

# WYKORZYSTANIE MIKROSIECI PRĄDU STAŁEGO DO INTEGRACJI ROZPROSZONYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Autorzy: Józef Paska, Łukasz Michalski, Łukasz Molik, Mariusz Kocęba

(„Rynek Energii” – nr 2/2010)

**Słowa kluczowe:** generacja rozproszona, rozproszone źródła energii, integracja źródeł, mikrosieci prądu stałego, energoelektronika

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono podstawowe założenia idei łączenia różnych jednostek wytwórczych generacji rozproszonej współpracujących w ramach tzw. „mikrosieci” na przykładzie mikrosieci prądu stałego. W rozdziale drugim zostały scharakteryzowane źródła, które można dołączyć do mikrosieci oraz przedstawiono korzyści jakie płyną z zastosowania sieci prądu stałego do łączenia źródeł. Kolejny rozdział dotyczy aspektów ekonomicznych wytwarzania energii w mikrosieci. Autorzy prezentują zależności służące do wyliczania kosztu jednostkowego energii, który będzie podstawą do odpowiedniego sterowania pracą całego układu. W rozdziale dotyczącym sterowania zaprezentowana została koncepcja komunikacji i przesyłu danych pomiędzy urządzeniami a sterownikiem głównym w mikrosieci.

## 1. WSTĘP

W ostatnich latach, w związku z wyczerpywaniem się paliw kopalnych i ostrzejszymi ograniczeniami dotyczącymi emisji zanieczyszczeń oraz chęcią poprawy niezawodności dostaw energii elektrycznej, coraz więcej uwagi poświęca się badaniom i budowie jednostek wytwórczych tzw. generacji rozproszonej [8]. Układy te mogą wykorzystywać różne technologie energetyczne począwszy od konwencjonalnych a skończywszy na wykorzystaniu odnawialnych zasobów energii (OZE). Często są to małe zdecentralizowane jednostki wytwórcze, rozproszone na niewielkim obszarze, zasilające lokalnych odbiorców, które można połączyć w małe systemy elektroenergetyczne zwane mikrosieciami [7, 10].

Połączenie wielu różnych źródeł umożliwia efektywniejsze wykorzystanie możliwości produkcyjnych układów wykorzystujących OZE, zwiększa pewność i jakość zasilania odbiorców [11] oraz zapewnia niezależność od dostaw energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej energetyki zawodowej. W artykule przedstawiono podstawowe założenia idei łączenia różnych technologii wytwórczych współpracujących w ramach tzw. „mikrosieci” na przykładzie mikrosieci prądu stałego.

## 2. MIKROSIECI PRĄDU STAŁEGO – ŹRÓDŁA I ICH INTEGRACJA

Ideą rozwijania tematyki mikrosieci prądu stałego jest możliwość integracji różnych źródeł energii [2, 10]. W przypadku źródeł o napięciu przemiennym, których przykładami mogą być tradycyjne generatory, potrzebę zmiany poziomu napięcia można zrealizować poprzez zastosowanie transformatora sieciowego. Niestety ta metoda nie jest możliwa w przypadku źródeł napięcia stałego. Oczywiście w praktyce nadal mamy do czynienia ze źródłami odnawialnymi napięcia przemiennego, idealnym ich przykładem są elektrownie wodne czy turboszespoły wiatrowe. W ich przypadku, jak już wspomniano wcześniej, nie ma problemu ze zmianą poziomu napięcia. Jest jednak wiele źródeł, na zaciskach których mamy napięcie stałe. W przypadku napięcia stałego, od lat są oczywiście znane urządzenia, których zadaniem jest zmiana napięć stałych na przemiennie. Niestety jednak w przypadku napięć przemiennych, niezwykle ważna jest synchronizacja. Często oprócz samej zmiany kształtu napięcia ze stałego na przemiennie, urządzenia te muszą realizować również dodatkowe funkcje [2, 6, 9].

W przypadku baterii słonecznych, których popularność wciąż rośnie, ważnym czynnikiem jest utrzymanie pracy w punkcie mocy maksymalnej (MPP). Mankamentem baterii słonecznych jest mała wydajność poza tym punktem oraz duża podatność na niewielkie zmiany nasłonecznienia. Zadaniem układów dopasowujących jest takie utrzymanie parametrów, aby w pełni wykorzystać źródła i wygenerować jak największą ilość energii. Jest to bowiem energia uzyskiwana przy niemal zerowych kosztach eksploatacyjnych.

Podobny problem występuje w przypadku ogniw paliwowych. Podczas ich pracy jest również istotne utrzymanie maksymalnego punktu pracy. Jednak wysokie ceny wodoru oraz wysokie nakłady związane z zakupem urządzeń ograniczają ich popularność. Ich podstawową zaletą jest fakt, że pełny rozruch ze stanu spoczynku do pełnej generacji trwa zaledwie kilka (kilkanaście) sekund a paliwo w postaci gazu można przechowywać i przewozić tak jak paliwo do agregatu prądotwórczego. Poza tym praca ogniw paliwowych charakteryzuje się znacznie wyższą sprawnością, dzięki czemu cieszą się one dużym zainteresowaniem w zastosowaniach, nie tylko militarnych.

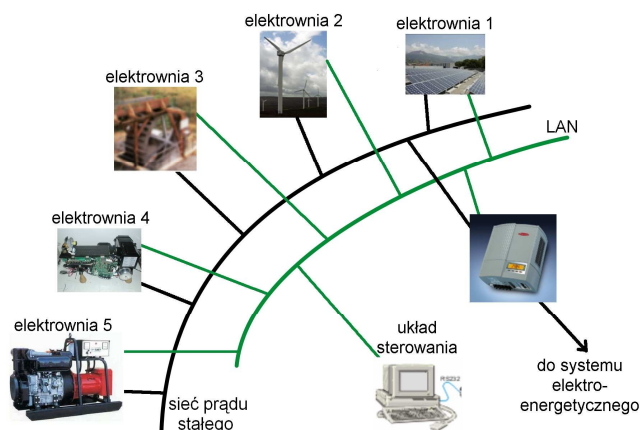
Podłączanie tych wszystkich źródeł do sieci prądu przemiennego wymagałoby zastosowania, przy każdym z nich, układów falownikowych. Ich duża sprawność i niezawodność na to pozwala, jednak należy pamiętać o tym, że praktycznie wszystkie odnawialne źródła mają bardzo dużą dynamikę zmian generacji a co za tym idzie, podłączenie ich bezpośrednio do linii przesyłowej wprowadziłoby bardzo duże tętnienia napięcia, które z kolei mogłyby doprowadzić do przepięć a w następstwie mogłyby powodować uszkodzenia urządzeń elektrycznych.

Te aspekty powodują, że bardzo często rozpatruje się możliwości pracy takich źródeł nie tylko na sieć elektroenergetyczną, ale także na wydzielone układy zasilania nazywane układami pracy wyspowej [7]. Niestety rozwiązanie to nie wyklucza konieczności synchronizacji parametrów. Podstawową zaletą tego rozwiązania jest jednak to, że system nadzoru, który miałby za zadanie czuwać nad całością, sterować poziomami mocy generowanych w źródłach oraz informować obsługę o ewentualnych awariach, nie jest aż tak mocno rozbudowany i w zasadzie możliwe jest zaprogramowanie wszystkich wariantów pracy takiej sieci, a co za tym idzie „nauczenie” systemu nadzoru prawidłowej reakcji na gwałtowne zmiany napięć. Budowa układów wyspowych ma jak na razie jedną podstawową zaletę. Tam gdzie nie jest możliwe doprowadzenie tradycyjnej linii zasilającej lub też jej koszt jest niezwykle wysoki, można przeanalizować zastosowanie niekonwencjonalnych źródeł pracujących w uzupełniającej się, czyli bilansującej się, sieci w układzie wydzielonym.

Innym, coraz bardziej popularnym, rozwiązaniem może być wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pracujących na mikrosieć prądu przemiennego posiadającą sprzęgło (powiązanie) dwu lub jedno kierunkowe z siecią energetyczną. Takie rozwiązanie ma dwie zasadnicze zalety. Po pierwsze daje możliwość integracji ze sobą źródeł, których pracą może zarządzać jeden układ centralny, ze względu na małą liczbę źródeł. Po drugie daje możliwość większego ustabilizowania parametrów sieci poprzez „podpieranie” go energetyką konwencjonalną. Poza tym powoduje to zwiększenie niezawodności mikro systemu. Problemem mikrosieci, nad którym pracuje wiele jednostek badawczych, jest jednak rozwiązanie integracji źródeł na poziomie sieci prądu stałego oraz przesyłanie wygenerowanej energii również w postaci energii prądu stałego. Takie rozwiązanie ma szereg zalet a jej podstawową jest prostota integracji.

W przypadku prądu (napięcia) stałego nie musimy martwić się synchronizacją. Jedynym istotnym elementem jest nie pomylenie polaryzacji. Jeżeli jest potrzeba wprowadzenia wygenerowanej energii do sieci, to wystarczy że podniesiemy poziom napięcia ponad ten w sieci. Jeśli natomiast wydajność źródła

spada, to napięcie po stronie źródła również się obniża i dioda znajdująca się pomiędzy źródłem w mikro sieci [2], blokuje przepływ energii z sieci do źródła. Taki układ pracy znacznie ogranicza funkcje, jakimi musi sterować sterownik nadrzędny. Jego zadaniem pozostaje zatem utrzymanie punktów pracy, a więc minimalizacja jednostkowego kosztu produkcji energii i zapewnienie wszystkim odbiorom niezbędnej im energii.



**Rys. 1.** Uproszczony schemat mikro sieci

Jeśli natomiast doszłoby po stronie mikro sieci do takiej sytuacji, że wszystkie źródła przestałyby dostarczać energię, wówczas sterownik nadrzędny umożliwia wprowadzenie niezbędnej energii z sieci energetyki zawodowej, przez prosty układ prostowniczy, wprost do rozważanej mikro sieci.

Co jednak z naszymi urządzeniami – odbiornikami energii? Czy rzeczywiście czeka nas zmiana wszystkich urządzeń na urządzenia prądu stałego? Otóż nie. W życiu codziennym na każdym kroku mamy do czynienia z urządzeniami elektronicznymi. Jeśli do pracy któregoś z nich jest nawet potrzebny silnik elektryczny, to jest on sterowany układami elektronicznymi, bądź może być zamieniony na silnik prądu stałego. W przypadku, gdy za sterowanie odpowiada układ elektroniczny, wówczas jest on zwykle zasilany z zasilaczy impulsowych. Układy te charakteryzują się tym, że potrafią dostosować się do warunków zasilania. Z tego wynika, że tak samo prosto jak dopasowują się do innego poziomu napięcia czy częstotliwości, mogą dopasować się do prądu stałego. Na ich wejściu i tak jest prostownik, który z napięcia przemiennego wytwarza stałe. Oprócz urządzeń elektronicznych, mamy w praktyce do czynienia z urządzeniami typowo rezystancyjnymi, takimi jak żarówki. Oczywiście w tę dziedzinę życia również z wielkim impetem wchodzi elektronika, która powoduje ograniczenie zużycia energii. Jednak cechą układów rezystancyjnych jest to, że nie ma dla nich znaczenia kształt napięcia. Jeśli płynie prąd to wytwarzają ciepło lub światło, a czy jest to prąd stały czy przemienny, jest bez znaczenia.

Podsumowując, w życiu codziennym stosujemy urządzenia, dla których po drobnej modernizacji, o ile w ogóle będzie konieczna, zupełnie bez znaczenia może być to z jakiej sieci (prądu przemiennego czy stałego) są zasilane. Z naszego punktu widzenia ma to istotne znaczenie. Nasze badania dotyczą bowiem wdrożenia układów stałoprądowych, by wyeliminować skomplikowane układy zasilania oraz niepotrzebną synchronizację i podwójną konwersję. Jeśli mamy układy, które możemy zasilić napięciem stałym, to nasza wizja może odnieść sukces.

Oczywiście bardzo istotnym elementem w życiu codziennym jest również bezpieczeństwo. Bezpieczeństwo, tak dla samych urządzeń, jak i osób je eksploatujących. Wykorzystywane w dzisiejszej automatyce zabezpieczeniowej układy można stosować jedynie przy napięciach przemiennych. Jest jednak i tu nadzieja, ponieważ firmy produkujące tego typu urządzenia, w odpowiedzi na potrzeby

rynku, rozwinęły badania również w dziedzinie napięcia stałego. Dzięki temu, bez większych kłopotów już dziś można zakupić urządzenia zabezpieczające takie jak bezpieczniki typu S, bądź wyłączniki różnicowo-prądowe pracujące na napięciu stałym.

### 3. ASPEKTY EKONOMICZNE MIKROSIECI

Wprowadzenie nowych rozwiązań i technologii wiąże się zawsze z pytaniem o aspekty ekonomiczne. Na takie pytanie nie da się szybko odpowiedzieć, gdyż wydanie ostatecznej decyzji musi być poprzedzone odpowiednimi analizami. Należy jednak pamiętać, że warunkiem koniecznym powodzenia inwestycji pozostaje osiągnięcie celu technicznego, czyli zapewnienie odbiorcom dostawy energii na zakładanym (zamówionym) poziomie ilościowym i jakościowym. Warunek ten musi zostać spełniony przed kryterium ekonomicznym i stanowić ograniczenie (warunki brzegowe) dla poszukiwań rozwiązań optymalnych ze względu na koszty [5].

Według autorów odpowiednim kryterium ekonomicznym jest minimum kosztu jednostkowego wyprodukowanej energii.

Zanim jednak przejdziemy do dalszych rozważań omówione zostaną czynniki na jakie należy zwrócić uwagę podchodząc do zagadnień ekonomicznych związanych z mikrosieciami [1].

Pierwszym jest odpowiedni dobór i optymalizacja źródeł energii, który należy rozpocząć od doboru rodzaju elektrowni i ich mocy zainstalowanej oraz wielkości zasobnika energii (kryterium jest pokrycie zapotrzebowania odbiorców). Od tego będzie zależał przyszły koszt wyprodukowanej energii. Należy pamiętać, że niedowymiarowanie źródeł może skutkować niespełnieniem kryterium technicznego, natomiast znaczne przewymiarowanie zaowocuje niskim stopniem wykorzystania mocy zainstalowanej, czyli podwyższeniem kosztu wytworzenia energii. Ważne jest też zagwarantowanie, że suma mocy zasobnika i źródeł będzie co najmniej równa mocy przyłączeniowej odbiorców.

Kolejnym zagadnieniem jest podział niezbędnej mocy generowanej pomiędzy założone rodzaje źródeł. Źródła można podzielić na sterowalne – o przewidywalnej i sterowalnej mocy generowanej (np. ogniwo paliwowe, agregat prądotwórczy) oraz niesterowalne – o nieprzewidywalnej mocy (ogniwa słoneczne i turboszespoły wiatrowe). Aby zapewnić najniższy koszt wyprodukowanej energii należy tak sterować pracą źródeł, aby maksymalnie wykorzystywać te „najtańsze” (elektrownia słoneczna i wiatrowa), a resztę zapotrzebowania pokrywać z pozostałych źródeł. Co więcej, każde ze źródeł powinno pracować w optymalnych dla siebie warunkach. Dla minimalizacji całkowitego kosztu wytworzenia energii zasobnik należy ładować wyłącznie nadwyżkami energii ze źródeł odnawialnych. Nie bez znaczenia jest też możliwość jaką daje zasobnik energii, który może być wykorzystywany do pokrywania zwiększonego zapotrzebowania w chwilach niedoboru energii produkowanej ze źródeł, zarówno dla mikrosieci, jak i dla sieci elektroenergetycznej. Tym samym może być używany do stabilizowania napięcia w sieci, co ma bezpośredni wpływ na jakość energii, jaka jest dostarczana do odbiorców. Dodatkowo w mikrosieci można zastosować produkcję energii elektrycznej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła, co powoduje zwiększenie sprawności całego procesu produkcji, a tym samym poprawę wskaźników ekonomicznych.

Wyznaczenie **kosztu jednostkowego** pozwala na porównywanie poszczególnych elektrowni. Jednak klasyczne ujęcie, które uwzględnia wyłącznie koszty wewnętrzne, nie obejmuje efektu ekologicznego i społecznego [8]. W obecnie prowadzonych inwestycjach chodzi głównie o efekt ekologiczny w postaci unikniętych emisji zanieczyszczeń, głównie CO<sub>2</sub>. Konieczne jest więc korzystanie z innych narzędzi,

które pozwolą na szersze spojrzenie i ujęcie w rachunku również kosztów zewnętrznych. W niektórych podejściach uwzględnia się przychody związane ze sprzedażą zielonych certyfikatów. Jednak jest to możliwe do wykonania w stosunku do większych systemów, a rozpatrywane mikrosieci są raczej systemami niewielkimi. Z uwagi na specyfikę analizowanych obiektów oraz możliwość analizy wrażliwości jednostkowego kosztu wytwarzania energii elektrycznej na zmiany głównych pozycji kosztów została zaproponowana formuła obliczeniowa uwzględniająca składową społeczno-ekologiczną związaną z produkcją energii w danej elektrowni. Składowa ta przyjmuje wartości ujemne dla źródeł wpływających pozytywnie na społeczeństwo i środowisko (w domyśle źródła odnawialne) i wartości dodatnie dla źródeł obciążających środowisko. Intuicyjnie powinna ona przyjąć wartość najmniejszą dla elektrowni całkowicie bezemisyjnej (włączając w to wpływ na krajobraz). Zaproponowana formuła obliczeniowa ma postać:

$$k_j = \frac{\sum_{t=0}^N [I_t + KU_t + KP_t + KS_t](1+p)^{-t}}{\sum_{t=0}^N A_t(1+p)^{-t}} = \quad (1)$$

$$= k_j^I + k_j^U + k_j^P + k_j^S$$

gdzie:  $N$  – okres analizy,  $I_t$  – nakłady inwestycyjne w roku  $t$ ,  $KU_t$  – koszty utrzymania i remontów w roku  $t$ ,  $KP_t$  – koszty paliwa w roku  $t$ ,  $KS_t$  – koszty społeczno-środowiskowe w roku  $t$ ,  $p$  – stopa dyskonta,  $A_t$  – energia wytworzona w roku  $t$ ,  $k_j^I$  – składowa „inwestycyjna” kosztu jednostkowego,  $k_j^U$  – składowa „utrzymania i remontów” kosztu,  $k_j^P$  – składowa „paliwowa”,  $k_j^S$  – składowa „społeczno-środowiskowa”.

Zadanie **sterowania obiektem (mikrosiecią)** polega na wyznaczeniu takiego podziału obciążenia chwilowego pomiędzy źródła, aby w danej chwili otrzymać możliwie najtańszą energię. Sterowanie mocą chwilową elektrowni odbywać się ma w dyskretnych odcinkach czasu, w których można przyjąć, że warunki zewnętrzne się nie zmieniają. Ze względu na zmienność nasłonecznienia, prędkości wiatru i obciążenia oraz zdolności komunikacyjne systemu mikrosieci zakładamy w pierwszej kolejności, że czas ten będzie wynosił od 1 do kilku minut. Zadanie minimalizacji chwilowego kosztu wytworzenia energii polega na wyznaczeniu chwilowego podziału mocy pomiędzy źródła, który zapewnia najniższy koszt całkowity. W danej chwili nie rozpatrujemy zależności czasowych. Do obliczenia energii oddawanej w tym czasie przyjmujemy, że moce są stałe w całym przyjętym odcinku czasu. Oznaczono go jako  $\Delta t$ . W każdym przedziale  $\Delta t$  moc źródeł musi być równa mocy obciążenia:

$$p_{\Delta t} = p_1 + p_2 + \dots + p_i + \dots + p_n \quad (2)$$

gdzie:  $p_{\Delta t}$  – moc chwilowa odbiorów,  $p_i$  – moc chwilowa  $i$ -tego źródła,  $n$  - liczba źródeł zintegrowanych w mikrosieci.

Koszt jednostkowy wytworzenia energii w danym przedziale  $\Delta t$  wynosi:

$$F(p_1, p_2, \dots, p_n) = \frac{p_1 k_{j,1} + p_2 k_{j,2} + \dots + p_n k_{j,n}}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \quad (3)$$

gdzie:  $k_{j,i}$  – koszt wytworzenia energii w źródle „ $i$ ”, liczony wg (1).

Wyznaczenie minimum kosztu chwilowego polega na wyznaczeniu minimum funkcji (3) przy ograniczeniach związanych z charakterystykami właściwymi dla rodzaju elektrowni.

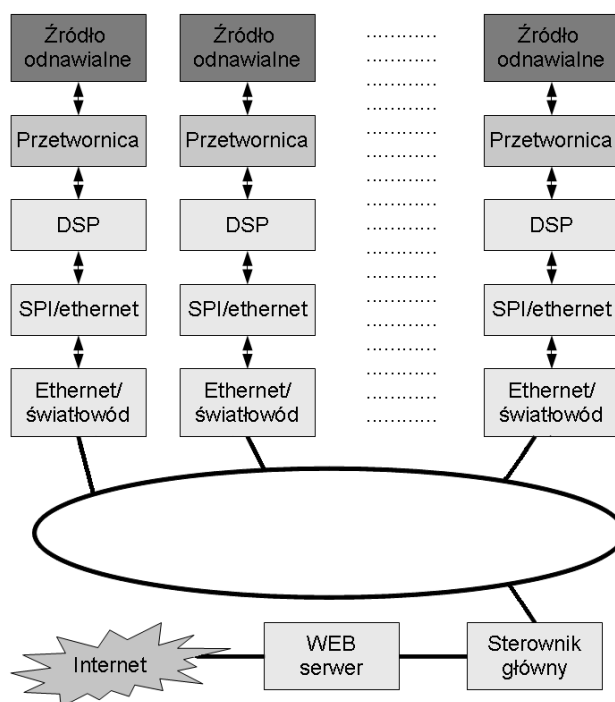
Przedstawione koszty jednostkowe wytworzenia energii wraz z ograniczeniami jakie należy wziąć pod uwagę dla każdego źródła pozwalają sformułować odpowiednie funkcje do zarządzania źródłami w mikrosieci. Dzięki temu możliwe będzie takie zarządzanie pracą urządzeń, aby wyprodukowana energia była najtańsza, przy zachowaniu wszystkich parametrów technicznych.

#### 4. STEROWANIE MIKROSIECIĄ

Sterowanie mikrosiecią musi spełniać kilka warunków [6, 9]. Po pierwsze pozwalać na wysoce niezawodną pracę wszystkich urządzeń. Po drugie mikrosieć powinna dostarczać w sposób stabilny energię o wysokiej jakości. Po trzecie, ze względów ekonomicznych i związanych z ochroną środowiska, mikrosieć powinna generować energię w jak największej części w źródłach odnawialnych.

Układ sterujący mikrosiecią można podzielić na część lokalną, znajdującą się przy każdym ze źródeł energii i globalną - wspólną dla całej sieci, co przedstawiono na rysunku 2. Zadania tych części są różne, co determinuje budowę i zastosowane w nich elementy.

Sterownik lokalny w sposób bezpośredni steruje działaniem przetwornicy, która przyłącza źródło do szyny mikrosieci. Z tego powodu wykorzystano szybki procesor DSP, a dokładniej produkt firmy Texas Instruments TMS320F2812. Jest on odpowiedzialny za ustawianie sygnału PWM na odpowiednim poziomie wypełnienia, tak aby utrzymać zadane parametry prądowo-napięciowe [4]. Z uwagi na zmieniające się ilości energii produkowanej przez źródła i wartości obciążenia, musi on szybko reagować, zmieniając wypełnienie sygnału sterującego. Podstawowym sposobem komunikacji dla TMS320F2812 jest interfejs SPI (Serial Peripheral Interface). Umożliwia on przesyłanie informacji o pracy przetwornicy bez znaczącego zużycia mocy obliczeniowej procesora. Do przekształcenia sygnału SPI na Ethernet, który umożliwi przesłanie na duże odległości, służy procesor Atmega 128. Na nim umieszczony jest serwer http, dzięki któremu można sprawdzać parametry przetwornicy i źródła energii.



Rys. 2. Schemat systemu sterującego

Dalej sygnały są przesyłane do sieci w topologii „Token Ring”, a dokładniej szczególnej jego wersji – Fiber Distributed Data Interface (FDDI) [12]. W łączu tym jest stosowany podwójny pierścień, natomiast nośnikiem danych jest światłowód, a nie kabel UTP zwany „skrętka”. Jest to ważne z punktu widzenia omawianych zastosowań, ponieważ jest on odporny na zakłócenia elektromagnetyczne. Sieć ta posiada możliwość autonaprawy w sensie logicznym, to znaczy jest diagnozowane miejsce uszkodzenia i w miarę możliwości przesył jest przywracany w jak największym obszarze sieci. Dzięki temu sieć ta ma wyższą niezawodność, niż w przypadku klasycznej topologii gwiazdy. Dodatkową zaletą FDDI, w przypadku rozważanego zastosowania, jest duża szybkość transmisji danych, nawet do 100 Mbps. Jest to prędkość wystarczająca do obsługi serwerów http znajdujących się w sterownikach lokalnych. Również odległość, na którą można przysyłać dane w technologii FDDI, jest wystarczająca do zastosowania w mikrosieci. Pierścienie mogą mieć bowiem rozpiętość do 200 km.

Jednym z podstawowych elementów wpiętych do Token Ringu jest sterownik główny, który decyduje o poziomie wykorzystania energii z poszczególnych źródeł na podstawie informacji od nich odebranych. W przypadku kontroli turbozespołów wiatrowych i paneli słonecznych, sterownik ma za zadanie jedynie ich optymalne wykorzystanie. Za wyjątkiem szczególnych sytuacji nie będzie bowiem potrzeby ich wyłączenia. Bardziej złożone zadanie będzie wykonywał sterownik główny w przypadku źródła energii z generatorem napędzanym silnikiem tłokowym lub z ogniwem paliwowym. Generacja z tych źródeł powinna być uruchamiana w przypadku braku możliwości uzyskania jej ze źródeł odnawialnych, wiąże się ona bowiem z kosztami paliwa, a czasem również (jak w przypadku silnika spalinowego) z emisją substancji szkodliwych dla środowiska. Podobna sytuacja dotyczy zasobnika energii. Poza dbaniem o optymalne, pod względem ekonomicznym, wykorzystanie możliwości magazynowania w nim energii ze źródeł odnawialnych należy pamiętać o kontroli stanu jego naładowania [3]. W praktycznym zastosowaniu pojawiają się bowiem problemy, takie jak np. konieczność uruchomienia silnika tłokowego, co jak wiadomo wiąże się z włączeniem silnika elektrycznego (rozsuszniaka). Sterownik musi więc pozostawić w zasobniku porcję energii potrzebną do uruchomienia tego źródła energii, przy jednoczesnym, możliwie jak najdłuższym, korzystaniu z energii zmagazynowanej w zasobniku.

## 5. PODSUMOWANIE

Dynamicznie rozwijająca się energetyka odnawialna i rozproszona, a zarazem nacisk na spełnienie wymagań ekologicznych, powodują rosnące znaczenie zagadnień związanych z układami integracji i koordynacji małych jednostek wytwórczych.

Jednym ze sposobów rozwiązania problemu integracji i koordynacji małych źródeł jest wykorzystanie mikrosieci, w tym mikrosieci prądu stałego. Zastosowanie tego rodzaju rozwiązań daje szerokie możliwości współpracy zróżnicowanych jednostek wytwórczych. Pozytywne wyniki realizowanych badań w zakresie mikrosieci przyczynią się do realizacji w Polsce celu indykatorywnego 15% udziału energii ze źródeł odnawialnych, nie wywołując ponadprzeciętnych zakłóceń w systemie elektroenergetycznym.

Przedstawiona tematyka jest zagadnieniem istotnym i ważnym dla elektroenergetyki przyszłości, dlatego jej rozwój ma przed sobą dynamiczną przyszłość, a początki jej sukcesów są dostrzegalne już dziś.

## LITERATURA

- [1] Asano H., Bando S.: Economic Evaluation of Microgrids. PESGM2008. IEEE, 2008.
- [2] Biczel P.: Power Plants in DC microgrid. XII Sympozjum "Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Machatroniki – PPEEm`2007". Wisła, 9-12.12.2007.
- [3] Biczel P., Kłós M.: Storage System in DC Microgrid. Second International Renewable Energy Storage Systems IRES II. Germany, Bonn, 19-21.11.2007.
- [4] Biczel P., Kocęba M.: Uniwersalny sterownik źródeł do mikrosieci prądu stałego. XII Sympozjum "Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Machatroniki – PPEEm`2007". Wisła, 9-12.12.2007.
- [5] Biczel P., Molik Ł.: Funkcje celu stosowane do zarządzania źródłami w mikrosieciach. V Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna „Materiały i Technologie w Elektrotechnice” MITEL 2008. Gorzów Wlkp. 9-11.04.2008.
- [6] Costa P. M., Matos M. A., Lopes J. A.: Regulation of microgeneration and microgrids. Energy Policy 36, 2008, 3893-3904.
- [7] Hatziargyriou N., Strbac G.: Microgrids – A Possible Future Energy Configuration? IEA Seminar "DISTRIBUTED GENERATION: KEY ISSUES, CHALLENGES, ROLES". Paris, 1<sup>st</sup> March 2004.
- [8] Paska J., Kłós M., Sałek M., Dzik R.: Hybrydowe układy wytwórcze energii elektrycznej – zintegrowane podejście techniczno-ekonomiczno-ekologiczne. VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne urządzenia zasilające w energetyce”. Elektrownia Kozienice SA, Świerże Górne, 2-4 marca 2005.
- [9] Pedrasa M. A.: Overview of Microgrid Management and Control. Centre of Energy and Environmental Markets, Energy system research group school of electrical engineering and telecommunication, University of New South Wales. <http://www.ceem.unsw.edu.au/content/userDocs/>
- [10] Malko J., Wojciechowski H.: Europejska platforma technologiczna sieci inteligentnych „SmartGrids”. Instal. Nr 12, 2009.
- [11] Yokoyama R., Niimura T., Saito N.: Modeling and Evaluation of Supply Reliability of Microgrids including PV and Wind Power. PESGM2008. IEEE, 2008.
- [12] Zbiróg E., Cupiał K.: Token Ring i FDDI – technologie sieci LAN. <http://portal.acm.org>



## USAGE OF DC MICROGRIDS FOR INTEGRATION OF DISTRIBUTED ENERGY SOURCES

**Key words:** distributed generation, distributed energy sources, energy sources integration, DC microgrids, power electronics

**Summary.** Basic assumptions of the idea of connection of different generating units of distributed generation, co-operating within so-called "microgrids", on example of DC microgrid, are presented in the paper. In the second part of the paper, sources which can be connected to the microgrid, were characterized, and benefits from DC microgrid for sources integration were presented. The next part of the paper is concerned to the economic aspects of electricity production in microgrid. The authors presented relationships for average unit energy cost calculation, which will be the basis for the proper control of the whole system. In the part concerning control, the concept of communication and data transmission between devices and main controller was presented.

---

**Józef Paska**, prof. dr hab. inż., kierownik Zakładu; ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej. Obszar zainteresowań: niezawodność systemu elektroenergetycznego i bezpieczeństwo zasilania w energię elektryczną, technologie wytwarzania energii elektrycznej, w tym wytwarzanie rozproszone i wykorzystanie odnawialnych zasobów energii, gospodarka energetyczna oraz ekonomika elektroenergetyki. Autor ponad 220 artykułów i referatów oraz 9 monografii i podręczników akademickich.

Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej (ZEiGE), ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: Jozef.paska@ien.pw.edu.pl

**Mariusz Koceba**, mgr inż., doktorant w ZEIGE; ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej. Obszar zainteresowań: mikroprocesorowe układy sterowania urządzeniami energoelektronicznymi, zagadnienia związane z przyłączaniem odnawialnych źródeł energii do KSE. E-mail: kocebam@ee.pw.edu.pl

**Łukasz Michalski**, mgr inż., asystent w ZEIGE; ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej. Obszar zainteresowań: zagadnienia związane z energetyką odnawialną oraz niekonwencjonalnym wytwarzaniem energii, nowinki techniczne oraz systemy informatyczne. E-mail: michalsl@ee.pw.edu.pl

**Łukasz Molik**, mgr inż., doktorant w ZEIGE; ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej. Obszar zainteresowań: ekonomika wytwarzania energii, ze szczególnym uwzględnieniem energetyki odnawialnej i rozproszonej. E-mail: molikl@ee.pw.edu.pl