

## REGULACJA MOCY BIERNEJ W MIKROSIECIACH ZE ŹRÓDŁAMI WYTWÓRCZYMI

Mirosław WŁAS<sup>1</sup>

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel: +48583472337 e-mail: miroslaw.wlas@pg.gda.pl

**Streszczenie:** W ramach projektu badawczo-rozwojowego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Katedrze Automatyki Napędu Elektrycznego został zaprojektowany i wykonany system zarządzania energią oraz sterowania źródłami energii o nazwie ECV-10. System zainstalowano w zakładzie produkcyjnym firmy Infracorr SP. Z o.o. wraz z źródłami energii z fotowoltaiki, wiatru i gazu ziemnego. System umożliwia pomiar ośmiu prądów i sześciu napięć, co w połączeniu z rozbudowanym procesorem sygnałowym OMAP-L138 umożliwia przeprowadzenie zaawansowanych analiz jakości energii i pomiarów mocy. Pomiary można wykonać zarówno po stronie odbiorów jak i po stronie odnawialnych źródeł energii. ECV-10 posiada również liczne wejścia i wyjścia, zarówno analogowe jak i cyfrowe, dzięki czemu możliwe jest wysterowanie urządzeń, takich jak falowniki i kompensatory. W pracy opisano system który steruje mocą bierną generowaną przez przekształtnik sieciowy elektrowni wiatrowej oraz sterujący stycznikami załączającymi kolejne stopnie baterii kondensatorów.

**Słowa kluczowe:** kompensacja mocy, mikro sieci, prosument.

### 1. WPROWADZENIE

#### 1.1. Prosument

Nowe liczniki montowane u prosumentów przy okazji inwestycji w domowe mikroinstalacje fotowoltaiczne to nie tylko okazja do zebrania lepszych informacji o pobieranej i wprowadzanej przez nich do sieci energii. Mogą być także okazją do wprowadzenia na ich rachunki dodatkowych kosztów z tytułu tzw. energii biernej pojemnościowej i indukcyjnej. Przekonali się o tym pierwsi prosumenci z okolic Białegostoku [1].

Na rachunkach prosumentów z terenu PGE Białystok przy okazji rozliczeń za I połowę br. pojawiły się dodatkowe opłaty za energię bierną pojemnościową i indukcyjną. Wynika to z faktu, że zainstalowano u nich nowe liczniki notujące pobór takiej energii. Wysokość opłaty za energię bierną pojemnościową na rachunkach wysłanych do prosumentów na terenie PGE Białystok wynosi 0,49 zł netto/kvarh. Z przez Urząd Regulacji Energetyki Taryfą na Energię Elektryczną [2] rozliczeniami za pobór energii biernej objęci są odbiorcy zasilani z sieci średniego i wysokiego napięcia, a tymi rozliczeniami mogą też być objęci – jak to określa PGE – "w uzasadnionych przypadkach" także odbiorcy zasilani z sieci o napięciu znamionowym nie wyższym niż 1 kV, jak to zostało wprowadzone w przypadku prosumentów.

#### 1.2. Opłaty za moc bierną

W taryfie wszystkich Operatorów Systemów Dystrybucyjnych czytamy, że opłacie podlega ponad umowny pobór

energii biernej, określonej jako nadwyżka tej energii ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika  $\text{tg}\varphi$ , gdy  $\text{tg}\varphi$  jest większy od  $\text{tg}\varphi_0$ . Natomiast wartość współczynnika mocy  $\text{tg}\varphi$  przyjmuje się w wysokości  $\text{tg}\varphi = 0,4$ , chyba, że indywidualna ekspertyza uzasadnia wprowadzenie niższej wartości, jednak w żadnym przypadku wartość współczynnika mocy  $\text{tg}\varphi$  nie może być niższa od wartości 0,2.

Opłata za nadwyżkę energii biernej pobranej z sieci (indukcyjnej), wyliczana jest według wzoru:

$$O_b = k * C_{rk} \left( \sqrt{\frac{1+\text{tg}^2\varphi}{1+\text{tg}^2\varphi_0}} - 1 \right) * A \quad (1)$$

gdzie:  $k$  – krotność = 3 dla sieci nn,  $C_{rk}$  – średnia cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym, która w 2015 r. wyniosła 169,99zł/MWh,  $\text{tg}\varphi_0$  – umowny współczynnik mocy (0,4),  $\text{tg}\varphi$  – współczynnik mocy wynikający z pobranej energii biernej,  $A$  – energia czynna.

W rozporządzeniu systemowym [3] znajdziemy również zapis tłumaczący termin "ponadumownego poboru energii biernej przez odbiorcę", przez co rozumie się ilość energii elektrycznej biernej odpowiadającą:

a) Współczynnikiowi mocy  $\text{tg}\varphi$  wyższemu od umownego współczynnika  $\text{tg}\varphi_0$  (niedokompensowanie) i stanowiącą nadwyżkę energii biernej indukcyjnej ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika lub

b) Indukcyjnemu współczynnikiowi mocy przy braku poboru energii elektrycznej czynnej lub

c) Pojemnościowemu współczynnikiowi mocy (prekompensowanie) zarówno przy poborze energii elektrycznej czynnej, jak i przy braku takiego poboru.

Z tego powodu konieczne jest w mikroinstalacjach kontrolowanie i sterowanie ilością energii biernej pobieranej i oddawanej do sieci energetycznej [4,5]. W tym celu należy wykorzystać możliwości przekształtników energoelektronicznych sterujących pracą elektrowni słonecznych i wiatrowych, które w chwilach, gdy nie oddają mocy czynnej mogą pełnić rolę kompensatorów mocy biernej. Dodatkowo zainstalowane sterowniki mogą świadczyć usługi „zmiana mocy biernej na żądanie OSD”. Efektem realizacji takich usług dostarczanych przez źródła rozproszone mogą być z punktu widzenia OSD następujące korzyści:

- więcej narzędzi do regulacji napięcia w sieci,
- pozyskanie nowych zasobów regulacyjnych,
- możliwość ograniczenia liczby przełączeń zaczepów w transformatorach,
- redukcja strat przesyłu energii w sieci.

## 2. BUDOWA STANOWISKA

### 2.1. Urządzenia

W ramach projektu celowego NCBiR zbudowano model systemu rozproszonej generacji energii elektrycznej będący instalacją doświadczalną, składający się: turbiny wiatrowej, paneli fotowoltaicznych, magazynów energii i kogeneratora. Źródła te poprzez przekształtniki energoelektroniczne dwukierunkowe i rozdzielnicę główną zostały połączone z zewnętrzną siecią energetyczną nn i wewnętrzną siecią energetyczną zakładu produkcyjnego oraz z instalacją odbioru ciepła c.o. i c.w.g (Rys. 1.). Kogenerator połączono z sieci gazową gazu GZ 50, odbiór ciepła chłodzenia z kogeneratora połączono z odbiornikami ciepła poprzez węzeł ciepłowniczy. Pracą urządzeń steruje i zarządza system zarządzania energią ze źródeł odnawialnych i skojarzonych ECV-10. Model rozproszonej generacji składa się z:

- wolnostojącej turbiny wiatrowej o mocy 10 kW zainstalowanej na maszcie o wysokości 18m na terenie firmy Infracorr, w Niestępowie koło Gdańska;
- kogeneratora o mocy 15 kWe i 37 kWt usytuowanego w pomieszczeniu Laboratorium Generacji Rozproszonej;
- zestawu paneli (12 szt.) fotowoltaicznych o łącznej mocy 2,2 kWp, zainstalowanych na terenie Infracorr Sp. z o.o.;
- magazynu energii, składającego się z superkondensatora o napięciu 190V i pojemności 42F, baterii bezobsługowych akumulatorów o napięciu 168 V i pojemności 65Ah;
- przekształtników do: elektrowni kogeneracyjnej, elektrowni wiatrowej, magazynów energii i elektrowni fotowoltaicznej;
- rozdzielnicę główną usytuowaną w pomieszczeniu LGR;
- węzła ciepłowniczego ze zbiornikiem buforowym wyposażonym w grzałkę elektryczną o mocy 4,5kW,
- kompensatora mocy biernej (3 kondensatory).

Schemat elektryczny laboratorium został zaprezentowany na rys. 1.

### 2.2. Sterownik nadrzędny

Prezentowany system został opracowany w wyniku współpracy Energy Management Systems Sp. z o.o. z Wydziałem Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. ECV-10 to zaawansowany sterownik mikroprocesorowy z licznym wejściami analogowymi i cyfrowymi oraz rozbudowanymi możliwościami komunikacyjnymi. Sterownik może pełnić funkcję analizatora mocy badając jakość energii w dwóch podsieciach trójfazowych jednocześnie. Rozbudowane możliwości komunikacyjnym umożliwiają integrowanie sterownika z innymi urządzeniami (generatory, przekształtniki, kogeneratory, kompensator, wyłączniki), którymi może on sterować zgodnie z założonymi wymaganiami. Dzięki wbudowanemu serwerowi WWW wszelkie analizy i sterowania wykonywane przez ECV-10 są dostępne dla użytkownika za pomocą przeglądarki internetowej. Przygotowywany interfejs zgodnie z wymaganiami klienta umożliwia szybką reakcję i pełną kontrolę nad energią pobieraną w wybranych punktach zakładu.

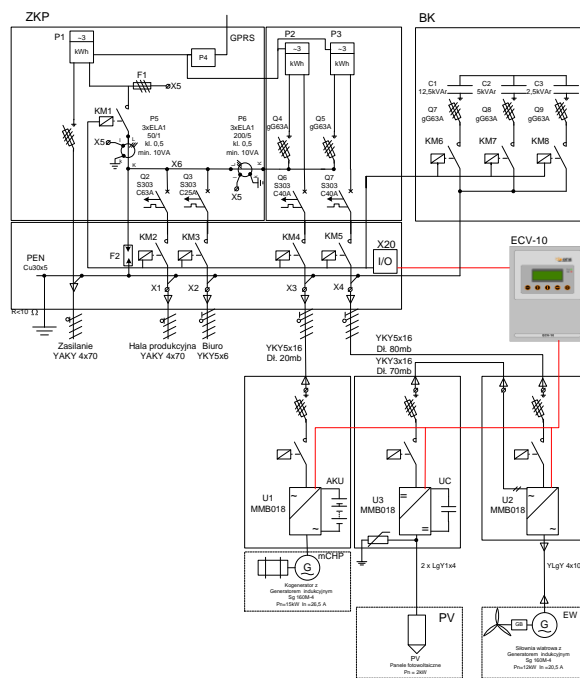
Zawansowane możliwości analizy jakości sieci oraz liczne protokoły komunikacyjne czynią z ECV-10 idealny system do efektywnego zarządzania energią. Na rys. 2 zaprezentowano stronę WWW systemu przetwarzania i zarządzania energią generowaną ze źródeł odnawialnych i skojarzonych w Laboratorium Generacji Rozproszonej. Zaimplementowany protokół Ethernet Powerlink zapewnia pełną kontrolę nad układami sterowania obsługującymi źródła energii z czasem reakcji poniżej 1 ms. Wszystkie prze-

kształtniki są objęte wymiana danych w czasie rzeczywistym. Sterownik ECV-10 przekazuje informacje o zadanej mocy czynnej i biernej oraz mocy przekazywanej i odbieranej z magazynów energii. Komunikacja z rozproszonymi stacjami wejść/wyjść X20 firmy B&R umożliwia bezpośrednie oddziaływanie na odbiory w systemie (np. załączanie, wyłączanie obciążeń, sterowanie kompensatorem mocy).

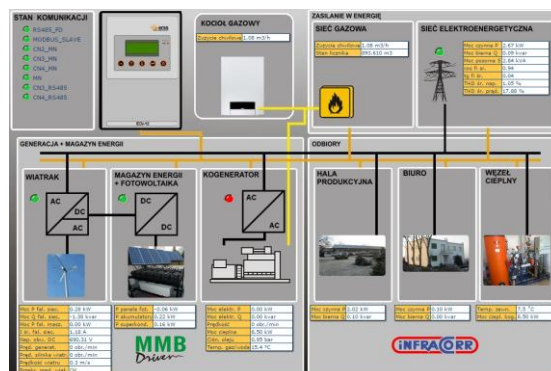
## 3. UKŁAD REGULACJI I BADANIA EKSPERYMENTALNE

Układ regulacji mocy biernej podzielono na część zgrubną i dokładną. Zgrubna regulacja realizowana jest przez baterię kondensatorów 20kVAr (trzy kondensatory 12,5kVAr; 5kVAr; 2,5kVAr) i regulator histerezowy z strefą histerezy 2,5kVAr i nieczułością 0,2kVAr, według następujących stopni przełączeń: 2,5kVAr  $\leftarrow$  5kVAr  $\leftarrow$  7,5kVAr  $\leftarrow$  12,5kVAr  $\leftarrow$  15kVAr  $\leftarrow$  17,5kVAr  $\leftarrow$  20kVAr.

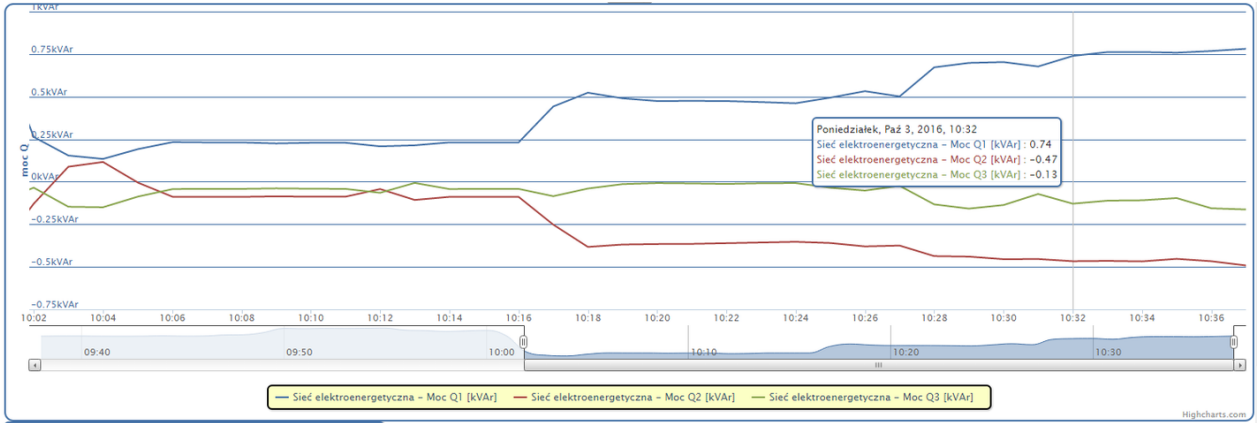
Regulacja dokładna wykonywana jest w układzie ECV-10 przez regulator PI (rys. 7b), który ma zadaną moc bierną na poziomie 0,1kVAr. Wyjście z regulatora poprzez protokół Ethernet POWERLINK przekazywane jest do przekształtnika elektrowni wiatrowej i w układzie regulacji mocy biernej (rys. 7a) prostownik przekształtnika utrzymuje moc bierną na takim poziomie, aby moc pobierana z sieci nie przekraczała 0,1kVAr indukcyjna.



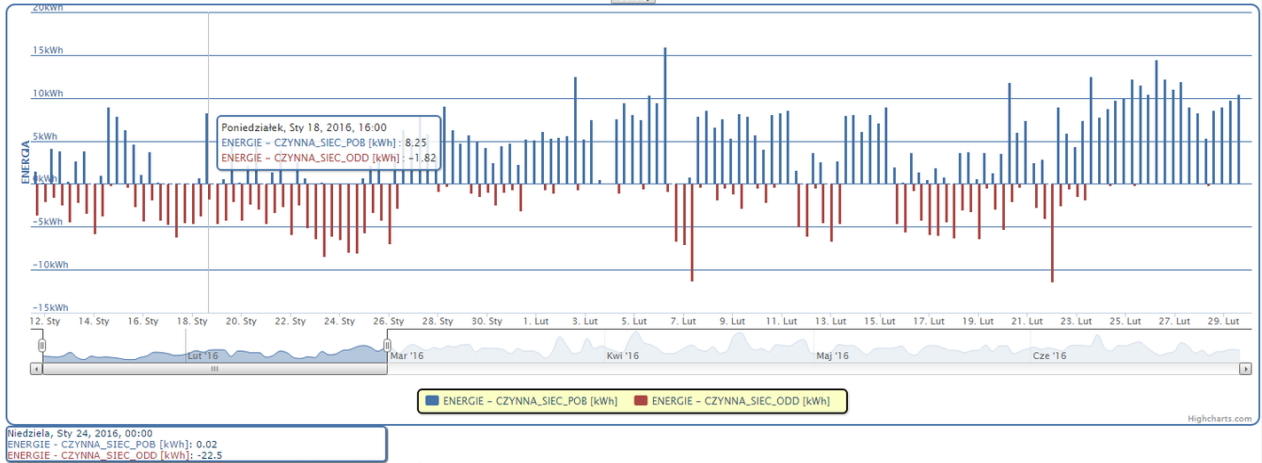
Rys. 1. Schemat zasilania instalacji badawczej



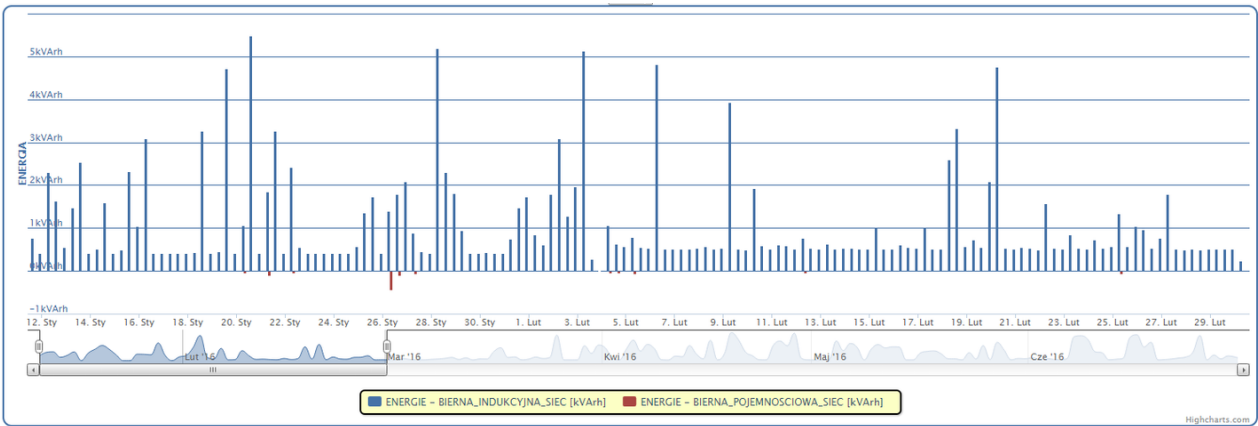
Rys. 2. Schemat laboratorium generacji rozproszonej



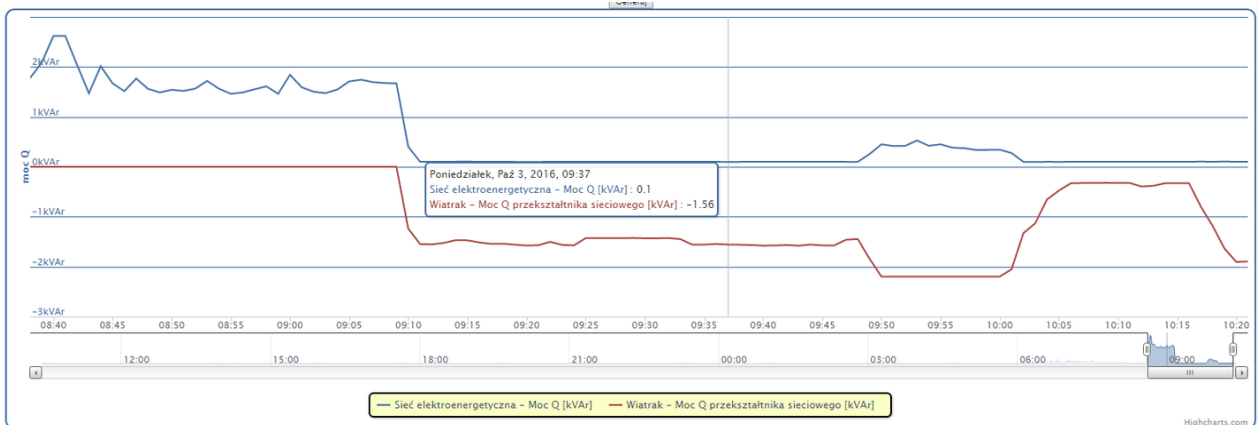
Rys. 3. Przebiegi mocy bierniej w czasie kompensacji w trzech fazach



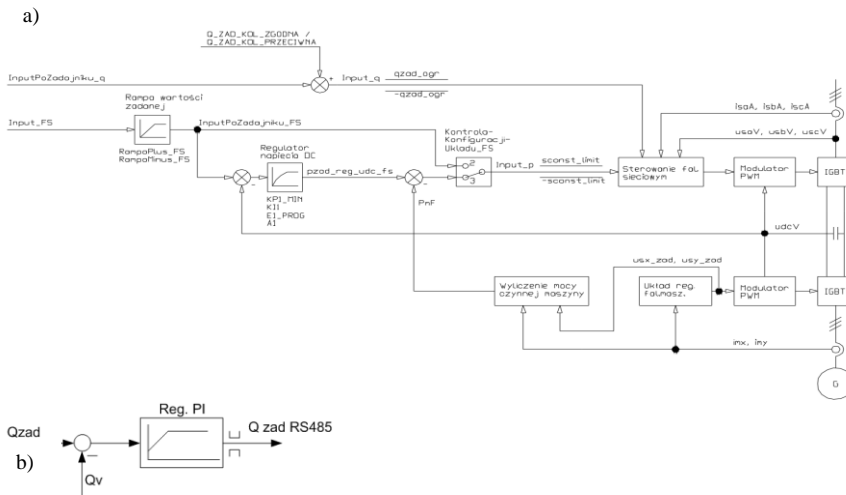
Rys. 4. Przebiegi energii czynnej pobranej i oddanej (12.01.2016 – 26.01.2016)



Rys. 5. Przebiegi energii bierniej pobranej (indukcyjnej) i oddanej (pojemnościowej)



Rys. 6. Przebiegi mocy bierniej w chwili załączenia kompensacji



Rys. 7. Układ regulacji przekształtnika elektrowni wiatrowej a) i mocy biernej b)

Do regulacji mocy biernej wybrano przekształtnik elektrowni wiatrowej, gdyż współpracuje on z magazynami energii oraz fotowoltaiką i jest dostępny przez cały rok. Przekształtnik kogeneratora jest używany w sezonie grzewczym i nie może pełnić roli kompensatora, gdyż generował by dodatkowe straty.

Nie jest korzystne utrzymywanie zerowej mocy biernej, gdyż w każdej fazie moc bierna ma inną wartość. Na rys. 3 przedstawiono przebiegi mocy biernej w 3 fazach. Widać że w fazie L1 (moc Q1) moc bierna ma charakter indukcyjny, natomiast w pozostałych fazach moc jest ma charakter pojemnościowy. Na rys. 4 przedstawiono wykres słupkowy godzinowej energii czynnej pobranej i oddanej w dniach od 12.01.2016 do 26.01.2016. W niektórych godzinach energia była oddawana, a w nie których pobierana z siec. Oznacza to, że wypadkowa energia czynna jest niewielka, stąd nawet niewielka energia bierna pobrana lub oddana powoduje powstanie opłat za ponadnormatywny pobór energii. Wykres energii biernej na rys. 5 wskazuje, że układ regulacji utrzymywał wartość mocy biernej na niewielkim poziomie. Sporadycznie wystąpiła niewielka ilość energii o charakterze pojemnościowym. Działanie regulatora PI przedstawiono na rys. 6. Około 9.08 włączono precyzyjny układ regulacji mocy biernej i moc bierna pobierana z sieci energetycznej spadła z wartości około 2kVAr do 0,1kVAr. Układ regulacji działa poprawnie, w zakresie mocy biernej do wartości 2,2kVAr. Powyżej tej wartości działa ograniczenie wyjścia regulatora PI. Jest to związane z działaniem regulacji kompensatora statycznego, którego krok wynosi 2,5kVAr, a więc

powyżej wartości 2,5kVAr oraz strefy nieczułości 0,2kVAr powinno nastąpić załączenie kolejnego stopnia. Wszystkie wyliczenia regulacji (Rys. 7. b) są wykonywane przez system mikroprocesorowy ECV-10.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule wykazano możliwość wykorzystania układów przekształtnikowych mikroźródła jako kompensatorów mocy biernej. Dodatkowo układ regulacji mocy biernej może być wykorzystywany do utrzymywania napięcia w sieci nn i zmniejszenia straty w sieci SN. Usługi tego typu mogłyby być

świadczane przez samych odbiorców - prosumentów, ale nie ma obecnie systemu taryf, który by wspierał takie usługi na rzecz OSD. Warto zatem stworzyć właściwy mechanizm rozliczeń za użytkowanie mocy biernej, biorąc pod uwagę kwestie techniczne (stabilność systemu, efektywność energetyczną) oraz ekonomiczne (reguły rynkowe w energetyce).

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Portal Gramwzielone.pl [dostęp dnia 20.09.2016]: <http://gramwzielone.pl/trendy/23005/energia-bierna-pojemnoscowa-nowym-kosztem-prosumentow>.
2. TARYFA DLA ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA KLIENTÓW Z GRUP TARYFOWYCH A, B, C i R. PGE Obórt [dostęp dnia 21.09.2016]: [www.gkpgc.pl/media/pdf/oferta\\_obrot/taryfa\\_2016](http://www.gkpgc.pl/media/pdf/oferta_obrot/taryfa_2016)
3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z 04.05.2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, Dz. U. Nr 93, poz. 623, 2007
4. Tępiński J., Wiśniewski J., Koczara W.: „Kompensator mocy biernej dla elektrowni wodnej z generatorem indukcyjnym”, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033 - 2097, Nr 4b/2012, s.259-264
5. Pieńkowski K., Jakubowski B.: „Autonomiczne generatory indukcyjne z przekształtnikami typu STATCOM”, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały. 2012, nr 32, s. 45-52

### REGULATION OF REACTIVE POWER IN MICROGRID WITH DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES

As part of the research and development project of the National Centre for Research and Development in the Department of Electrical Drives Automation has designed and manufactured control systems of energy-management and control of energy sources called the ECV-10. The system was installed at the production company INFRACORR SP. Z o.o. along with the energy sources of photovoltaics, wind and natural gas. The system enables the measurement of the eight currents and six voltages, which, combined with powerful signal processor OMAP-L138 allows you to perform advanced analysis of power quality and power measurements. Measurements can be performed on both the load and on the side of renewable energy sources. ECV-10 also has a number of inputs and outputs, both analogue and digital, so it is possible activation of devices, such as inverters and compensators. This paper describes the system that controls the reactive power generated by wind power line converter and control contactors switching on the next stages of capacitor banks.

**Keywords:** regulation of reactive power, microgrid, distributed energy resources.