

DARIUSZ BORKOWSKI*

SYSTEM STEROWANIA I MONITORINGU
MAŁEJ ELEKTROWNI WODNEJCONTROL AND MONITORING SYSTEM FOR SMALL
HYDROPOWER PLANT

Streszczenie

W artykule przedstawiono system sterowania i monitoringu dla małej elektrowni wodnej. Omówiono w nim zasady sterowania podstawowych parametrów w tego typu obiektach, ich realizację przez odpowiednie układy regulacji i przykładowe działanie. W drugiej części zaprezentowano sposób implementacji algorytmów sterowania przez zastosowanie określonych rozwiązań sprzętowych. Przedstawiono również metodykę i narzędzia implementacji programowej algorytmu sterowania. Zawarto wyniki rzeczywistego systemu sterowania i monitoringu MEW. W prezentowanym obiekcie jednostkami generacyjnymi są dwa hydrozespoły oparte na generatorze synchronicznym z magnesami trwałymi, pracujące ze zmienną prędkością obrotową o łącznej mocy 150 kW.

Słowa kluczowe: małe elektrownie wodne, algorytm sterowania, system sterowania i monitoringu

Abstract

This paper presents the control and monitoring system of a small hydropower plant (SHP). The control rules of the parameters in that type of objects, their practical realization by a dedicated control system and exemplary operation were described. In the second part the way of algorithm implementation using a modern hardware was presented. The control algorithm implementation from the software point of view was also shown. The paper contains the measurements from the real control and monitoring system of SHP. This SHP contains two permanent magnet (PM) generators of 75 kW electrical power each, which can work at a variable speed.

Keywords: small hydropower plant, control algorithm, control and monitoring system

* Dr inż. Dariusz Borkowski, Instytut Elektromechanicznych Przemian Energii, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Politechnika Krakowska.

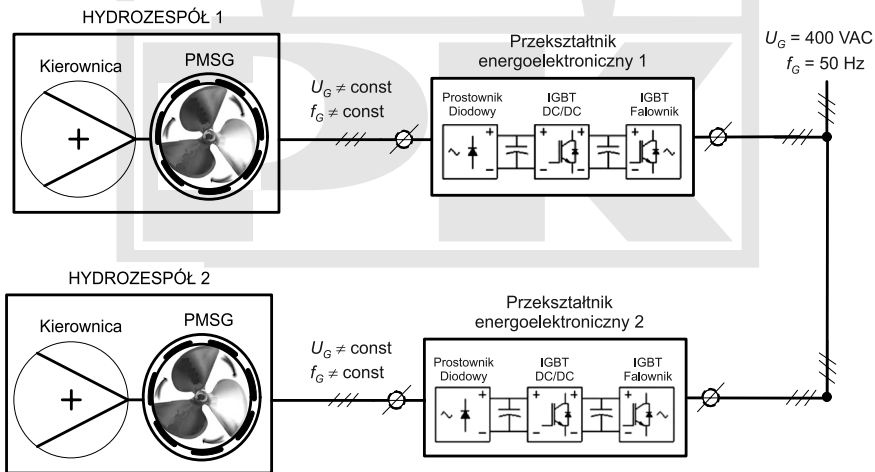
1. Wstęp

Małe elektrownie wodne (MEW) to obiekty, od których oczekuje się dużej sprawności i niezawodności. Ze względu na częste zmiany warunków hydrologicznych cieków wodnych, w których są umiejscowione, uzyskanie wysokiej sprawności wymaga ciągłych korekt parametrów systemu sterowania [1–3]. Dodatkowo, minimalizacja kosztów eksploatacji elektrowni wymusza ograniczenie obecności obsługi do minimum.

Wszystkie te czynniki pokazują konieczność stworzenia systemu sterowania pracą elektrowni, który oprócz zapewnienia podstawowych funkcji sterowania i zabezpieczenia, będzie zdolny adaptować algorytm sterowania do aktualnych warunków hydrologicznych. Powinien mieć również zdolność automatycznego uruchomienia elektrowni w wyniku przywrócenia prawidłowych parametrów wszystkich podsystemów po zaistniałej awarii. Dotyczy to m.in. zaniku lub zapadu napięcia sieci, które ze względu na dużą częstotliwość występowania są uciążliwym zjawiskiem. Funkcja ta może znacząco zmniejszyć liczbę interwencji obsługi elektrowni.

Ograniczenie obecności w obiekcie wymaga dostarczenia informacji o stanie i podstawowych parametrach pracy elektrowni do obsługi elektrowni. Dotyczy to przede wszystkim stanów awaryjnych skutkujących zatrzymaniem hydrozespołów lub innych wymagających interwencji. Ze względów ekonomicznych oraz diagnostycznych pożądane jest również archiwizowanie określonych parametrów podsystemów (prędkość turbiny, spadek wody, produkowana energia, temperatura itd.). Konieczne jest więc zastosowanie odpowiedniego systemu monitoringu [4–6].

W artykule przedstawiono system sterowania i monitoringu, zapewniający bezobsługową pracę MEW. Realizację powyższych funkcji pokazano na przykładzie konkretnego systemu



Rys. 1. Tor przetwarzania energii MEW bazujący na dwóch zintegrowanych hydrozespołach (PMSG) oraz przekształtnikach energoelektronicznych

Fig. 1. Block diagram of energy conversion in SHP containing two integrated hydro-units (PMSG) and power electronic converters

który został zaprojektowany i zaimplementowany w małej elektrowni wodnej o mocy 150 kW (rys. 1). Dodatkowa złożoność systemu sterowania spowodowana jest faktem, iż obiekt ten posiada dwa współpracujące hydrozespoły o innowacyjnej konstrukcji [7–9]. Każda jednostka zbudowana jest ze zintegrowanej turbiny śmigłowej z generatorem synchronicznym wzbudzanym magnesami trwałymi (PMSG). Elementem regulującym wartość przepływu wody w danej turbinie jest kierownica, której kąt otwarcia stanowi główny parametr regulacyjny układu sterowania. Zmienna prędkość generatora wymaga zastosowania układu energoelektronicznego dopasowującego parametry energii elektrycznej do wymagań systemu elektroenergetycznego [10, 11]. Dzięki zastosowaniu dwóch jednostek wytwórczych oraz zmiennej prędkości obrotowej elektrownia może pracować w szerokim zakresie zmiany wartości przepływu od 1 do 6 m³/s. Znamionowy spad tego obiektu to 3 m, natomiast średni przepływ określony jest na poziomie 5 m³/s.

Wyniki prezentowane w postaci przebiegów czasowych oraz charakterystyk statycznych zostały pozyskane z powyżej opisanego obiektu.

2. Regulacja poziomu wody górnej

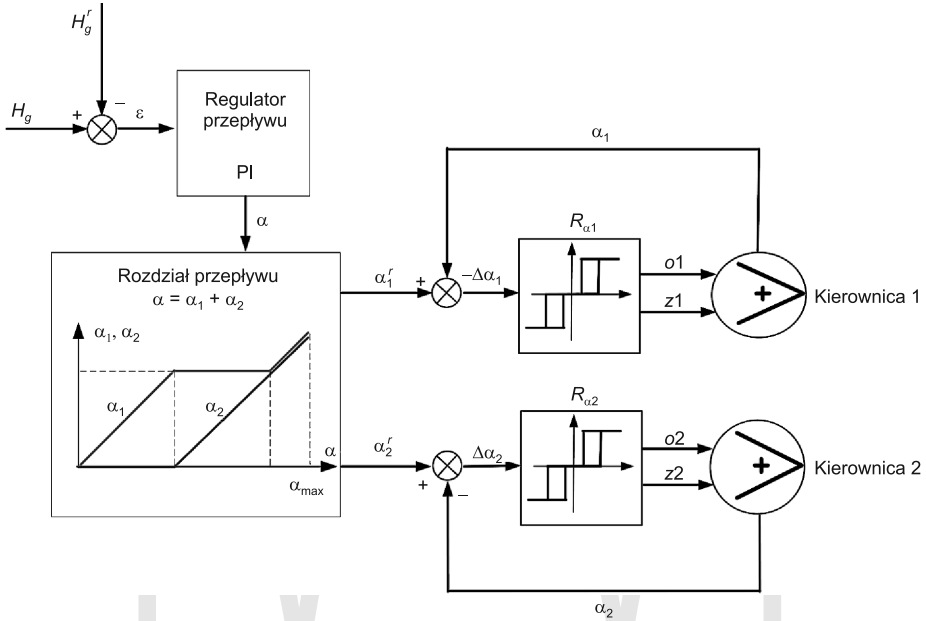
Podstawowym zadaniem systemu sterowania w elektrowniach przepływowych jest zapewnienie stałych warunków hydrologicznych, co sprowadza się przede wszystkim do utrzymania stałego poziomu wody górnej H_g . Do tego celu stosuje się zwykle układ regulacji (z ujemnym sprzężeniem zwrotnym) stałwartościowy ze względu na poziom wody górnej (rys. 2). Na podstawie aktualnego uchybu ε regulator (zwykle PI) wypracowuje sterowanie w postaci kąta otwarcia aparatu kierowniczego turbiny α (kąt kierownicy). W przypadku występowania większej liczby turbin konieczne jest zastosowanie dodatkowego bloku regulacyjnego definiującego zasady podziału dostępnego przepływu (w postaci sumarycznego kąta otwarcia kierownicy). Zasady współpracy hydrozespołów powinny zapewnić maksymalną sprawność elektrowni, definiowaną przez uzyskanie maksymalnej łącznej mocy dla określonej wartości przepływu wody.

Typ regulatorów kierownic $R_{\alpha 1}$ i $R_{\alpha 2}$ zależy od rodzaju zastosowanego układu napędowego aparatu kierowniczego. Często stosowanym rozwiązaniem jest układ hydrauliczny składający się z zasilacza hydraulicznego, instalacji przewodów, zaworów oraz rozdzielaczy. Elementem sterującym zmianą położenia kierownicy, przez zmianę kierunku przepływu cieczy hydraulicznej, jest rozdzielacz suwakowy sterowany elektrycznie. Realizuje on dwa stany pracy: start i stop. Prędkość zmiany położenia kierownicy uzależniona jest od prędkości przepływu cieczy hydraulicznej regulowanej zaworem zwrotno-dławicowym. Regulator kierownicy powinien realizować trzy stany pracy: stop, zamykanie i otwieranie (rys. 3). Zastosowanie histerezy eliminuje zbyt częste zmiany położenia kierownicy. Wartość histerezy H wynika również z dokładności pomiaru aktualnego kąta kierownicy. Wykorzystanie enkoderów obrotowych lub liniowych pozwala na uzyskanie dużej dokładności i zmniejszenie wartości histerezy.

Ponadto, regulator powinien uwzględniać bezwładność systemu hydraulicznego, mierzonego od wyłączenia zaworu otwierającego lub zamykającego do ustalenia się kąta kierownicy. Wartość ta definiuje wielkość strefy martwej regulatora b . W rzeczywistości mogą poja-

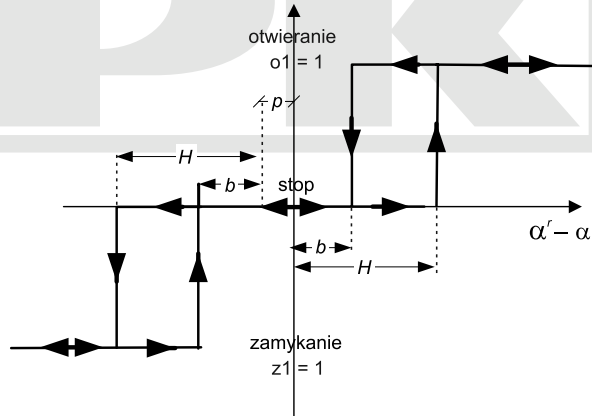
wić się różnice dokładności ustawienia kąta podczas otwierania i zamykania spowodowane oddziaływaniem wody na kierownicę. Zjawisko to można wyeliminować przez jednostronną zmianę szerokości strefy martwej o wartość p .

Odpowiednie dobranie parametrów, poparte testami na rzeczywistym systemie, pozwalają osiągnąć dużą dokładność ustawiania kąta kierownicy niezależnie od kierunku (zamykanie



Rys. 2. Struktura regulatora poziomu wody górnej MEW o dwóch hydrozespołach

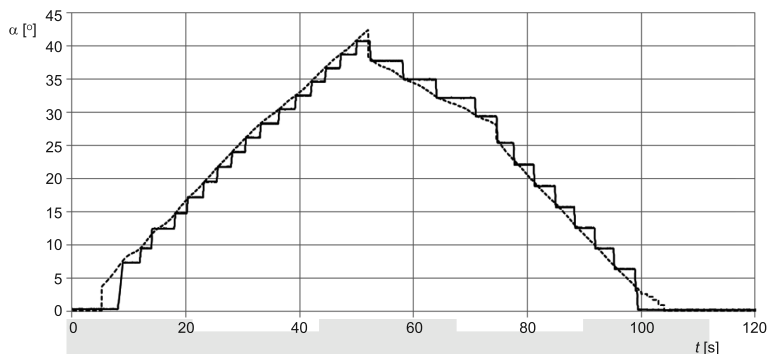
Fig. 2. Block scheme of upper water level regulator for SHP with two hydro-units



Rys. 3. Regulator kąta kierownicy układu hydraulicznego

Fig. 3. Functional diagram of guide vane angle regulator for hydraulic system

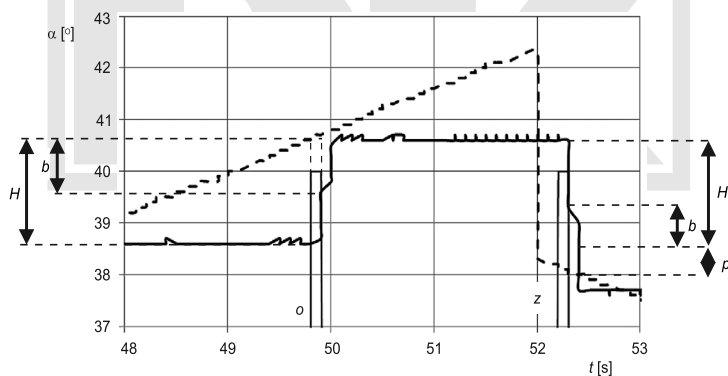
lub otwieranie). Na rys. 4 przedstawiono przebiegi obrazujące działanie regulatora kierownicy. Linia przerywana prezentuje wartość zadaną kąta kierownicy α' określoną przez regulator poziomu wody górnej, natomiast linia ciągła – rzeczywisty kąt kierownicy α wypracowany przez regulator kierownicy.



Rys. 4. Przebieg czasowy regulacji kąta kierownicy: kąt zadany kierownicy α' (linia kreskowa), kąt aktualny kierownicy α (linia gruba ciągła)

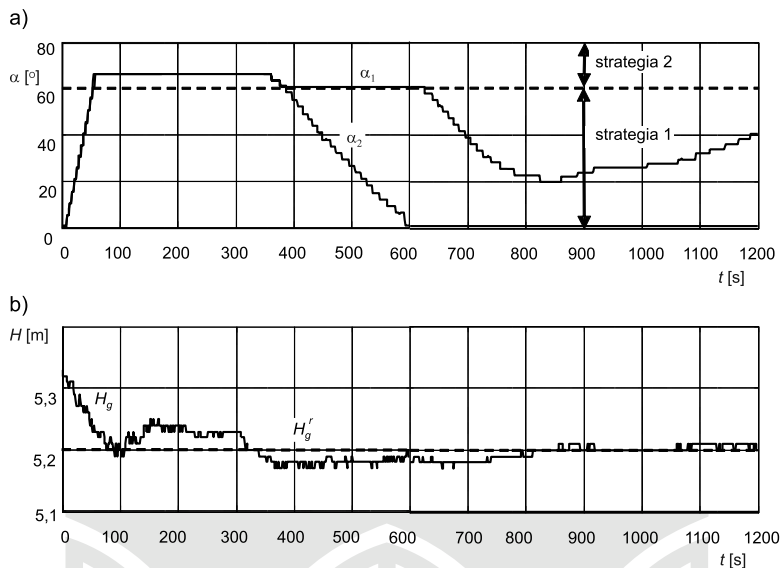
Fig. 4. Time diagram of guide vane angle regulation: α' – set angle (dotted line), α – actual value (solid line)

W celu zobrazowania właściwości regulatora kierownicy przedstawiono powiększony wycinek zarejestrowanego przebiegu, na którym naniesiono parametry regulatora (rys. 5). W rzeczywistym układzie hydrauliki histereza została dobrana na poziomie 2° , natomiast strefa martwa ma wartość pół stopnia (gdzie 0° oznacza zamkniętą kierownicę a 90° w pełni otwartą). Tak dobrane parametry pozwoliły uzyskać dokładność nastawianego kąta poniżej $0,5^\circ$ w momentach zmiany położenia.



Rys. 5. Przebieg czasowy regulacji kąta kierownicy: kąt zadany kierownicy α' (linia kreskowa), kąt aktualny kierownicy α (linia gruba ciągła) i stan zaworów sterujących (linia cienka ciągła)

Fig. 5. Time diagram of guide vane angle regulation: α' – set angle (dotted line), α – actual value (solid line) control valve state (thin solid line)



Rys. 6. Regulacja poziomu wody górnej w MEW z dwoma turbinami: a) rzeczywiste kąty kierownic ustawiane przez regulatory kierownic, b) aktualny poziom wody górnej H_g względem wartości zadanej H_g^r

Fig. 6. Time diagram of upper water control in SHP with two hydro-units: a) real vane angles defined by vane controller, b) actual upper water level H_g in relation with set value H_g^r

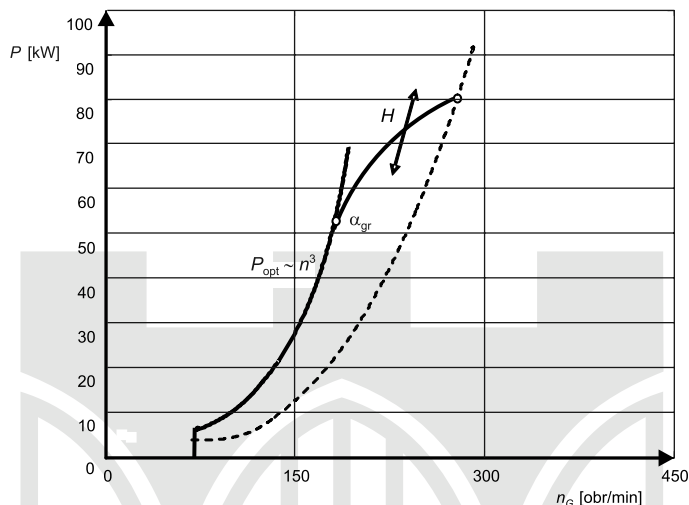
Odpowiedni dobór parametrów regulatora PI pozwala uzyskać dużą dokładność nastawianego poziomu wody górnej w krótkim czasie. Na rys. 6b przedstawiono przebieg regulacji poziomu wody górnej H_g , w momencie gdy wartość startowa poziomu wody wynosi 5,33 m, natomiast docelowa $H_g^r = 5,20$ m. Regulator poziomu wody górnej realizuje to zadanie przez odpowiedni podział przepływu na dwie turbiny (rys. 6a). Podział ten nie jest równomierny, gdyż – jak wynika z analizy współpracy dwóch turbin [8] – przy wykładniczych charakterystykach mocy w funkcji przepływu każdej z turbin, należy najpierw obciążać jedną z nich, a następnie drugą (strategia 1). Wyjątek stanowi zakres otwarcia kierownic powyżej kąta granicznego (60°), gdzie charakterystyka ta ma malejącą pochodną i najlepsze rezultaty uzyskuje się, dzieląc przepływ po połowie na każdą z turbin (strategia 2).

Regulator poziomu wody górnej decyduje więc o wartościach kątów kierownic (α_1 i α_2) dla określonych warunków hydrologicznych. Natomiast wartość momentu obciążenia turbin zależy od wartości prądu generatora wymuszonego przez układ energoelektroniczny. Prąd ten określony jest przez regulator obciążenia.

3. Regulacja obciążenia

Głównym zadaniem regulatora obciążenia jest taki dobór wartości obciążenia generatora, w zależności od aktualnych parametrów systemu (kąt otwarcia kierownicy, spad), aby uży-

skąć maksymalną sprawność turbiny. Analiza krzywej optymalnej pracy turbiny śmigłowej wykazała [8], iż składa się ona z dwóch części, z których tylko druga zależy od zmiany wartości spadu, natomiast pierwsza jest od niego niezależna i jest trzecią potęgą prędkości (rys. 7).



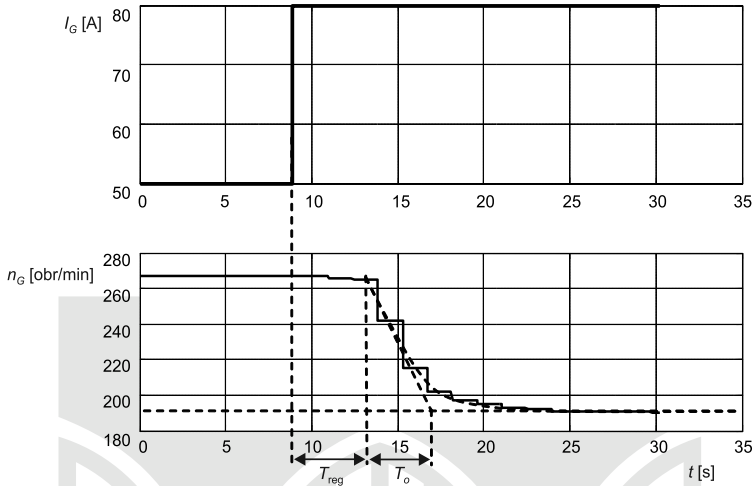
Rys. 7. Teoretyczna krzywa optymalnej pracy turbiny zapewniającej maksymalną sprawność

Fig. 7. Theoretical optimal power characteristic of hydro-unit ensures the best efficiency

Najprostszym rozwiązaniem realizacji tej krzywej jest zastosowanie regulatora definiującego wartość prądu w zależności od prędkości obrotowej generatora. Jak wynika z przeprowadzonych prób sterowanie takie charakteryzuje się dużą niestabilnością. Spowodowane jest to dwoma czynnikami: duże stałe czasowe regulatorów układu energoelektronicznego oraz długi czas nastawiania jego parametrów spowodowany wolną transmisją po interfejsie RS 485 (rys. 8). W rezultacie stała czasowa układu regulacji T_{reg} jest porównywalna ze stałą czasową regulowanego obiektu T_o . Na rys. 8 przedstawiono wartości prędkości generatora przy skokowej zmianie prądu zadanego generatora. Można zauważyć zwłokę nastawienia nowej wartości przez układ energoelektroniczny oraz dynamikę (stałą czasową) sterowanego obiektu (turbina).

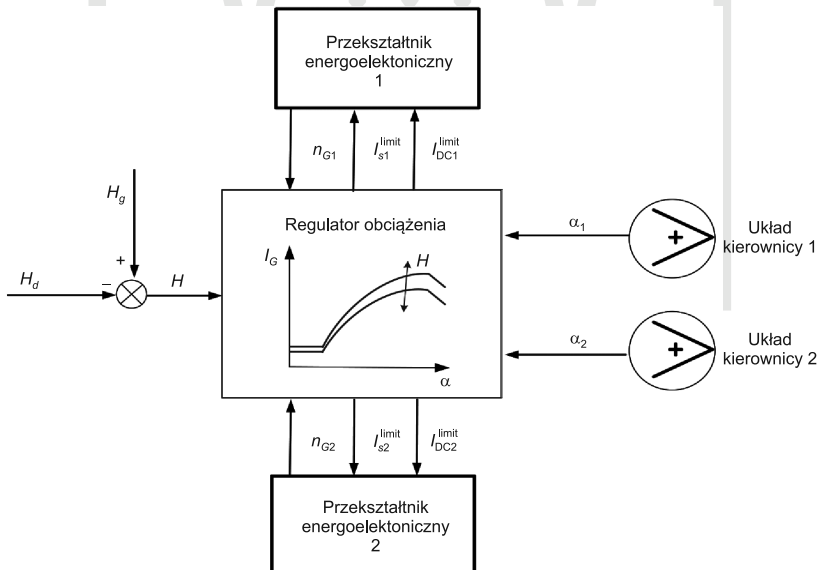
Rozwiązaniem eliminującym problem niestabilności sterowania jest uzależnienie wartości zadanego prądu od wartości kąta otwarcia kierownicy α oraz od spadu wody H . Strukturę regulatora obciążenia bazującego na tym podejściu pokazano na rys. 9. Prąd generatora zadawany jest przez regulację dwóch wartości układu przekształtnika: wartość ograniczenia prądu w obwodzie pośredniczącym I_{DC}^{limit} , który odpowiada wartości prądu generatora oraz wartość ograniczenia prądu sieciowego I_s^{limit} , który limituje maksymalną oddawaną moc. Parametry te definiują kształt charakterystyki mocy układu przekształtnikowego i generatora, która wyznacza punkt pracy układu w miejscu przecięcia z charakterystyką turbiny śmigłowej (rys. 10). W prezentowanym przykładzie założono równość wartości zadawanych

limitów ($I_{DC}^{limit} = I_s^{limit}$), co powoduje osiągnięcie ograniczenia wartości mocy dla stałej prędkości turbiny ($n_G = 300$ obr/min).



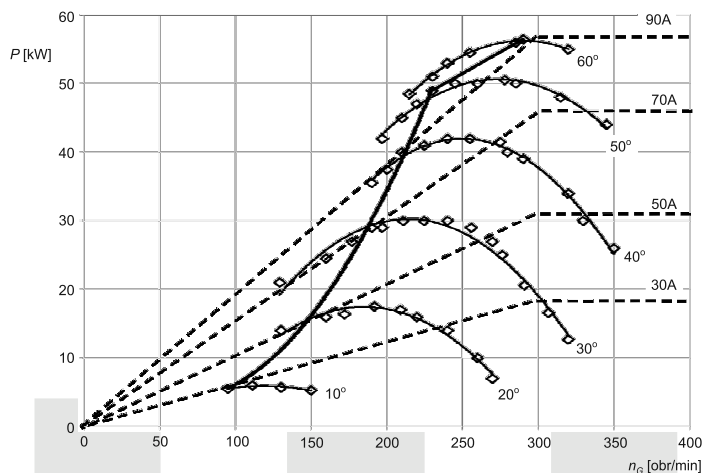
Rys. 8. Wpływ skokowej zmiany wartości prądu generatora (górny wykres) na prędkość generatora (dolny wykres)

Fig. 8. Influence of step change in generator current (top figure) on generator speed (bottom figure)



Rys. 9. Struktura regulatora obciążenia dla MEW o dwóch hydrozespołach

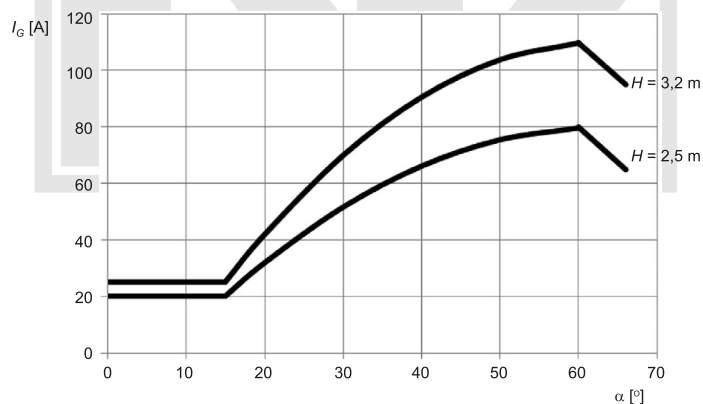
Fig. 9. Block scheme of load regulator for SHP with two hydro-units



Rys. 10. Krzywa optymalnej pracy hydrozespołu (linia zielona) określona przez charakterystyki mocy generatora (linia przerywana) oraz turbiny (linia ciągła) dla spadu 3,2 m

Fig. 10. Optimal operations curve (green) defined by power characteristic of generator (dotted line) and turbine (solid line) for head 3.2 m

Wyznaczenie charakterystyk regulacyjnych prądu generatora wymaga przeprowadzenia dokładnych pomiarów charakterystyk statycznych na obiekcie dla kilku charakterystycznych wartości spadów. Przykładowe charakterystyki dla spadu 3,2 m zamieszczono na rys. 10. Wykres przedstawia rodzinę charakterystyk mocy generatora P od prędkości turbiny n_G w funkcji wartości kątów otwarcia kierownicy α . Dodatkowo naniesione zostały linie wartości prądów obciążenia generatora. Na taką płaszczyznę nanosi się krzywą optymalnej pracy turbiny (linia pogrubiona).



Rys. 11. Aproksymacja rzeczywistych charakterystyk prądu zadanego generatora I_G od kąta otwarcia kierownicy α dla różnych wartości spadów H

Fig. 11. Approximation of current generator curves I_G in relation with guide vane angle for different value of head H

Na tej podstawie należy wyznaczyć zależności wartości prądu zadanego I_G od kąta kierownicy α dla uzyskania optymalnej charakterystyki pracy turbiny przy różnych wartościach spadu H . Takie charakterystyki aproksymuje się odcinkowo funkcjami liniowymi oraz kwadratowymi (rys. 11), a ich równania implementuje w regulatorze.

Wadą tego rozwiązania jest konieczność przeprowadzenia wielu pomiarów w celu wyznaczenia rodziny charakterystyk statycznych mocy hydrozespołu dla różnych wartości spadu. Ponadto jakakolwiek zmiana właściwości hydrozespołu może spowodować nieprawidłową pracę i konieczność ponownego wyznaczenia charakterystyk regulacyjnych. Z tego punktu widzenia regulator prędkości turbiny ma przewagę. Regulator prędkości odporny jest na zmiany charakterystyki turbiny, gdyż powodują one niewielkie zmiany prędkości. Zapewnienie stabilności jego pracy wymaga jednak zmniejszenia stałych czasowych regulatorów układu przekształtnika oraz zastosowanie szybkiego medium transmisji wymiany danych z układem sterowania.

4. Dodatkowe funkcje sterujące

Powyższe regulatory poziomu wody górnej oraz obciążenia generatorów zapewniają uzyskanie maksymalnej możliwej całościowej sprawności przetwarzania energii wodnej w elektryczną. Ponadto, uzależnienie parametrów regulatorów od spadu wody pozwala na automatyczną adaptację sterowania do aktualnych warunków hydrologicznych. Algorytm sterowania elektrownią w rzeczywistym obiekcie zawiera również dodatkowe funkcje niezbędne dla prawidłowej pracy hydrozespołów.

Jak pokazano w rozdziale 2 strategia sterowania dwoma hydrozespołami polega na obciążaniu głównie jednej z turbin, a druga pełni rolę dodatkowej (strategia 1) [8]. Takie sterowanie powoduje większe zużycie jednej z turbin, co z punktu widzenia eksploatacji hydrozespołów jest niekorzystne. Konieczne jest więc zaimplementowanie algorytmu umożliwiającego zamianę funkcji turbin (z głównej na dodatkową).

Wykorzystanie hydraulicznego napędu kierownic wymaga ciągłej regulacji ciśnienia i kontroli poziomu oleju w układzie zasilacza hydraulicznego. Utrzymywanie odpowiedniej wartości ciśnienia uzyskiwane jest przez zastosowanie regulatora histerezy. W zależności od typu zastosowanego łożyska turbiny może być wymagane smarowanie wymuszone. Tworzy to konieczność zastosowania dodatkowego układu hydraulicznego, a więc i funkcji kontrolujących jego prawidłowe działanie. Dotyczy to takich jego parametrów, jak: przepływ cieczy chłodzącej, jego poziom oraz temperatura.

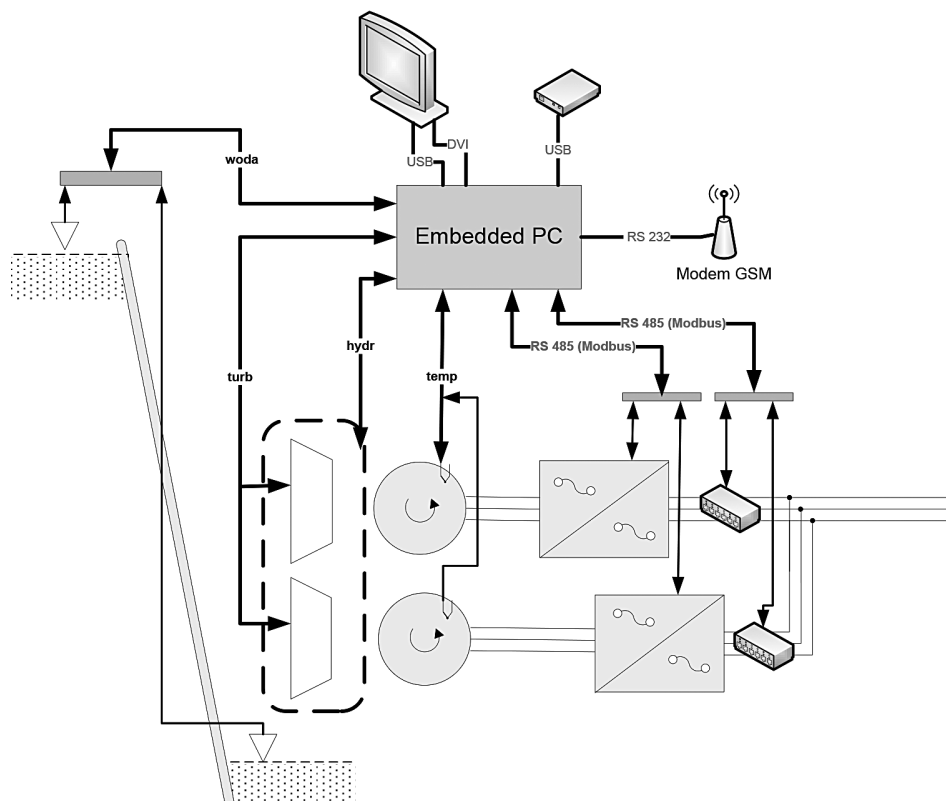
Warunek bezobsługowości elektrowni wymaga zastosowania funkcji bezpiecznego odstawienia hydrozespołów i informowania obsługi o zaistniałym stanie. Dodatkowo pożądana jest implementacja algorytmu realizującego automatyczny restart hydrozespołu po zaistniałej awarii. Uwarunkowane musi to być typem awarii oraz liczbą awarii w określonym czasie.

5. Rozwiązania sprzętowe

Obecnie w małych elektrowniach wodnych stosuje się systemy scentralizowane oparte na sterowniku PLC, który realizuje podstawowe funkcje sterujące oraz zabezpieczające. Dodatkową funkcjonalność uzyskuje się przez zastosowanie komputerów przemysłowych, w któ-

rych implementuje się systemy monitoringu. Ciekawym rozwiązaniem jest realizacja obu tych funkcji w jednym urządzeniu. Możliwość taką dają komputery wbudowane „embedded PC”, które łączą w sobie szeroką funkcjonalność środowiska Windows oraz niezawodność sterowników PLC. Kompaktowa budowa oraz relatywnie niska cena sprawiają, że rozwiązanie to jest szczególnie atrakcyjne w małych obiektach (o niewielkiej liczbie zmiennych i długich stałych czasowych).

Poniżej przedstawiono schemat blokowy systemu sterownia i monitoringu oparty na komputerze wbudowanym (rys. 12).

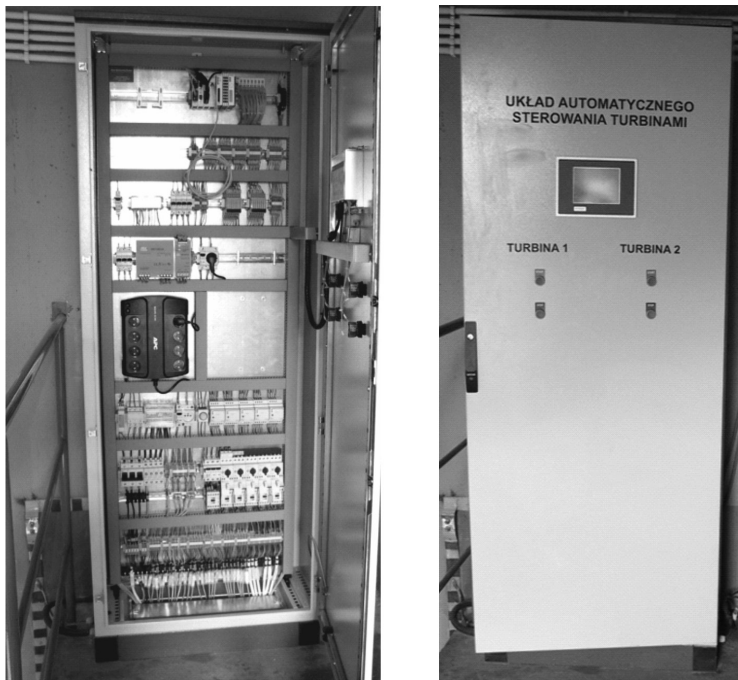


Rys. 12. Schemat blokowy systemu monitoringu i sterowania MEW o dwóch hydrozespołach

Fig. 12. Block scheme of monitoring and control system for SHP with two hydro-units

Sygnaly pomiarowo-sterujące są połączone ze wszystkimi układami wykonawczo-monitorującymi (czujniki poziomu wody, układy hydrauliki, turbiny wodne, generatory, układy energoelektroniczne, analizatory sieci). W celu zapewnienia niezawodności przesyłu danych z układami energoelektronicznymi i analizatorami sieci zastosowano transmisję cyfrową (RS485) przez protokół przemysłowy Modbus. Połączenie z czujnikami analogowymi (sondy poziomu wody, czujniki temperatury) zrealizowano w standardzie 4..20 mA ze względu na eliminację zakłóceń oraz kontrolę ciągłości obwodu pomiarowego. System posiada panel

dotykowy służący do wyświetlania monitorowanych parametrów oraz umożliwiający wprowadzanie danych przez użytkownika. Ponadto, znajduje się tu modem GSM umożliwiający wysyłanie wiadomości tekstowych (sms) do operatora systemu. W celu rejestracji parametrów pracy układu zastosowano urządzenie magazynujące dane (pamięć USB).



Rys. 13. Zdjęcia szafy układu automatycznego sterowania turbinami

Fig. 13. The photo of automatic control system cabinet

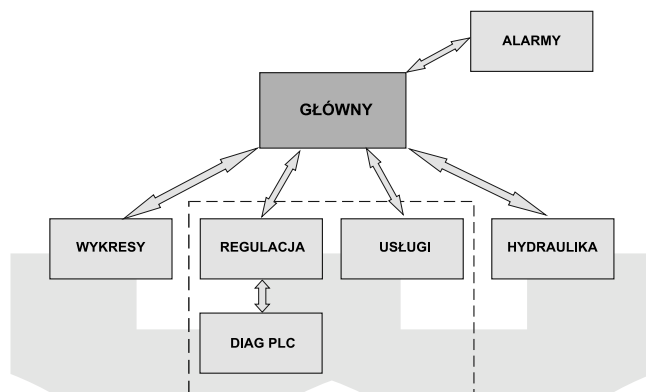
Na rys. 13 przedstawiono zdjęcia szafy układu automatycznego sterowania turbinami wyposażonej w powyżej opisane urządzenia.

6. Oprogramowanie systemu

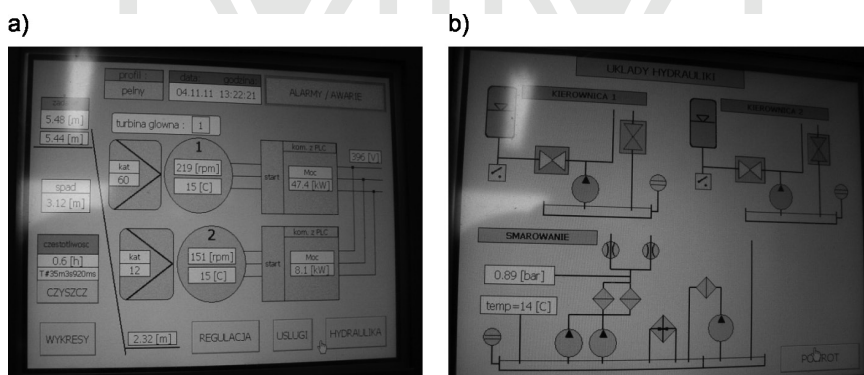
Algorytm sterowania zaimplementowany został w środowisku TwinCAT firmy Beckhoff. Program główny zrealizowano za pomocą języka CFC (Continuous Function Chart), natomiast wszystkie jego bloki funkcyjne zostały stworzone z użyciem języka instrukcji ST (Structured Text). Użytkownik systemu obsługuje system z poziomu pulpitu dotykowego, mając do dyspozycji 7 ekranów (rys. 14).

Ekran główny (rys. 15a) zawiera podstawowe parametry pracy systemu oraz daje możliwość wykonania najważniejszych operacji sterujących (załączenie i wyłączenie głównych obiektów układu). Z poziomu ekranu głównego użytkownik ma dostęp do kolejnych ekranów:

- **wykresy** – znajdują się tam trendy parametrów układu (moce i prędkości generatorów),
- **hydraulika** – daje możliwość monitorowania pracy układów hydraulicznych (stany pomp, wartości ciśnień, stan czujników przepływu itd.) (rys. 15b),
- **alarmy** – zawiera tablicę alarmów i awarii, które użytkownik może przeglądać.



Rys. 14. Powiązania logiczne ekranów systemu monitoringu i sterowania
Fig. 14. Logical diagram of monitoring and control program screens



Rys. 15. Zdjęcia ekranów programu sterująco-monitorującego MEW: a) główny, b) hydraulika
Fig. 15. The photo of monitoring and control program screens: a) main, b) hydraulic system

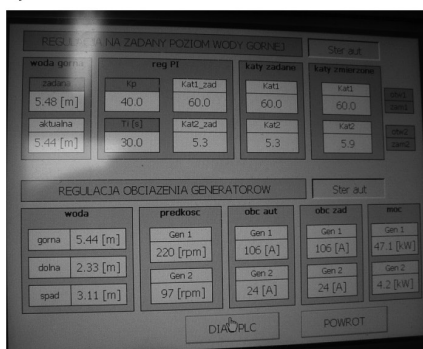
Ze względu na zapewnienie bezpiecznej i prawidłowej pracy systemu stworzone zostały dwa profile użytkowników (*ograniczony* i *pełny*). *Profil ograniczony* ma możliwość dokonania podstawowych operacji uruchamiania i zatrzymywania hydrozespołów, natomiast *profil pełny* (zabezpieczony hasłem) ma dodatkowo możliwość regulacji układem w sposób ręczny i modyfikacji parametrów pracy układu.

Z poziomu *profilu pełnego* jest więc dostęp do dodatkowych ekranów:

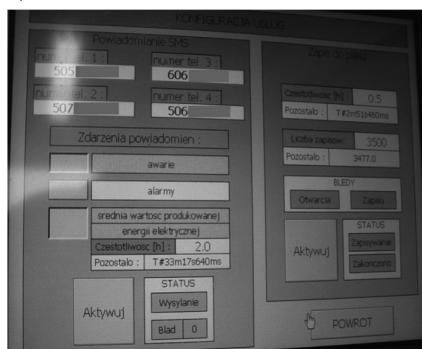
- **regulacja** – daje możliwość konfiguracji parametrów regulatorów (poziomu wody oraz obciążenia generatorów) oraz umożliwia sterowanie w trybie ręcznym (pełnym lub częściowym) niezależnie pracą dwóch hydrozespołów (rys. 16a);

- **diag PLC** – informuje o podstawowych parametrach sterownika, ważnych z punktu widzenia jego niezawodności (temperatury podzespołów sterownika, czas wykonania cyklu programu oraz licznik przekroczeń zadanego czasu cyklu);
- **usługi** – umożliwia konfigurację parametrów dodatkowych usług systemu (rys. 16b):
 - powiadamianie sms – wybór zdarzeń powiadomień;
 - zapis do pliku – określenie częstotliwości oraz liczby zapisywanych danych.

a)



b)



Rys. 16. Zdjęcia ekranów programu monitorująco-sterującego MEW: a) regulacja, b) usługi

Fig. 16. The photo of monitoring and control program screens: a) regulators, b) services

7. Podsumowanie

W artykule omówiono kluczowe z punktu widzenia sterowania zasady regulacji parametrów pracy hydrozespołów. Przedstawiono dwa podstawowe układy regulacji (poziomu wody górnej oraz obciążenia generatorów), opisano dobór ich parametrów oraz przedstawiono ich działanie na rzeczywistych przebiegach czasowych wartości sterowanych. Ponadto omówiono dodatkowe funkcje algorytmu sterowania niezbędne dla prawidłowej pracy hydrozespołów.

W drugiej części opisano sposób implementacji tych algorytmów w rzeczywistym systemie. Przedstawiono strukturę systemu sterowania i monitoringu oraz omówiono najważniejsze aspekty zastosowanych rozwiązań sprzętowych. Podano narzędzia implementacji programowej oraz przedstawiono strukturę i zdjęcia interfejsu użytkownika systemu.

Prezentowany system, pomimo iż jest dedykowany dla konkretnego rozwiązania toru przetwarzania energii, opartego na zintegrowanym generatorze i przekształtniku energoelektronicznym, może być łatwo adaptowany do innych rozwiązań. Zastosowanie komputera wbudowanego oraz modemu GSM stwarzają możliwości implementacji dodatkowej funkcjonalności – udostępnienie monitorowania elektrowni przez Internet lub tworzenie raportów o produkcji i generacja statystyk awarii.

Ten kompleksowy system zwiększa niezawodność systemów elektrowni przez ciągłe i dokładne monitorowanie jego parametrów oraz poprawia sprawność przez adaptacje parametrów sterowania do aktualnych warunków hydrologicznych. Zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych wynika również z ograniczenia czynności obsługi technicznej do minimum.

Prezentowany system sterowania i monitoringu małej elektrowni wodnej spełnia wszystkie funkcje nowoczesnego systemu zapewniającego bezobsługową pracę elektrowni.

Literatura

- [1] Krzyżanowski W., *Turbiny wodne – konstrukcja i zasady regulacji*, WNT, Warszawa 1971.
- [2] Merino J.M., Lopez A., *ABB Varspeed generator boosts efficiency and operating flexibility of hydropower plant*, ABB Review 3/96, 33-38.
- [3] Fraile-Ardanuy J., Wilhelmi J.R., Fraile-Mora J.J., Perez J.I., *Variable-Speed Hydro Generation: Operational Aspects and Control*, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 21, no. 2, June 2006.
- [4] Li Yan-pin, Chang Ji-yuan, *Small Hydropower Station Monitoring System Structure Analysis*, IEEE International Conference on Electrical and Control Engineering, 2010, 1965-1967.
- [5] Li Yan-pin, Chang Ji-yuan, *Small Hydropower Station Monitoring System Communication*, IEEE International Conference on Electrical and Control Engineering, 2010, 1962-1964, 105-110.
- [6] Lehtla M., Koivastik I., Moller T. et. al., *Design of Renewable Micro Generation Monitoring and Control Application*, IEEE Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ), 2010.
- [7] Binder A., Schneider T., *Permanent magnet synchronous generators for regenerative energy conversion – a survey*, Proc. of 11th European Conf. on Power Electronics and Applications, Dresden 2005.
- [8] Borkowski D., Węgiel T., *Optymalizacja przetwarzania energii dla małych elektrowni wodnych z generatorami pracującymi ze zmienną prędkością obrotową*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 92/2011, 121-126.
- [9] Norway Patent No 323150: *Integrert vannturbin og generator uten nav*, owner: TURBINOVA AS.
- [10] Kaźmierkowski M., Krishnan R., Blaabjerg F., Irwin J., *Control In Power Electronics*, Academic Press, 2003.
- [11] Koczara W., Chłodnicki Z., Ernest E., *Theory of the adjustable speed generation systems*, COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, 27(5), 2008, 1162-1177.