużycia w okresie wiosennym i jesiennym. Zwykle w tych okresach następuje też zwiększenie siły wiatru. Ta korelacja powoduje, że istnieje możliwość dobrego wykorzystania energii wiatru do zasilania pomp, jednakże moce średnie za okres miesiąca różnią się znacznie w zależności od pory roku. Porównując wartości tych mocy z mocą nominalną zainstalowanych napędów, np. dla stacji Jurandowo 4 x 37 kW, można zauważyć znaczne przewymiarowanie wynikające z przyjętego założenia o katastrofalnych opadach przy wymaganych wysokościach podnoszenia. W takich sytuacjach odwodnienia wykonywane są za pomocą większej liczby pomp zasilanych elektrycznie lub nawet z użyciem przewoźnych agregatów pompowych o napędzie spalinowym [3].

W praktyce lokalne możliwości retencyjne systemu hydrotechnicznego pozwalają na stosowanie przerw w pracy pomp i odpompowywanie wody w okresach „taniej energii”. System zasilania pompowni melioracyjnej cechuje znaczna dynamika średnich poborów mocy, zarówno w skali roku, jak i w ciągu doby. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi zmian poziomów wody w kanale wlotowym stacji wywołane zmiennym napływem wody z polderu zarejestrowane w okresach odpowiednio 3- i 1-miesięcznym i przy automatycznym trybie pracy stacji. Wysoka stromość przebiegów odpompowania wynika pośrednio ze stosowania energetycznych stref taryfowych, które ograniczają czas dysponowany na odprowadzenie nadmiaru wody.



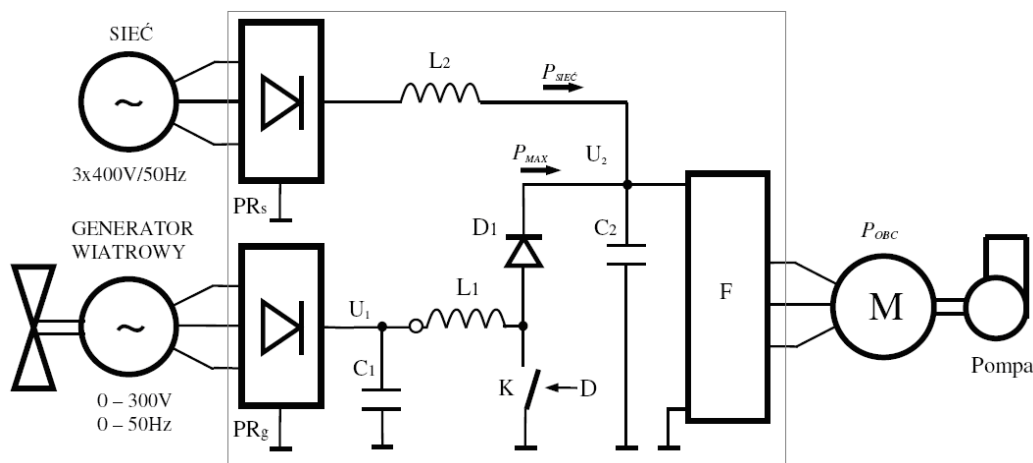
Rys. 2. Zmienność poziomów wody w zbiorniku wlotowym stacji pomp Jurandowo (rzędna w cm; dane z bazy pomiarów IEL/OG, 2006 r.): a) w skali kwartału, b) w skali miesiąca

Oprócz głównego czynnika wpływającego na zużycie energii, w typowej przepompowni znajdują się także instalacje oświetleniowe i grzewcze. W grzew-

czych urządzeniach większej mocy stosuje się rozwiązania typu akumulacyjnego, które mogą mieć znaczący wpływ na koszty energii zasilania stacji pomp. Zastosowanie zasilania z elektrowni wiatrowej w niewielkim stopniu poprawi efektywność odwadniania w przypadku ekstremalnych opadów, ale może przyczynić się do obniżenia kosztów zużycia energii w normalnych warunkach. Można przyjąć, że moc siłowni wiatrowej powinna być zbliżona do wartości średniej mocy zapotrzebowania (stacji pomp) obliczonej dla typowych warunków eksploatacyjnych. W całkowitych kosztach kupowanej energii istotny udział ma usługa dystrybucyjna stała – tzw. moc zamówiona. Koszt tej mocy może nawet przewyższać koszt pobranej energii czynnej a jego redukcja jest możliwa za pomocą magazynów energii. Obecnie rozwiązania magazynów energii elektrycznej, jak i alternatywne źródła zasilania (ogniwa fotowoltaiczne, paliwowe lub systemy oparte o spalanie biomasy) są zbyt kosztowne i praktycznie trudne w eksploatacji. W opracowaniu [4] przedstawiono wyniki analizy ekonomicznej, z których wynika, że jeżeli po zastosowaniu w stacji pomp generatora wiatrowego o mocy znamionowej 6 kW oszczędność na jednostkowym koszcie energii przekroczy wartość 0.61 PLN/kWh, to inwestycja może być opłacalna.

1.1. Układ zasilania pompy z generatorem wiatrowym

W proponowanym rozwiązaniu zakłada się, że aktualne zapotrzebowanie na moc pompy P_{obc} będzie pokrywane z generatora wiatrowego pracującego z mocą P_{max} oraz z sieci $P_{sieć}$, gdzie $P_{obc} = P_{max} + P_{sieć}$ [4]. W układzie zasilania bez zwrotu energii do sieci energetycznej, system sterowania powinien zapewnić zdolność odbioru energii wiatru z mocą P_{max} . Na rysunku 3 przedstawiono poglądowy schemat trójfazowej instalacji zasilania z generatorem wiatrowym w postaci



Rys. 3. Układ zasilania pompy z przekształtnikiem sumującym i generatorem wiatrowym

wolnoobrotowego wielobiegunowego generatora synchronicznego z magnesami trwałymi, który pozwala na eliminację przekładni mechanicznej oraz obwodów wzbudzenia. Trzy przekształtniki energoelektroniczne widoczne na rysunku 3 są elementami pozwalającymi na łączne wykorzystanie energii wiatru oraz energii pochodzącej z sieci i stanowią tzw. „przekształtnik sumujący”.

2. SIŁOWNIA WIATROWA JAKO DODATKOWE ŹRÓDŁO ENERGII DLA POMPOWNI

2.1. Charakterystyka silnika wiatrowego

Silnik wiatrowy jest urządzeniem aerodynamicznym zamieniającym energię kinetyczną strumienia masy powietrza na energię ruchu obrotowego. Moc tego ruchu dla strumienia o przekroju kołowym, możliwa do wykorzystania w praktyce, może być wyrażona zależnością:

$$P = \frac{1}{2} \pi \rho C_p(\lambda, \beta) R^2 v^3 \quad (1)$$

gdzie:

- ρ – gęstość powietrza,
- v – prędkość liniowa strumienia powietrza,
- R – promień przekroju kołowego (długość łopaty silnika wiatrowego),
- C_p – współczynnik wykorzystania wiatru zależny od konstrukcji wirnika silnika wiatrowego [5]. Osiągnięcie jego maksymalnej wartości możliwe jest poprzez dopasowanie prędkości obrotowej śmigła do aktualnej prędkości wiatru.

Największy uzysk mocy z wiatru osiąga się dla stosunku $\lambda = \lambda_{opt} = \omega_{opt} R / v$, gdzie ω_{opt} – optymalna prędkość kątowa wału silnika wiatrowego. W celu maksymalizacji mocy odbieranej z silnika o stałym nachyleniu łopat śmigieł β poszukuje się maksymalnej wartości C_p ze względu na λ :

$$\frac{dC_p(\lambda, \beta)}{d\lambda} = 0 \quad (2)$$

dla $\beta, v = \text{const}$ i $\lambda = \lambda_{opt}$.

Stąd dla danego C_{pmax} i λ_{opt} moc P_{max} można wyrazić jako funkcję optymalnej prędkości kątowej ω_{opt} (k – par. konstrukcji aerodynamicznej turbiny):

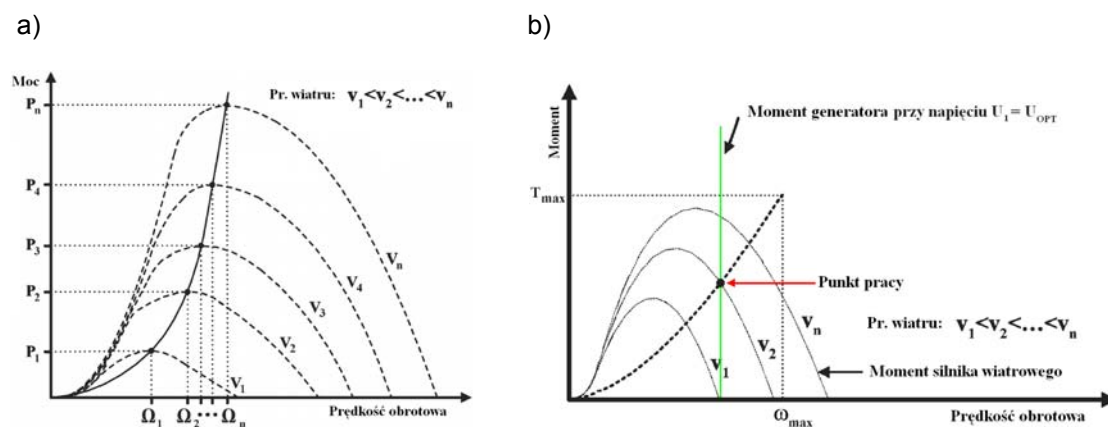
$$P_{max} = \frac{1}{2} \pi \rho C_{pmax} R^2 \left(\frac{\omega_{opt} R}{\lambda_{opt}} \right)^3 = k \omega_{opt}^3 \quad (3)$$

W układzie bez pomiaru prędkości wiatru charakterystyka optymalnych (maksymalnych) mocy odbieranych z silnika w funkcji prędkości kątowych może zostać stabilizowana lub przybliżona za pomocą wyrażenia funkcyjnego oddającego krzywą mocy przedstawioną na rysunku 4a. Przykładowa aproksymacja przebiegu współczynnika wykorzystania wiatru może mieć postać [6]:

$$c_p(\lambda) = (a_0 + a_1 * \lambda + a_2 * \lambda^2 + a_3 * \lambda^3 + a_4 * \lambda^4 + a_5 * \lambda^5) * \lambda \quad (4)$$

gdzie:

$$a_0 = 0,04244, a_1 = -0,01788, a_2 = 0,01446, a_3 = -0,00263, a_4 = 0,000168, a_5 = -3,6E-06.$$



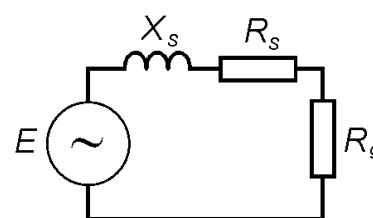
Rys. 4. Przebieg mocy optymalnej silnika wiatrowego (a) oraz charakterystyki mechaniczne agregatu (b) dla różnych warunków wiatrowych

Na rysunku 4b przedstawiono charakterystyki mechaniczne agregatu wiatrowego silnik i prądnicy synchronicznej. Moment obciążający turbinę jest regulowany pośrednio za pomocą układu przekształtnikowego jak na rysunku 3, regulującego moc za pomocą czopera. Jednym ze sposobów regulacji jest wyznaczanie mocy odbieranej przez obciążenie na podstawie zależności opisa-

nej wzorem (3). Mankamentem tej metody jest to, że charakterystyka turbiny musi być z góry znana, a w szczególności: R – promień śmigła, maksymalna wartość współczynnika wykorzystania wiatru, λ_{opt} dla którego C_p osiąga wartość maksymalną C_{pmax} . W istniejących komercyjnych rozwiązaniach przekształtników dopuszcza się uproszczenia charakterystyki opisanej wzorem (3), np. poprzez aproksymację rzeczywistej charakterystyki krzywą łamaną [7]. W praktyce straty mocy wynikające z niedopasowania obciążenia nie są duże, stąd mimo swoich wad rozwiązania takie są powszechnie stosowane w małych elektrowniach wiatrowych.

2.2. Sterowanie przekształtnikiem sumującym

W skład przekształtnika sumującego, przedstawionego na rysunku 3, wchodzi trzy elementy: niesterowany prostownik sieciowy, falownik napędowy oraz niesterowany prostownik mostkowy 6-p z czoperem połączonym z uzwojeniami stojana generatora. W stanie ustalonym wartość średnia napięcia wyjściowego prostownika sieciowego PRs wynosi U_2 . Zastępcze obciążenie widziane z zacisków maszyny synchronicznej przedstawia dla niej charakter rezystancyjny, co dla maszyny sprowadzonej do układu jednofazowego można przedstawić jak na rysunku 5.



Rys. 5. Uproszczony schemat generatora synchronicznego z zastępczą rezystancją obciążenia R_g

Oznaczenia: E – SEM generatora, X_s – reaktancja synchroniczna, R_s – rezystancja uzwojenia stojana)

Na podstawie bilansu mocy zasilania pompy w stanie ustalonym, przy założeniu braku strat w przetwornicy DC/DC i mostku prostowniczym PR_g, możliwe jest przyjęcie poniższej zależności na moc obciążenia generatora pobieraną w obwodzie pośredniczącym napięcia stałego U_2 [8]:

$$P_{gen} = \frac{3E^2 R_g}{(R_g + R_s)^2 + X_s^2} \quad \text{gdzie} \quad R_g = \frac{\pi^2 U_2^2 (1 - D)^2}{18(P_{pompy} - P_{sieci})} \quad (5)$$

Powyższa zależność określa wpływ współczynnika wypełnienia D na moc obciążenia generatora. W danym punkcie pracy silnika wiatrowego moc odbierana z generatora i przekazywana do układu zasilania U_2 będzie maksymalna, jeżeli zachodzić będzie warunek wystąpienia ekstremum funkcji mocy ze względu na D :

$$\frac{dP(D)}{dD} = 0 \quad (6)$$

który wystąpi przy

$$D_{\max} = 1 - \frac{3\sqrt{2(P_{\text{pompy}} - P_{\text{sieci}})\sqrt{R_S^2 + X_S^2}}}{\pi U_2} \quad (7)$$

i będzie wynosić w punkcie mocy maksymalnej

$$P_{d\max} = \frac{3E^2}{2R_S + 2\sqrt{R_S^2 + X_S^2}} \quad (8)$$

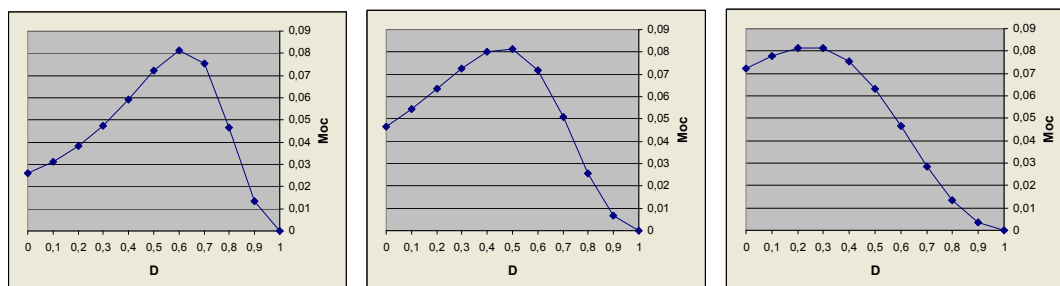
Po uwzględnieniu zależności (3) w równaniu (7) to otrzymamy

$$D_{\max} = 1 - \frac{3\sqrt{2P_{d\max}\sqrt{R_S^2 + X_S^2}}}{\pi U_2} \quad (9)$$

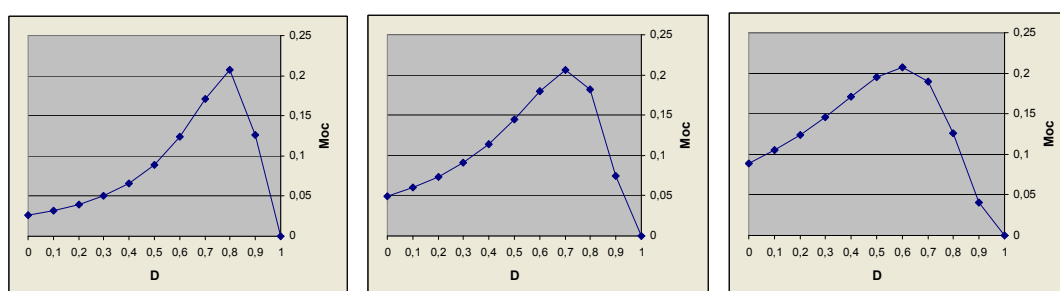
Obliczenie rzeczywistej mocy wymaga znajomości reaktancji synchronicznej X_S , pulsacji ω_g wirnika (śmigła) oraz parametru konstrukcyjnego c i Φ generatora synchronicznego pozwalających na generowanie siły elektromotorycznej $E = c\Phi\omega_g p$, gdzie p – liczba par biegunów. Moc możliwa do odebrania z generatora (8) zależy od indukowanej siły elektromotorycznej oraz rezystancji i reaktancji synchronicznej maszyny. Te parametry rzutują na dobór mocy generatora do mocy silnika wiatrowego. Na rysunku 6 przedstawiono charakterystyki mocy w funkcji współczynnika sterowania D dla trzech wartości mocy obciążenia generatora wyrażonych w jednostkach względnych. Przebiegi te odznaczają się występowaniem maksimum określonym równaniem (7), które powoduje zawężenie użytecznego zakresu sterowania.

Porównanie przebiegów a) i b) z rysunku 6 obrazuje wpływ reaktancji i rezystancji generatora oraz obciążenia przetwornicy na użyteczny zakres i kształt charakterystyki sterowania mocą. Podczas współpracy generatora z silnikiem wiatrowym, w układzie regulacji automatycznej, warunek opisany zależnością (9) wyznacza użyteczny zakres regulacji $P_{d\max} > P_{\max}$.

a)



b)



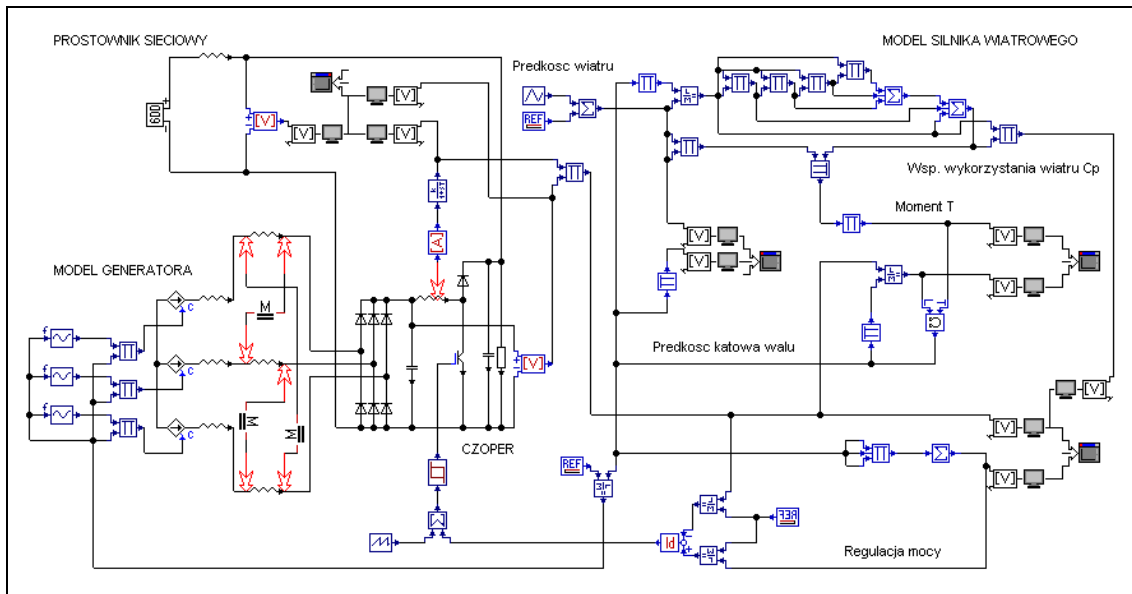
Rys. 6. Znormalizowane charakterystyki sterowania generatorem dla trzech względnych wartości mocy obciążenia w stosunku jak 1:2:4 ($E = \text{const}$): a) $X_s = 5$, $R_s = 5 \Omega$; b) $X_s = R_s = 1 \Omega$. Przebiegi uzyskane z zależności (5).

2.3. Symulacja układu zasilania z generatorem wiatrowym

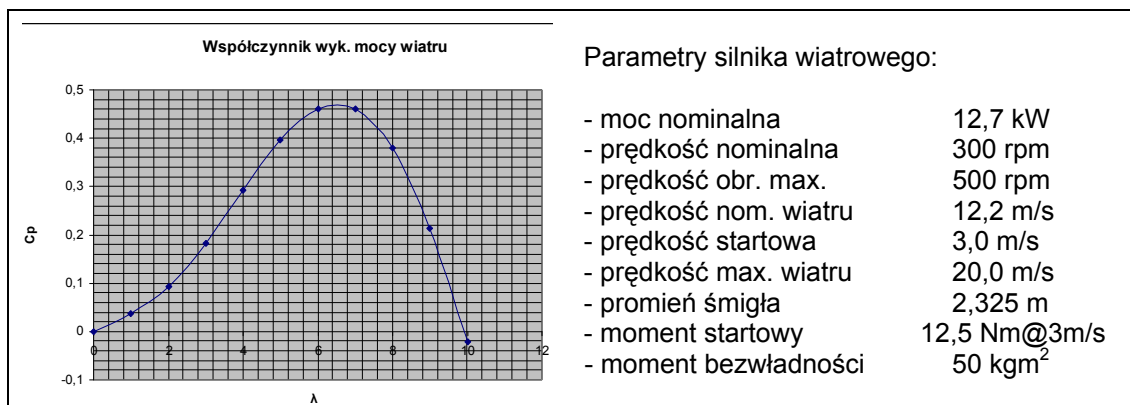
Na rysunku 7 przedstawiono strukturę układu regulacji z przekształtnikiem sprzęgającym elektrownię wiatrową z układem zasilania pompy. W układzie dla ustalonej nieznannej prędkości wiatru, obciążenie generatora dopasowywane jest tak, aby współczynnik C_p dążył do wartości maksymalnej. Współczynnik wypełnienia impulsów sterujących D jest obliczany w bloku kondycjonującym sygnał wyjściowy z regulatora PI. W blokach pomocniczych określana jest pulsacja napięcia generatora oraz obliczana wartość zadana tej pulsacji zapewniająca moc obciążenia generatora przy współczynniku C_p osiągającym swoje ekstremum (4), co przedstawiono na rysunku 8. Przykładowe przebiegi C_p dla symulowanych zmiennych prędkości wiatru pokazują, że nie jest możliwe w każdej chwili utrzymanie wartości współczynnika w pobliżu jego wartości maksymalnej.

Model generatora synchronicznego o magnesach trwałych na rysunku 7 przedstawiono w postaci obwodowej. Przekształtnik regulujący obciążenie (czoper) i niesterowany prostownik sieciowy pracują na wspólne obciążenie typu RC (20 Ω , 3300 μF) modelujące falownik napędowy. Falownik ten jest sterowany

niezależnie od generatora wiatrowego w celu maksymalizacji sprawności agregatu pompowego [3]. Zastosowaną w symulacji zależność na współczynnik C_p (4) przedstawiono graficznie w postaci wykresu na rysunku 8 wraz z podaniem parametrów silnika wiatrowego.



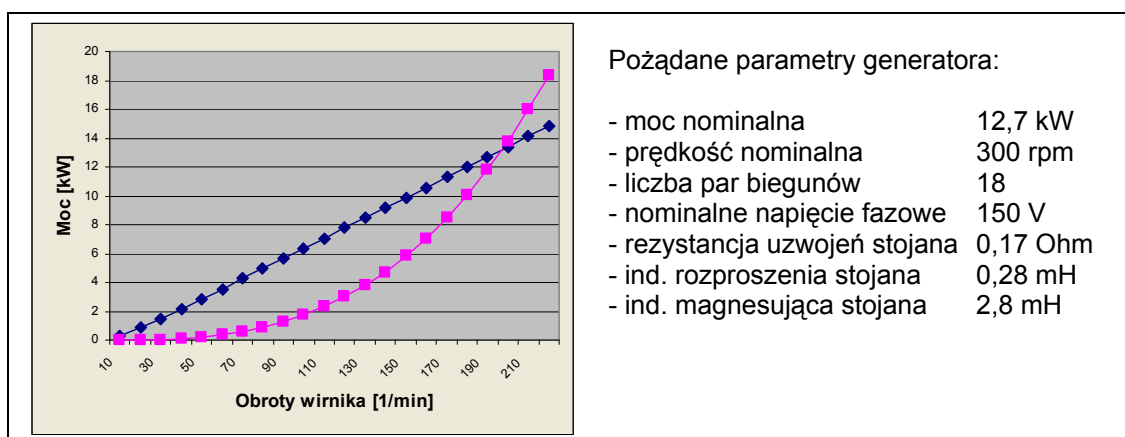
Rys. 7. Schemat układu symulacyjnego elektrowni wiatrowej wraz z układem sterowania



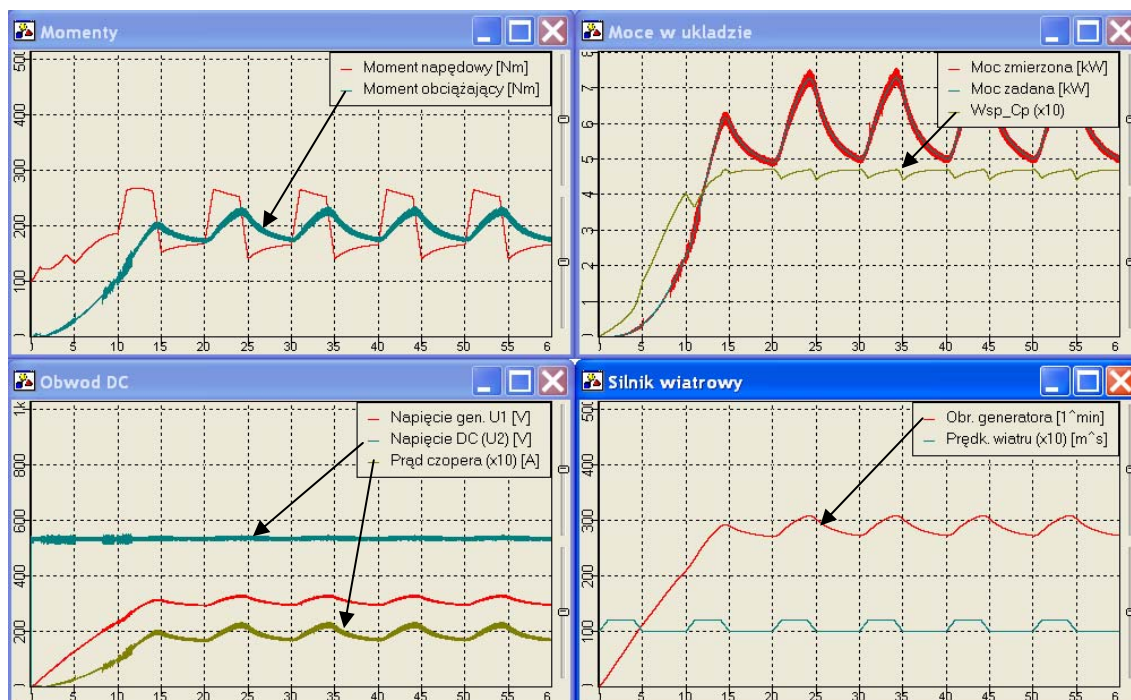
Rys. 8. Model silnika wiatrowego: zależność C_p od parametru λ użyte w symulacji

Na rysunku 9 przedstawiono przykładowe charakterystyki mocy obciążenia dla silnika wiatrowego i generatora. Zbliżony do prostoliniowego przebieg mocy maksymalnej prądnicy określa zależność wynikająca z równania (8). Za podstawowe kryterium właściwego doboru generatora synchronicznego do

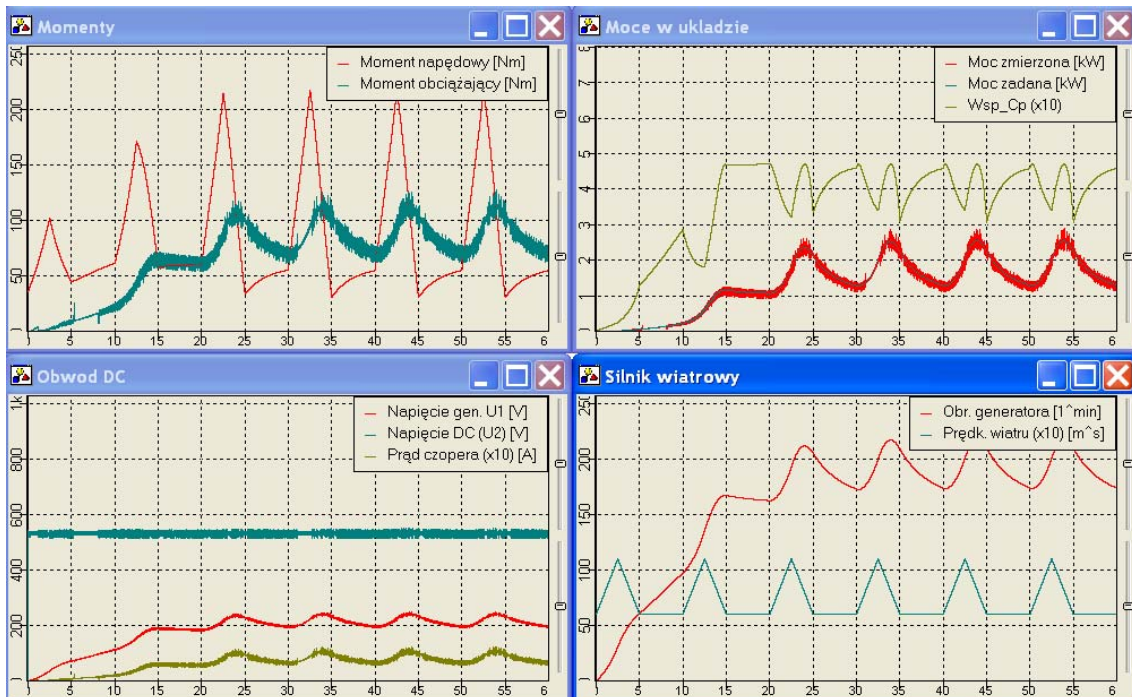
silnika wiatrowego można uznać równość mocy maksymalnej i mocy nominalnej silnika dla obrotów nominalnych. Dla parametrów silnika wiatrowego podanych na rysunku 8 należałoby zastosować generator o obrotach nominalnych ok. $300 \text{ obr}/\text{min}$ i mocy $P_{\text{max}} \approx 12,7 \text{ kW}$. W praktyce maszyny dobiera się z pewnego typoszeregu oferowanego przez producenta. Brane są pod uwagę także inne uwarunkowania konstrukcyjne projektowanej siłowni.



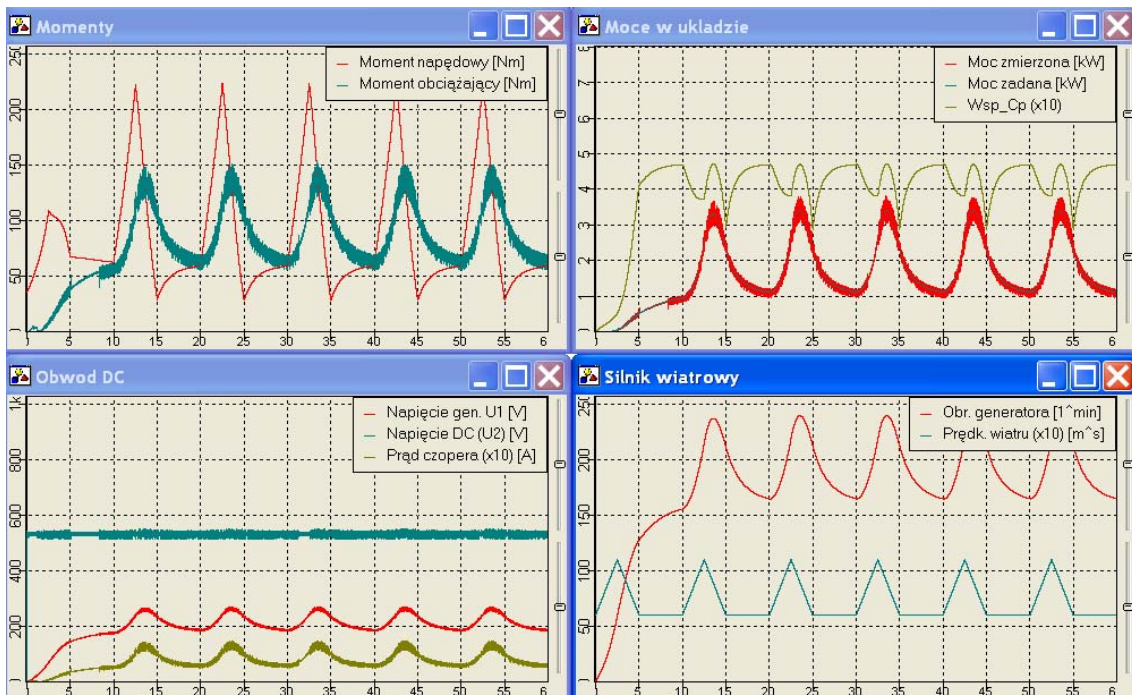
Rys. 9. Przebiegi mocy silnika wiatrowego i generatora oraz zestawienie przykładowych parametrów prądnicy synchronicznej



Rys. 10. Rozruch elektrowni (jak na rys. 7) warunkach mało zmiennej prędkości wiatru zmieniającego ok. 12 m/s



Rys. 11. Rozruch elektrowni warunkach zmiennej prędkości wiatru o średniej prędkości ok. 8 m/s (oznaczenia j.w.)



Rys. 12. Przebiegi dla średniej prędkości wiatru ok. 8 m/s. Moment bezwładności turbiny wiatrowej i generatora zmniejszony dwukrotnie w stos. do symulacji z rysunku 11

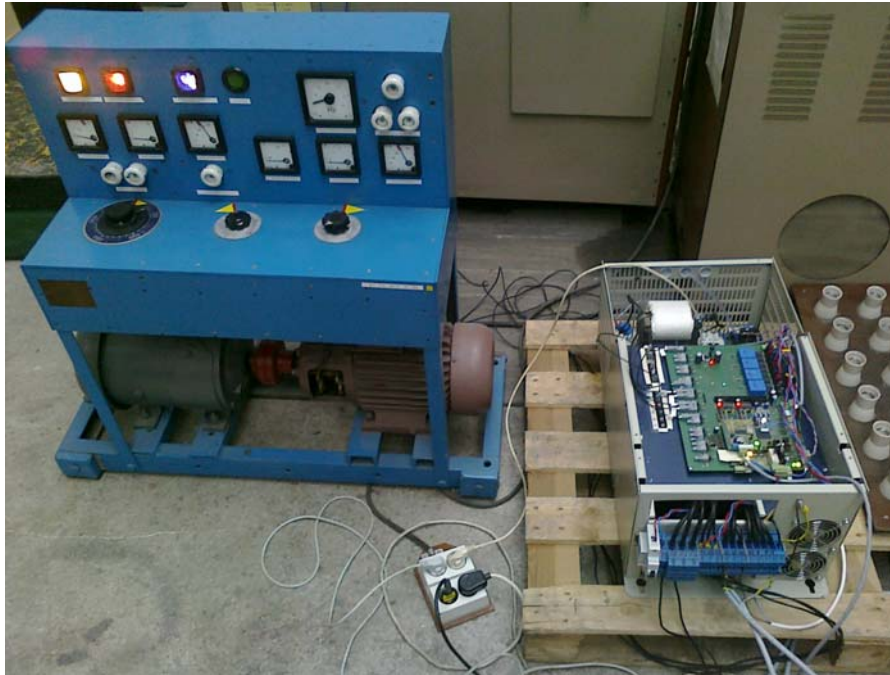
Wyniki symulacji układu z rysunku 7 przedstawiono w postaci przebiegów czasowych dla momentu bezwładności układu wirującego równego 50 kgm^2 . Na rysunku 10 do 12 przedstawiono zachowanie się układu dla różnych prędkości wiatru. Miarą jakości sterowania jest przebieg zmian parametru $C_p(t)$. Jak widać dla silnie zmiennych prędkości wiatru jego wartość chwilowo znacznie spada. Jedną z metod poprawy współczynnika wykorzystania wiatru w stanach dynamicznych jest wykorzystanie informacji o aktualnej prędkości wiatru uzyskiwanej bezpośrednio z pomiaru lub oszacowania na podstawie pomiarów prędkości wału generatora synchronicznego [6], [9]. W niniejszej pracy zastosowano metodę z wzorcową mocą zadaną i regulatorem, bez znajomości zależności (9). Jak przedstawiono na rysunkach powyżej, układ regulacji mocy dostatecznie dobrze odwzorowuje moc zadaną niezależnie od siły i zmienności wiatru.

3. OPIS UKŁADU LABORATORYJNEGO

3.1. Budowa modelu przekształtnika

Przekształtnik sumujący zrealizowano w postaci zintegrowanego urządzenia energetycznego zawierającego wszystkie podzespoły niezbędne do współpracy z napędem pompy z trójfazowym silnikiem indukcyjnym. Wykorzystano obudowę dedykowaną do urządzeń energetycznych z systemem chłodzenia wymuszonego i przeznaczoną do zawieszenia na ścianie. Bloki układów mocy przetwornicy oraz falownika zbudowano za pomocą elektroizolowanych modułów tranzystorowych IGBT typu IPM. Układ sterowania zrealizowano za pomocą uniwersalnej karty z mikrokontrolerem cyfrowym. Tory pomiarów analogowych zbudowano w oparciu izolujące przetworniki typu LEM. Do transmisji sygnałów bramkowych wykorzystano łącza światłowodowe [4].

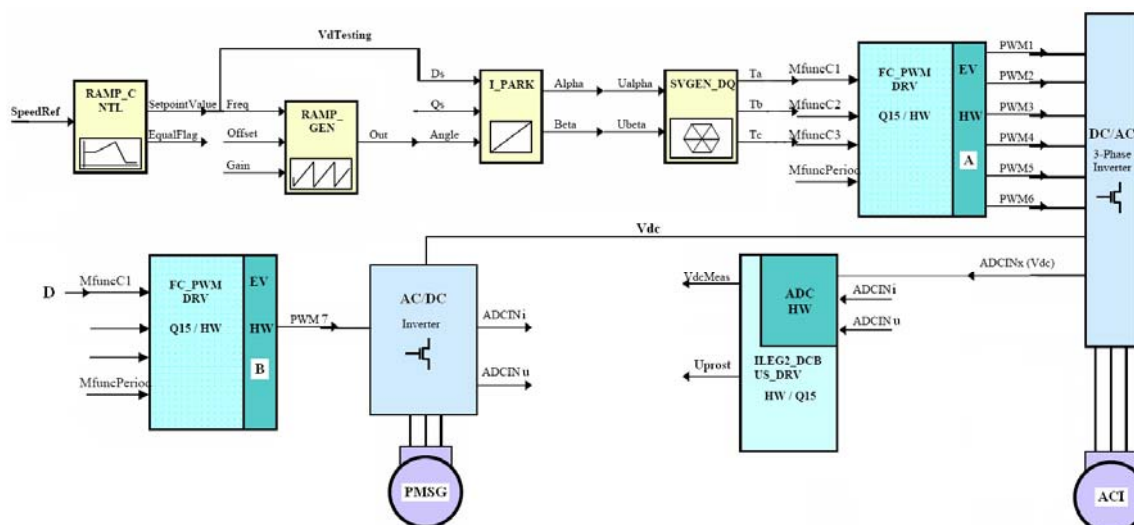
Próby z przekształtnikiem sumującym prowadzono w układzie o schemacie ideowym zgodnym ze schematem symulacyjnym z rysunku 7. W niniejszej pracy jako model generatora wiatrowego wykorzystano zestaw złożony z silnika prądu stałego i maszyny pierścieniowej o wirniku zasilanym prądem stałym, połączonych wspólnym wałem. Zestaw ten połączono z przekształtnikiem, który w trakcie prób laboratoryjnych obciążano trójfazowym silnikiem asynchronicznym oraz dodatkowo rezystancyjnie, co przedstawia fotografia z rysunku 13.



Rys. 13. Przekształtnik sumujący (z prawej strony) wraz z symulatorem generatora wiatrowego (po lewej)

3.2. Implementacja sterowania przekształtnikami

Oprogramowanie sterujące przekształtnikami zrealizowano w oparciu o narzędzia firmy Texas Instruments oraz platformę sterującą z mikrokontrolerem DSP. Aplikacja sterująca przekształtnikami pozwala na manualną regulację mocy w obwodzie pośredniczącym napięcia stałego falownika w otwartej pętli sprzężenia. Zadawanie mocy odbieranej z generatora (PSMG) odbywa się poprzez wpływ na wartość współczynnika wypełnienia przetwornicy DC/DC, natomiast zadawanie mocy oddawanej do silnika asynchronicznego (ACI) poprzez zadaną prędkość obrotową napędu. Niezależnie od nastaw z panela sterownik realizuje uzależnienie napięcia od częstotliwości wyjściowej falownika napędowego ($U = \text{const} \cdot f$), łagodny rozruch i hamowanie silnika, odpowiednią sekwencję przełączeń elementów wykonawczych w celu zapobieżenia niekontrolowanemu udarom prądu w przekształtniku oraz komunikację z systemem nadrzędnym wg protokołu Modbus RTU [4]. Strukturę aplikacji mikrokontrolera przedstawiono na rysunku 14. Bloki programowe sterowania falownikiem oznaczono kolorem żółtym. Sprzętowe zasoby modułu jednostki centralnej osadzonej w dedykowanej karcie bazowej umożliwiają pełną realizację funkcji systemu jak na rysunku 7.



Rys. 14. Struktura aplikacji sterującej przekształtnikiem sumującym

Bloki funkcyjne zrealizowane programowo oraz bloki sprzętowe (ozn. ciemnym kolorem) znajdują się wewnątrz mikrokontrolera DSP

W momencie powstawania niniejszej pracy nie zrealizowano automatycznej pętli regulacji obciążenia. Aproksymacje charakterystyk silnika wiatrowego oraz pozostałe funkcje można łatwo zaimplementować w nadrzędnym układzie sterowania (np. ze sterownikiem programowalnym PLC) połączonym z przekształtnikiem poprzez łącze szeregowo.

4. WNIOSKI

Przedstawiono ideę zastosowania małego generatora wiatrowego do wspomaganego zasilania regulowanego napędu pompy w przepompowni melioracyjnej średniej wielkości. Opisano właściwości silnika wiatrowego i generatora synchronicznego z przeznaczeniem do zastosowania w złożonym układzie regulacji z przetwornicą DC/DC. Poddano symulacji model regulowanego obciążenia generatora. W końcowej części opisano model fizyczny przekształtnika sumującego przeznaczonego do zastosowania w pompowni. Model będzie stanowić platformę rozwojową dla implementacji złożonych algorytmów sterowania systemem zasilania.

Architektura układu modelowego pozwala na wykorzystanie zewnętrznych systemów sterowania. Zastosowanie go na stacji pomp może spowodować obniżenie kosztów zasilania pompowni. Dzięki lokalnej produkcji energii zmniejszeniu ulegnie koszt obrotu oraz składniki kosztu usługi dystrybucyjnej. Istotne

będą także korzyści wynikające z odciążenia systemu energetycznego i związana z tym redukcja emisji CO₂.

Wykonane badania symulacyjne oparto na modelu generatora wiatrowego i prądnicy synchronicznej o parametrach zbliżonych do rozwiązań docelowych przewidywanych dla stacji pomp. Dla konkretnego rozwiązania układowego należy jednak zwrócić szczególną uwagę na zachowanie systemu w stanach nieustalonych związanych z rozruchem lub nagłym odciążeniem generatora oraz jego właściwe modelowanie na etapie badań symulacyjnych [10]. Natura wiatrowego źródła energii może także prowadzić do przekroczeń dopuszczalnych, określonych normami, poziomów zaburzeń (tzw. flicker) w miejscowej instalacji energetycznej. W dalszej konsekwencji może to powodować konieczność stosowania dodatkowego magazynu energii.

LITERATURA

1. http://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%BBu%C5%82awy_Wi%C5%9Blane.
2. Bogusławski P., Łowiec E.: System monitorowania pompowni melioracyjnych – lata doświadczeń, Prace Instytutu Elektrotechniki, Nr 222/2005.
3. Dąbkowski S., Siwicki P.: Uwagi o zasadach doboru i eksploatacji pomp w melioracyjnych pompowniach odwadniających, Problemy Odwodnień Terenów Depresyjnych, Wyd. IMUZ 1997.
4. Instytut Elektrotechnik, Opracowanie OG-859/ZNB-165/2009: Analiza możliwości zastosowania elektrowni wiatrowej do zasilania melioracyjnej stacji pomp, Gdańsk 2009.
5. Heier S.: Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems, John Wiley&Sons Ltd., 2006.
6. Yaoqin J., Zhaoan W.: Experimental Study of Control Strategy for Wind Generation System, IEEE, 2007.
7. <http://www.modernhome.pl/product-pol-337-Inwerter-Windy-Boy-1700.html>
8. Amei K., Takayasu Y., Ohji T., Sakui M.: A Maximum Power Control of Wind Generator System Using a Permanent Magnet Synchronous Generator and a Boost Chopper Circuit, IEEE, PCC-Osaka 2002.
9. Kelvin T., Syed I.: Optimum Control Strategies in Energy Conversion of PMSG Wind Turbine System Without Mechanical Sensors, IEEE Transaction on Energy Conversion Vol.19, No.2, 2004.
10. Sobczyk T.J.: Problemy modelowania matematycznego prądnic synchronicznych wzbudanych magnesami trwałymi, Prace Instytutu Elektrotechniki, Nr 231/2007.

MODEL OF POWERING SYSTEM
OF PUMPING STATION
WITH WIND GENERATOR

Piotr BOGUSŁAWSKI, Eugeniusz ŁOWIEC

ABSTRACT *Melioration pumping station as receiver of electricity was characterized. An optimizing power electronic converter fed from mains and wind generator in an automated pumping station, simulations of overall system and laboratory bench was also presented.*

